

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського

ХОРОЛЬСЬКИЙ В.П., КОРЕНЕЦЬ Ю.М.

ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ
(навчальний посібник)

Кривий Ріг
2023 рік

УДК 621.865.+681.5:681.1

X81

Рекомендовано до видання Вченою радою Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган- Барановського (протокол № 13 від 29.06. 2023р)

Рецензенти:

докт. техн. наук, проф. **В. П. Щокін** (Криворізький національний університет, директор НДГРІ);

докт.техн. наук, проф. **С. О. Жуков** (Академія гірничих наук України)

докт. техн. наук, проф. **О. В. Кузьмін** (Національний університет харчових технологій)

ISBN978-966-385-390-1

Хорольський В.П., Коренець Ю.М.,

**Основи проєктування холодильних систем: навчальний посібник –
Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. 218 с.**

У посібнику викладено основи теорії проєктування холодильних систем і технологічних процесів заморожування та охолодження продуктів харчування.

Наведені теоретичні основи проєктування холодильних систем, дискретними технологічними процесами холодопостачання.

У п'ятих частинах навчального посібника викладено основи сучасних холодильних систем керування траєкторією виробництва штучного холоду, розглянуто методи САПР проєктування, 3Д- систем проєктування складними технологічними процесами холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників.

На загальній теоретичній основі з використанням методів теорії систем, прийняття рішень і теорії нечітких множин у посібнику наведені проєкти інтелектуальних систем керування холодильними комплексами виробництва продуктів здорового харчування.

Посібник адресовано здобувачам вищої освіти неелектричних спеціальностей закладів вищої освіти.

ISBN978-966-385-390-1

УДК 621.865.+681.5:681.1

@ В.П.Хорольський, Ю.М.Коренець

Автори посібника:

1 ХОРОЛЬСЬКИЙ ВАЛЕНТИН ПЕТРОВИЧ - доктор технічних наук, професор, автор більше 400 наукових праць, 12 монографій, чотирьох посібників, 2 підручників, 124 авторських свідоцтв і патентів.

2. КОРЕНЕЦЬ ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ - старший викладач, автор більше 60 наукових праць, із яких 5 монографій, три посібника, 2 підручників та 2 патенти.

ЗМІСТ

ВСТУП 9

Частина 1. Теоретичні основи проектування холодильних систем 12

Тема 1. Основні поняття курсу «Основи проектування холодильних систем»

1.1. Основні визначення та завдання курсу 12

1.2. Інженерне проектування 15

1.2.1. Основні риси проектування холодильних систем 16

1.2.2. Конструктивні особливості холодильних систем 17

1.3. Ефективна організація розробки проєктів 22

1.3.1. Передпроектна стадія розробки холодильної системи на етапі «Технічне завдання» 24

1.4. Управління ризиками проєкта 25

Запитання та тести для самоперевірки знань 32

Тема 2. Загальні питання проектування холодильних систем як вид інженерної діяльності 34

2.1. Управління життєвим циклом виробу (на основі проєкту розробки смарт-холодильних підприємств.) Концепція, стратегія та технології CALS 34

2.2. Системний підхід до проектування холодильних систем 40

2.3. Основні методи і засоби проектування: метод морфологічних таблиць (морфологічний аналіз) 46

Запитання та тести для самоперевірки знань 48

Тема 3. Системи автоматизованого проектування холодильних систем 49

3.1. Основи теорії автоматизованого проектування холодильних систем 49

3.1.1. Класифікація САПР 50

3.2. Поняття онлайн-проектування як засобу автоматизації проєктних робіт 51

3.2.1. Бази даних і бази знань як інструмент САПР холодильних систем 53

3.2.2. Імітаційне і макетне моделювання, випробування виробів 54

3.2.3. Вимоги до якості проєкту, нормативні акти проектування 56

3.3. Програмні комплекси автоматизованого виконання проєктних робіт 59

Запитання та тести для самоперевірки знань 60

Тема 4. Інжинірингові методи - проектування холодильних систем 63

4.1. Сучасна ідеологія автоматизації проектування холодильних машин та промислових холодильників 63

4.2. Інжинірингові рішення при проектуванні промислових холодильників 73

4.3. Проєкти систем автоматики і диспетчеризації промислових холодильників 85

Запитання та тести для самоперевірки знань

Частина 2. Технології оцінки проєктів на базі штучного інтелекту.

Математичні та інструментальні методи керування проєктами

Тема 5. Моделі та методи експрес-аналізу проєктів на основі теорії нечітких множин і штучних нейронних мереж

5.1. Загальні положення

5.2. Аналіз принципів побудови штучних нейронних мереж в системах керування інноваційними проектами

5.3. Практичне використання і програмна реалізація методів і моделей експрес-аналізу інноваційних проектів холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників

5.4. Деякі аспекти проектування холодильних систем (смарт-промислових холодильників).

Запитання та тести для самоперевірки знань

Частина 3. Технології проектування холодильних систем

Тема 6. Проектування одноступеневих і багатоступеневих компресорних холодильних машин 111

6.1. Проектні рішення щодо вибору схем і циклів одноступеневих компресорних холодильних машин 111

6.2. Проектування схем і циклів парових компресорних машин 114

6.3. Розрахунок теоретичного циклу парової одноступеневої компресорної холодильної машини 116

6.4. Проект холодозабезпечення холодильних підприємств з двоступеневою холодильною машиною 120

Запитання та тести для самоперевірки знань 126

Тема 7. Проектування сучасних холодильних агрегатів у торгівлі 128

7.1. Основи проектування торговельного та технологічного холодильного обладнання супермаркетингу 142

7.2. Основи конструювання холодильних шаф 148

7.3. Технологічне обладнання з системами холодозабезпечення охолодження продуктів 153

Запитання та тести для самоперевірки знань 156

Частина 4 Проектування енергоефективних технологій виробництва холоду

Тема 8. Проектування сучасних холодоносіїв 185

8.1. Сучасні холодоагенти промислових холодильників 185

8.2. Проектні рішення щодо оптимізації екологічних характеристик холодильних агентів 190

Запитання та тести для самоперевірки знань 203

Тема 9. Проектні рішення в системі узгодженого управління електроспоживанням комплексу підприємство-промисловий холодильник 205

9.1. Причинно-наслідкова модель управління електроспоживанням комплексу підприємство – промисловий холодильник 205

9.2. Принципи побудови оптимальних за критерієм енергоспоживання промислових холодильників 212

9.3. Управління траєкторією електроспоживання ПРХ 218

9.4. Розробка проекту керування холодопродуктивністю комплексу: поршневий компресор – гвинтовий компресор з АД- ТПЧ 221

Запитання та тести для самоперевірки знань 231

Частина 5. Проектування багаторівневих систем керування холодильними системами 234

Тема 10. Принципи проектування багаторівневих систем інтелектуального керування холодозабезпеченням промислових холодильників 234

10.1. Об'єкт проектування: інтелектуальні системи керування промисловими холодильними підприємствами 234

10.2. Методи моніторингу оптимальної траєкторії процесу охолодження та заморожування харчових продуктів у холодильних камерах промислових холодильників 244

10.3. Керування холодозабезпеченням холодильних камер смарт-промислових холодильників 247

10.4. Проектування систем контролю та керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильників 259

Запитання та тести для самоперевірки знань 273

Тема 11. Принципи проектування автоматизованих систем керування процесами холодопостачання

11.1. Принципи проектування систем холодопостачання-фанкойлів-підприємств – промислових холодильників

11.2. Методологія проектування систем контролю і керування процесами заморожування та охолодження смарт-продуктів харчування

11.3. Принципи проектування інтелектуальної системи керування працездатністю холодильних систем

Запитання та тести для самоперевірки знань 289

Тема 12 Принципи проектування інтелектуальних систем холодопостачання холодильного обладнання супермаркету 290

12.1 Характеристика об'єкта проектування 290

12.2 Алгоритм проектування АСУ холодильного обладнання супермаркету 291

12.3. Проектування систем автоматики острівних прилавків 293

Запитання та тести для самоперевірки знань 300

Література 306

ВСТУП

Холодильні системи холодильних підприємств являють собою різновиди холодильного обладнання, яке створює і використовує штучний холод з метою збереження якості м'яса, риби, масла, молока, овочів, фруктів і інших продуктів, що швидко псуються.

За останні роки для українського споживача холодильного обладнання стали доступні новітні розробки зарубіжних фірм.

Результатом цього стало насичення українського ринку високопродуктивним екологічним холодильним обладнанням, розширення асортименту якого і підвищення його енергоефективності приведе до мінімізації викидів CO₂ холодильним обладнанням в атмосферу й впливу холодоагентів на довкілля.

Холодильні системи широко застосовуються в харчовій промисловості, сільському господарстві, торгівлі, на транспорті та в інших галузях. Основними охолоджуваними спорудами - підприємствами холодильниками великої продуктивності є холодильні системи, які включають спеціально обладнане приміщення і холодильну компресорну установку. Холодильні системи використовують в холодильниках для підтримки в його холодильних камерах температурно-вологісного режиму, відповідного технологічним нормам зберігання або виробництва харчових продуктів.

У холодильних камерах промислових холодильників підтримують знижену температуру 12,...-30 градусів С і підвищену відносну вологість повітря 80-95%. Відмінними рисами промислових холодильників є впровадження енергоефективного компресорного обладнання, систем автоматичного контролю і керування технологічними процесами заморожування, наявність потужної теплової ізоляції зовнішніх і внутрішніх огорож, автоматичних теплоізолюваних дверей, мехатронних пристроїв для завантаження/розвантаження продукції і пристроїв для запобігання промерзання ґрунту в основі промислового холодильника. Іншим об'єктом промислового проектування є супермаркети й торгові центри з новітнім холодильним обладнанням (вітрини)

Супермаркети, які торгують продуктами харчування, зберігають значні запаси товарів, багато з яких відносяться до швидкопсувних. Кращий спосіб їх зберігання - використання холоду в холодильних контейнерах та холодильних камерах.

Сучасна стратегія розвитку холодильної промисловості орієнтована на зниження техногенного навантаження на природне середовище.

При проектуванні холодоагентів повинні сумісно враховуватися різнобічні аспекти їх глобального і локального, прямого і опосередкованого впливу на природне середовище, який визначається сукупністю часто суперечливих якостей речовин – фізико-хімічних, термодинамічних, експлуатаційних, токсикологічних та ін. Утім лише вибір оптимальних експлуатаційних характеристик холодозабезпечення холодильного обладнання холодильних підприємств дає найкращі результати щодо забезпечення якості продукції харчування.

Метою навчального посібника є вивчення способів автоматизованого проєктування холодильних систем промислових холодильних установок та вибору оптимального холодозабезпечення їх холодильних камер з мінімізацією втрат якості продукту харчування. Вміння працювати із засобами САПР та комп'ютерними системами обробки інформації, знання 3Д- проєктування, методів імітаційного моделювання, створення інжинірингових проєктів холодозабезпечення та оптимізації енергозатрат ось, що відрізняє сучасного конструктора від експлуатаційного персонала.

Відповідно з метою посібника здобувачі вищої освіти в процесі вивчення курсу лекцій на основі досягнень новітніх фундаментальних наук повинні

а) одержати та засвоїти:

- теоретичні засади проєктування сучасної холодильної техніки, навички знання та компетентності з методології проєктування холодильних систем промислових смарт-холодильників;

- методи проєктування виробів, кінцевим результатом якого є розробка комплексу проєктно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації холодильних систем.

б) знати: нові проєктні рішення щодо методів аналізу і синтезу моделей процесів заморожування продуктів харчування та оптимізації холодопродуктивності промислових холодильних установок й проєктування та вибору оптимальних екологічно безпечних агентів;

в) вміти розробляти методи раціонального використання холодильного обладнання та його експлуатаційних характеристик в умовах мінімізації енергозатрат;

г) вміти проєктувати холодильні системи з інтелектуальною автоматизацією на основі нейро-нечіткого адаптивного управління холодозабезпеченням холодильних камер промислових холодильників.

Пропонований навчальний посібник написано для студентів, які навчаються за напрямом підготовки бакалаврів за спец. 142 « Енергетичне машинобудування» в обсязі затверджені програми Вченою радою ДонНУЕТ імені Михайла Туган Барановського.

Автори висловлюють щире подяку рецензентам за цінні зауваження і пропозиції, що сприяли поліпшенню якості навчального посібника.

Частина 1. Теоретичні основи проєктування холодильних систем

Тема 1. Основні поняття курсу «Основи проєктування холодильних систем»

1.1. Основні визначення та завдання курсу

Проєктування. Це комплексна робота щодо пошуку ідей, інновацій направлених на дослідження, розрахунків і конструювання об'єкта проєктування. Метою проєктування холодильного обладнання промислових холодильників як виду діяльності людини є створення енергоефективних холодильних систем. Потреба у проєктуванні виникає після опису деякої сукупності споживчих властивостей холодильних систем, якими повинні характеризувати об'єкт проєктування.

Вхідним процесом проєктування є опис потреб в об'єкті проєктування, виходом- проєктна документація, на основі якої можливо виконати об'єкт, який задовольняє цим потребам.

Задача проєктування - перетворення опису потреби в об'єкті проєктування в стандартну по формі документацію, за допомогою якої виконавець виконує реальний об'єкт, який задовільняє встановленим критеріям. Об'єкти проєктування – системи та процеси.

Система. Це поняття яке потрібно конкретизувати і доповнити в кожному окремому випадку, тому що система – це дещо, яке складається із частин (елементів, підсистем), між якими існують визначенні, але, але різні зв'язки або відношення. Наприклад, є обладнання – декілько видів компресорів, конденсаторів, випарників, холодоносіїв – це система, форма якої буде визначена співвідношенням зв'язків руху холодоносія між тілом охолодження і окремими елементами обладнання. Якщо виокремити один із холодильних апаратів (складових холодильної системи), то вона не буде задовольняти споживачів холоду. тобто необхідно проєктувати іншу систему холодозабезпечення. Будь-яка система - це елемент зовнішньої системи, а виокремити систему - тобто створити: список її елементів, визначити або проаналізувати відношення між ними, визначити зв'язки зі зовнішньою системою. Об'єднання елементів і зв'язків між ними будемо називати структурою системи. Будь-яка визначена система завжди не повна, неадекватна і є моделлю реальної системи. Повнота моделі визначається потребами її дослідження або використання. Виділена система характеризується означеним набором параметрів. Фіксоване значення цих параметрів називається станом системи. Зовнішні зв'язки виділеної системи, і вихідні, через які система впливає на стан зовнішньої системи.

Процеси. Під процесом в холодильній системі розуміють зміни стану системи як функції часу, наприклад перехідний процес зміни швидкості вала двигуна гвинтового компресора, процес холодопостачання, мінімізація викидів холодоагентів у довкілля тощо. Обґрунтований вибір параметрів. що змінюються елементів холодильних систем, наприклад одержання оптимального в часі перехідного процесу холодильної машини і буде його

проектуванням. Залежність одного технологічного процесу від іншого, яке будемо оцінювати тривалістю заморожування (одне із найскладніших завдань теплофізики. і, яку можливо розрахувати за формулою Планка) є важливим чинником процесу при проектуванні систем контролю. Для розуміння цього процесу цей параметр будемо також визначати експертно або за допомогою опосередкованих змінних. Під проектуванням холодильних систем в межах компетенції цього курсу будемо розуміти проектування процесів виробництва штучного холоду, які виникають в холодильних установках під час процесу заморожування: фазовий перехід води у продукт, змінюються його теплофізичні властивості, виділяється теплота кристалізації води.

Конструювання – це частина проектування, яка включає компанування холодильної системи та холодильного ланцюга, (в якому використовуються різноманітні холодильні установки: одно – і двоступінчастого стиснення), а саме: розробку збиральних креслень, виконання електричних, гідравлічних, пневматичних схем; розробку креслень деталей; розрахунки механічних деталей на міцність, жорсткість, стійкість, довговічність і т.п.; розрахунки елементів електричних на необхідні номінали двигунів компресорних машин, насосів, випарників тощо. Холодильні системи як об'єкт проектування - це замкнена система із апаратів і пристроїв, призначених для виконання холодильного циклу. Холодильна система включає власне: 1-холодильну машину (ХМ); 2- прилади автоматики; 3- трубопроводи і будівлі, які необхідні для проведення технологічних процесів. Холодильна машина забезпечує зниження температури в обмеженому просторі (у холодильній камері) нижче температури навколишнього середовища та підтримує там необхідний температурний рівень на протязі визначеного часу. У ХМ передачу холоду виконують за допомогою робочого тіла - холодильного агента (холодоагенту), в якості якого використовують гази, пар і водяні або металічні розчини.

Типова структурна схема ланцюга холодильної системи наведена на рис.1.1

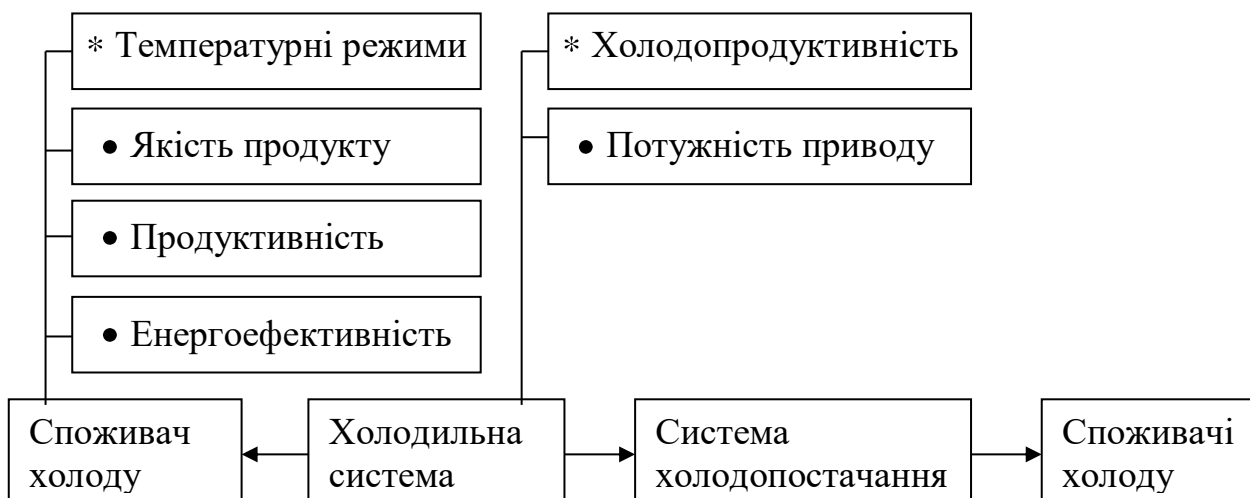


Рисунок 1.1 Ланцюг холодильної ланки

Таким чином, у процесі проектування холодильних систем споживач хоче одержати систему, в якій досягнуто: оптимальні параметри температурних режимів холодильних камер; задану продуктивність роботи промислового холодильника; оптимальну енергоефективність процесів заморожування/охолодження продуктів харчування; мінімізувати втрати якості продукції та її контроль в реальному масштабі часу.

Відповідно до запитів споживача команда проєктантів проєктує холодильну систему зі заданими параметрами холодопродуктивності компресорних установок, параметрами камер, систем автоматики та роботизації технологічних процесів заморожування/охолодження враховуючи наступне:

1. Холодильні установки і обслуговувані ними - об'єкти холодопостачання знаходяться в умовах безпосереднього впливу зовнішніх і внутрішніх збурень. Останні фактори характеризуються змінними значеннями в часі, а в деяких випадках і статистичним характером рівня збурень й часом їх виникнення. Аналіз наслідків впливу того чи іншого фактора на елементи системи холодопостачання є достатньо складною задачею. Холодильна система, як об'єкт проєктних рішень відноситься до складних об'єктів з високим рівнем невизначеності.

2. Сучасні холодильні машини і установки мають високий рівень автоматизації та сучасний рівень діагностики технологічних процесів виробництва холоду.

3. Основна задача проектування холодильних систем - забезпечення оптимальних чи заданих параметрів функціонування без участі людини в умовах впливу на об'єкт регулювання змінних зовнішніх і внутрішніх факторів.

4. Основні параметри проектування визначається конкретними умовами використання того чи іншого джерела холоду та холодоносія. Наприклад, якщо розглянути робочі температурні і параметри приміщень збереження продуктів харчування, то метою проектування автоматизованої системи холодопостачання холодильних камер промислового холодильника є мінімізація зниження товарної якості продуктів здорового харчування і матеріальних втрат у процесі їх збереження шляхом підтримання на заданому рівні температури в приміщенні, де знаходяться продукти харчування.

5. Важливими аспектами проектування є екологічні чинники використання холодильних агентів та їх впливу на довкілля.

При цьому проєктні рішення команди повинні відповідати стандартам ISO 14000, чинникам CFC- використання хлорфторвуглеводнів, ODP- потенціалу руйнування озону; GWP – потенціал глобального потепління, загального аналізу впливу параметра TEWI – сумарної еквівалентної теплової дії на довкілля.

6. Метою автоматизації є також – скорочення експлуатаційних затрат, підвищення терміну служби і підвищення надійності холодильного обладнання, протидія виникненню аварійних і межевих режимів роботи.

1.2. Інженерне проєктування.

Проєктування – це одночасно і наука та мистецтво Як науку проєктування можливо досягти шляхом систематичних занять, створення баз даних, знань, моделей, накопичення досвіду щодо рішення проблем. Як мистецтво проєктування вимагає значної віддачі від здобувачів вищої освіти. Проєктування використовує також методи аналізу та синтезу. Аналіз - поділ ситуації на злементи, які контролюються. При цьому вивчення кожного елемента виконується окремо при проєктуванні з метою перевірки ефективності запропонованої цілі. Синтез – об'єднання елементів в єдине ціле щоб комбінація об'єднаннях елементів була оригінальною.

У процесі проєктування наука і мистецтво, аналіз і синтез невід'ємні один від одного та працюють одночасно.

При проєктуванні холодильних систем або холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників будемо використовувати також принципи:

1.- еволюційних змінних; 2.- створення інноваційного продукту.

Сучасне проєктування можливо виконати за допомогою комп'ютерних технологій з безперервним удосконаленням інноваційного виробу в умовах великої конкуренції з боку інших фірм.

Подібно тому, як наука невід'ємна від мистецтва та аналіз зі синтезом, то еволюційні зміни і поява нового проявляються одночасно. З самого початку думка конструктора повинна бути направлена на створення лише інноваційної холодильної системи, на пошук оригінальної ідеї. Проєктування може бути націлено на майбутнє, але його результати повинні ґрунтуватись також на існуючих проєктах. Таким чином, конструктор одночасно створює інноваційний продукт і виконує еволюційні зміни. Найбільших успіхів у проєктуванні одержує спеціаліст - професіонал команди, який має наступні якості, одержані в процесі навчання (самоосвіти), а також завдяки внутрішній дисципліні та любові до творчості. Виокремимо головні якості проєктанта: 1.- грамотність; 2.- майстерність; 3.-зацікавленість; 4.- творчість; 5- вміння роботи в команді; 6- стратегічно мислити тощо.

1.2.1. Особливі риси проєктування холодильних систем

1. До колективу розробників холодильних систем повинні входити спеціалісти різних областей знань, таких як спеціалісти з САПР, програмістів, машинобудівників тощо. Кожний із цих спеціалістів використовує свою термінологію, методи проєктування, способи мислення і т.п., тому топ-менеджер команди проєкту повинен мати не лише спеціальні знання з технології проєктування, але бути гнучкою і харизматичною людиною, володіти різнобічними, а інколи і володіти енциклопедичними знаннями в багатьох сферах техніки.

2. Холодильна система – це наукоємний виріб, комплектувальні частини якого інтенсивно модернізується, а тому колектив проєктантів повинен постійно навчатись, використовуючи знання щодо визначення новітніх елементів, засобів і методів комп'ютерного проєктування.

3. Холодильна система - це як заправило виріб, який вимагає точних і гнучких розрахунків, знання методів імітаційного моделювання, високоякісної і точної вимірювальної техніки (систем інтелектуального контролю якості замороженої/ охолодженої продукції, впливу холодоагентів на довкілля). Усі ці фактори вимагають високої кваліфікації проєктувальників, а також оснащення проєктної команди програмним забезпеченням, комп'ютерною технікою тощо.

1.2.2. Конструктивні особливості холодильних систем.

У процесі вивчення цієї теми необхідно звернутись до матеріалів навчальних посібників вчених ДонНУЕТ [8,9,10]. Холодильна система представляє об'єднання в єдину замкнену холодильну систему апаратів, механізмів, приладів автоматики. Схеми холодильної машини будь-якої холодильної системи представлені на рис. 1.2, 1.3, 1.4

Парова компресійна холодильна машина складається з наступних основних елементів: компресора (КМ), конденсатора (КД), регулюючого вентиля (РВ) і випарника (В). Крім основних елементів є допоміжні: ресивер, теплообмінник, вентиля, фільтри, трубопроводи, осушувачі та ін.

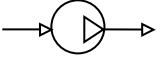

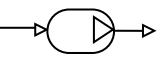

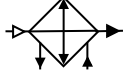
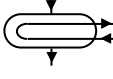
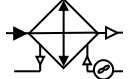
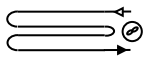
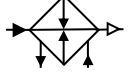
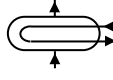
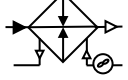
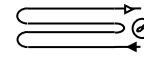
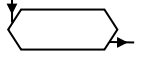
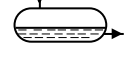
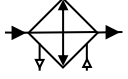
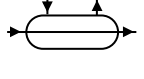
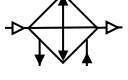
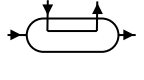
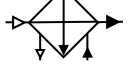
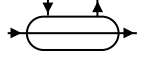
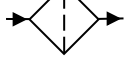





Окремі елементи холодильної машини з'єднані в єдину систему трубопроводами. Для підтримки заданого температурного режиму застосовуються прилади автоматики: реле тиску (РД), реле температури (РТ), соленоїдний вентиль (СВ), терморегулювальний вентиль (ТРВ), водорегулювальний вентиль (ВВ), реле часу (РЧ) та ін.

Принцип дії холодильної машини: компресор відсмоктує пари холодильного агента (ХА) з випарника, стискає їх і нагнітає в конденсатор. У конденсаторі за рахунок відводу тепла від пари холодильного агента (ХА) до навколишнього середовища (у воді, повітрі) відбувається процес конденсації. Далі рідкий холодильний агент надходить у регулюючий вентиль, де відбувається процес дроселювання (зниження тиску й температури ХА).

У такому стані холодильний агент надходить у випарник, у якому він кипить за рахунок тепла, що відводиться від охолоджуваного середовища.

У регулюючому вентилі, крім дроселювання, відбувається регулювання подачі рідкого холодильного агента у випарник. Ресивер встановлюється після конденсатора й призначений для збору рідкого холодильного агента. У холодильні машини, що працюють на хладачах, встановлюється теплообмінник, у якому відбувається перегрів пари перед всмоктуванням у компресор за рахунок тепла, що відводиться рідким хладачем перед регулюючим вентиляем. Установка теплообмінника дозволяє поліпшити енергетичні характеристики холодильної машини.

Схеми елементів холодильної системи відповідно до вимог ЕСКД і з погляду класифікаційних ознак і призначення окремих елементів холодильної машини наведена в наступних схемах(рисунок 1.2).

		Компресор сальниковий
		Компресор безсальниковий (герметичний)
		Конденсатор проточний (частіше – з водяним охолодженням)
		Конденсатор з повітряним охолодженням (примусовий)
		Випарник проточний (із проміжним холодоносієм)
		Повітроохолоджувач
		Ресивер (сосуд під тиском)
		Теплообмінник регенеративний (економайзер)
		Холодильник проміжний (охолоджувач пари)
		Конденсатор – випарник
		Фільтр (частіше – фільтр-осушувач)
		Вентиль дросельний прохідний
		Вентиль дросельний кутовий

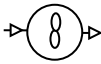

		Вентиль заправний
		Вентиль прохідний
		Вентиль кутовий
		Клапан запобіжний
		Насос відцентровий
		Вентилятор осьовий
		Масловіддільник
	Трубопровід рідинний	
	Трубопровід газовий (паровий)	
	Перетинання трубопроводів	

Рисунок 1.2. Схеми елементів холодильної системи

Перейдемо до вивчення позначення трубопроводів холодильних систем

Вид трубопроводу

рідкий холодильний агент

вода

масло

холодна пара холодильного агента

гаряча пара холодильного агента

Колір позначення

жовтий

зелений

коричневий

блакитний

червоний

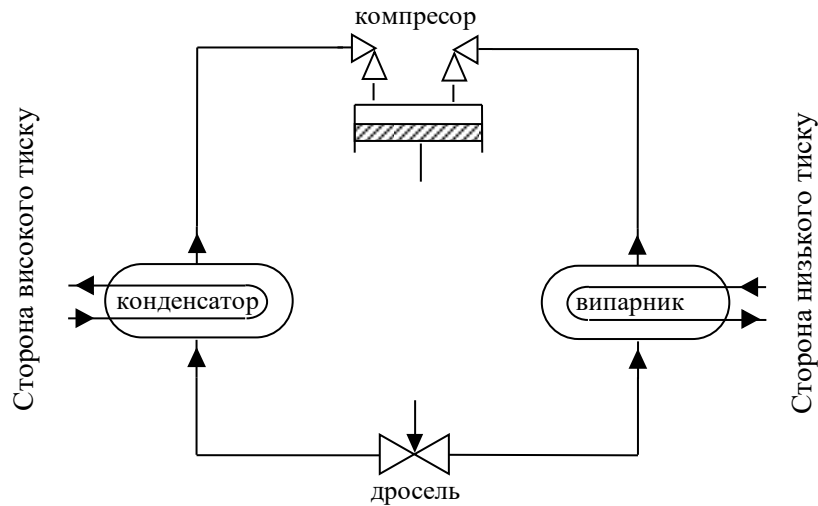


Рисунок 1.3. - Принципова схема холодильної машини

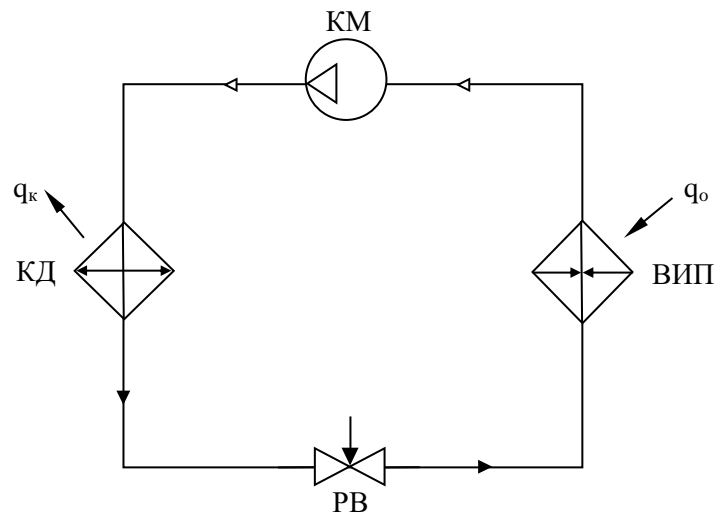


Рисунок 1.4. – Позначення елементів холодильної системи відповідно до ЕСКД

1.3. Ефективна організація розробки проєктів

У системі ефективної організації роботи проєктної команди важливу роль відіграє добір спеціалістів і чіткий розподіл їх обов'язків.

Розглянемо одну із схем команди проєкту.

Керівник (топ-менеджер) проєкту. Завдання: зв'язок і оперативні рішення проблем між Замовником і Розробником, забезпечення взаємодії зі зовнішніми структурами, арбітраж конфліктів серед розробників.

Керівники (менеджери) груп розробників. Завдання: керування зв'язками та взаємовідношеннями в проєктній команді; координація робіт; управління графіком проєкта та звіт щодо його стану; управління ресурсами; прийняття рішень в критичних ситуаціях.

Розробники. Завдання: пошук оцінки і прийняття технічних рішень в межах задач, які поставлені перед ними; пошук і запобігання помилок; створення продукту, який задовольняє ТЗ і приватним завданням; консультації суміжних розробників; тестування(випробування) І/АБО участь у тестуванні робіт; брати участь у колективних рішеннях проблем (типу мозковий штурм); інші задачі.

Спеціаліст щодо проведення випробувань (тестування). Завдання: розробка методик випробувань (тестування) і вимог до випробувань, проведення випробувань; розробка і аналіз звітів про проведення лабораторних випробувань і результатів досліджень, формулювання висновків і доповіді про результати керівникам; консультації розробників.

Спеціаліст з контролю якості. Завдання: відстежування якості проєкта, його відповідність ТЗ і нормативним актам; розробка критеріїв якості і методів оцінки відповідності цим критеріям; взаємодія з розробниками і спеціалістами з безпеки та сертифікації.

Спеціаліст з сертифікації. Завдання: забезпечення взаємодії між Розробником і сертифікаційним органом; лобіювання інтересів розробників в сертифікаційному органі; розробка документації на холодильну систему (продукт) у відповідності з вимогами органу сертифікації.

Спеціаліст з впровадження і супроводження. Завдання: аналіз особливостей сфер використання зпроєктованих виробів і особливостей Замовників: участь в приємо-здавальних випробуваннях: організація І/АБО проведення робіт щодо холодильної системи та налагодження спроєктованого виробу і навчання виробу і навчання користувачів. **Спеціаліст з безпеки.** Завдання: Забезпечення усіх питань безпечності створеного виробу; участь на усіх етапах проєктування, сертифікації і здавання продукту; організації І/АБО проведення навчання користувачів щодо використання продукту.

Розробник технічної документації проєкту. Завдання: підготовка і випуск документів по всім етапам і стадіям проєктування; підготовка і розробка та випуск інструкцій щодо експлуатації та інших подібних документів; підготовка документації до завдання на збереження і власне завдання; забезпечення взаємодії з рекламними та іншими подібними службами; підготовка листування керівників зі зовнішніми адресатами.

1.3.1. Передпроектна стадія розробки холодильної системи та етапі «Технічне завдання»

Передпроектні роботи виконуються як за правило «Замовником» з метою обґрунтованого формування замовлення на проектування холодильної системи. Потреба в інноваційних холодильних системах виникає тоді, коли старі вироби застаріли, малоефективні, не користуються попитом чи не вирішують нових завдань щодо енергоефективності та мінімізації впливу холодоносіїв на довкілля. Вхідними даними для попереднього рішення про створення інноваційного продукту є: запити ринку заморожуваних продуктів харчування; інноваційні технологічні процеси заморожування продукції, інформація про нову техніку за кордоном чи в інших галузях; завдання на створення підприємств-холодильників, холодильних ліній супермаркетів, плани переоснащення харчової галузі та виробництво продукції для населення, яке мешкає на територіях з техногенними забрудненнями; комплексний аналіз підприємства-холодильника, який включає діагностику фінансового стану, дослідження ринків збуту холодильного обладнання та сировинної бази, оцінку конкурентоспроможності галузі(підприємства), екологічної ситуації в Придніпровському регіоні.

Розробка техніко-економічної пропозиції. Сучасне світове ринкове виробництво холодильних систем характеризується:

- високим рівнем конкуренції, високим рівнем конкуренції капіталу між виробниками, високим рівнем концентрації капіталу між виробниками холодильного обладнання;

- науково-технічним прогресом у сфері наукових технологій виробництва штучного холоду, високим рівнем автоматизації; - потужною сферою інформаційних технологій, розвинутою міжнародною мережею вільного і практично миттєвого доступу до банків даних і каталогам виробників;

- ефективним міжнародним маркетингом, об'єднаним з глобальними мережами засобів масової інформації і засобами агресивної реклами;

- постійним зниженням ринкової вартості холодильної продукції без погіршення енергоефективності, а часто і з її зростанням.

Рішення про необхідність проектування інноваційного виробу оформляють у вигляді техніко-економічної пропозиції. Прийняття рішення про необхідність проектування і виробництва інноваційного продукту чи інших форм інвестицій повинно супроводжуватись обґрунтованим розрахунком їх повернення та одержання прибутку. Одним із прийнятих в світовій практиці методів такого розрахунку є бізнес-план.

Бізнес-план на стадії передпроектних робіт У найбільш загальному вигляді бізнес-проектування включає в собі усі можливі варіації схем виробництва холодильних систем, збуту і фінансування проектних робіт.

1.4. Управління ризиками проєктів

Ризик проєкту характеризується наступними параметрами:

- **подія**- це явище, яке виникає у результаті виконання проєкту. Події бувають вигодні, неможливі, випадкові, сумісні, несумісні, рівноможливі та незалежні.

- **ризикові події:** випадкові події, які порушують нормальне виконання проекту та визиває збільшення термінів робіт, вартості, зниження якості та інші наслідки;

- **ймовірність створення ризикової події:** період, який віддзеркалює об'єктивну можливість виникнення ризикової події;

- **витрати від виникнення ризикової події-** події, які характеризують втрати виникнення ризикової події.

Таким чином, ризик проекту – це сукупність ризикових подій в проекті, які мають визначену ймовірність виникнення та які приносять фінансовий збиток. Термін « ризиковий проект» означає, що в проекті з великою ймовірністю можливе виникнення ризикових подій, які принесуть великі втрати.

Під великим ризиком будемо вважати подію виникнення небезпеки щодо ризику одержати збитки від проекту. Небезпечність ризику – це добуток ймовірності ризикової події і очікуваної втрати від його виникнення.

Поняття небезпеки дозволяє ранжувати ризики по ступені їх важливості для успішної реалізації проекту. Ризики будемо розділяти на внутрішні і зовнішні.

Внутрішні ризики- це результати внутрішньої проектної діяльності (проектні, технічні, технологічні, організаційні, фінансові тощо).

Зовнішні ризики виникають як результат діяльності зовнішнього середовища (природні, політичні, соціальні, економічні тощо). Управляти ризиками означає використовувати заходи щодо зниження їх небезпеки. Це можливо виконати шляхом зменшення ймовірності ризикованої події або знизити втрати від його виникнення. Зменшення ймовірності ризику і можливості втрат досягається за допомогою різних проектних рішень. Наприклад, ймовірність перевищення бюджету проекту можливо знизити за рахунок приваблення висококваліфікованих спеціалістів, які грамотно проведуть розрахунки, а витрати вибору ефективних холодоносіїв можливо знизити за рахунок конструкторських рішень (розробки інтелектуальних систем захисту доквілля від викидів холодоагентів). Більш керованими є внутрішні ризики., менше керованими- зовнішні. Власне керуванню ризику передують процедура їх аналізу. Вона складається із двох етапів- ідентифікації ризиків, можливих ризикових ситуацій, складання переліку ризиків, проведення опитування експертів-спеціалістів. На етапі кількісної оцінки ризиків виконується оцінка ймовірності виникнення ризикових подій. вартість можливих втрат, при необхідності виконується моделювання, обробляються експертні оцінки. Результатом процедури аналізу ризиків є ранжування по рівню небезпеки переліку ризиків, які слугують інформацією щодо розробки « Плану керування ризиками». Управління ризиками виконується у відповідності з « Планом керування ризиками» в межах розробленої системи моніторингу,, яка передбачає корекцію «Плана » у процесі виконання проекту. Управління ризиками виконується на трьох рівнях, а саме: 1-рівень- корпоративний (управління функціональними підрозділами і програмами); 2-рівень управління проектами; 3- рівень –оперативне управління. Перший (корпоративний) рівень управління ризиками пов'язаний з відсліджуванням у проектах і програмах основних параметрів – часу, вартості, якості, впливу на них факторів ризику та

прогнозування результатів прийятих стратегічних рішень. Другий рівень управління пов'язаний безпосередньо з складанням плану керування ризиками, його реалізацією і контролем. На третьому рівні виконується оперативне керування ризиками з використанням системи ідентифікації і моніторингу ризиків, розробленою на другому рівні.

Процеси управління ризиками складаються з наступних стадій:

1. Концепція управління ризиками. На даній стадії розробляються стратегії управління ризиками, формуються вимоги до систем управління ризиками.

2. Планування заходів регулювання щодо ризикових подій. На даній стадії виконується аналіз ризиків, які включають в собі ідентифікацію ризиків, оцінку ймовірності і втрат від ризиків. На цьому етапі необхідно провести також ранжування ризиків, а також скласти план управління ними.

3. Організація та контроль заходів реагування щодо ризикових подій. На цій стадії необхідно розробити опис процедур управління ризиками, розподіляються відповідальність, виконується контроль реалізації заходів реагування на ризикові події.

4. Аналіз стану і регулювання заходів щодо зниження ризиків. На даній стадії проводиться аналіз виконання плану щодо ризиків, а також приймаються рішення щодо реагування на ризикові події, які виникли.

5. Завершення управління ризиками. На цій стадії проводиться аналіз виконання плану управління ризиками і використання резервів, узагальнення фактичних даних щодо виявлення ризиків, формування архіву. На цьому етапі менеджери проєкту розробляють заключний звіт з управління ризиками. Перейдемо до вивчення функцій управління. Управління ризиками є інтерактивними, тобто використовує усі функції управління- часом, вартістю, якістю, контрактами, комунікаціями. Найбільш небезпечні ризики нейтралізуються на початковому етапі за допомогою превентивних заходів, інші розподіляються між учасниками проєкту, інші використовують страхування, а останні підлягають регулюванню. Для цього приймаються рішення щодо зміни предметної області проєкту, бюджету, календарного плану, плану постачань – тобто реалізуються основні функції управління проєктами. Перейдемо до вивчення інструментарію управління ризиками. Серед них звернемо увагу на ймовірні методи. Основним інструментом обчислення ризикових подій є теорія ймовірності. Вона пропонує і розглядає різні моделі ймовірних подій. Об'єкти теорії ймовірностей – випадкові події та випадкові величини. Поняття випадковості відрізняється від поняття невизначеності тим, що в розглянутому експерименті визначають можливі результати, а невизначеність визначає про те, що невідомо, який саме із можливих варіантів розглядається. Якщо мова іде про випадкові події (A), то тоді пропонується кількісна оцінка – ймовірність його виникнення $P(A)$. Якщо мова іде про випадкові величини, то її поведінку повністю описує:

- закон розподілення ймовірностей (для дискретної випадкової величини): $P(X), \dots, P(X_n)$;

- щільність розподілу ймовірності $f(x)$ (для безперервної випадкової величини).

Перед тим як перейти до оцінки ймовірності ризикових подій, необхідно спочатку проаналізувати ризикові ситуації і визначити можливість використання відомих моделей. Найбільш поширеною є модель нормального (або гаусовського) розподілення. Її широке використання обумовлено центральною межевою теоремою (ЦМТ). У багатьох випадках випадкові величини на практиці формуються під впливом великої кількості факторів, при цьому вплив кожного із них незначний. У цьому випадку, якщо їх дія лінійна (тобто вони сумуються), то відповідно ЦМТ результуюча випадкова величина має нормальне розподілення. У процесі проектування будівельних споруд промислових холодильників (ПРХ) для їх опису тривалості багатьох робіт науковці використовують бета-розподілення. У теорії надійності для опису часу працездатності приладів, реле, елементів контролю та їх надійності оперують також наступними розподіленнями: експоненціальними, Пуасона, Ерланга тощо. Гама та логарифмічне нормальне розподілення часто використовується як моделі розподілення доходів і можуть бути використані в процесі фінансового аналізу проекту. Рівномірне розподілення реалізоване в комп'ютері як датчик випадкових чисел і використовується в імітаційному моделюванні. Усі розглянуті вище закони розподілення можуть у деякій мірі бути використаними для аналізу ризиків проекту. Як тільки буде розроблена адекватна ймовірна модель ризиків проекту, то виникне питання про значення її параметрів. У цьому випадку необхідно використовувати статистичні методи оцінки ризиків проекту. Наприклад, якщо визначена модель розподілення Гауса, то необхідно знати параметри математичного очікування та дисперсії, а якщо експоненціальне розподілення, то значення λ і т.п. Як правило, значення цих параметрів невідомі, їх необхідно оцінити, для чого рекомендовано використовувати методи математичної статистики. Найбільш розповсюдженими методами оцінювання є:

-1. Метод максимальної правдоподібності (ММП), який полягає в наступному: якщо випадкова величина X має щільність розподілення ймовірності $p(x, q)$, то оцінка q ММП визначається як рішення екстремальної задачі виду:

$$L(q, x_1, \dots, x_n) = \text{Пр}(x, q) \rightarrow \max, \quad (1.2)$$

x_1, \dots, x_n - вибірка

2. Метод побудови **довірної** системи, який будемо використовувати в якості оцінки параметрів моделі. Інтервальною оцінкою параметра є коефіцієнт довіри $1-\epsilon$ для випадкової величини X з щільністю ймовірностей $p(x, q)$ є інтервал зі випадковими межами c і d – такий, при якому: $P\{q \in [c, d]\} = 1-\epsilon$ (1.3)

При побудові інтервалу довіри необхідно знати щільність розподілення ймовірностей $p(x, q)$. Для цього на основі спостережень знаходять оцінку ММП (1.2), яка є центром інтервалу довіри, а його межі визначаються у відповідності зі заданим коефіцієнтом довіри. У процесі побудови такої оцінки для середньої генеральної сукупності можливо використовувати функції EXCEL, ДОВЕРИТ[12]

Методи кореляційного аналізу. У процесі вивчення випадкових факторів, які впливають на проект в цілому і на його складові, їх будемо розглядати як незалежні випадкові величини. Утім деякі фактори можуть бути зв'язаними

один з одним, і в цьому випадку їх сумарний вплив на проект буде залежити від характеру і ступені зв'язку. При вивченні залежності випадкових величин можливо використати методи кореляційного та регресійного аналізу. У теорії ймовірностей зв'язок між випадковими величинами характеризує коефіцієнт кореляції. Коефіцієнт кореляції r характеризує величину зв'язку між випадковими величинами X та Y . Цей коефіцієнт завжди менше одиниці, якщо він дорівнює 0, то випадкові фактори проекту відносяться до незалежних. З визначення слідує, що коефіцієнт кореляції знаходиться в інтервалі $-1 < r < 1$. Необхідно відмітити, що значення $-1,1$ відповідають випадкам повної лінійної залежності., а апарат кореляційного аналізу можливо використовувати лише для визначення ступені лінійності залежності між випадковими величинами. Для оцінки коефіцієнтів кореляції та їх достовірності використовують функції ЕКСЕЛ, КОРЕЛ, СТЬЮДРАСП та інші.

Методи регресійного аналізу. Регресія встановлює функціональну залежність одної випадкової величини в середньому від значення іншої випадкової величини. Вигляд цієї функції залежить від сукупного закону розподілення випадкової величини і може бути достатньо складним, а тому на практиці використовується лінійна залежність. Розрахунок параметрів лінійної регресії можливо виконати за допомогою пакетів, **Аналіз даних, ЕКСЕЛ.**

Експертні методи. Експертними методами називають ті методи, в яких висновки про ризики проекту виконують експерти, які збирають дані та їх обробляють у вигляді заключень. Відомі різні форми організації проведення експертиз: індивідуальні і колективні, однорівневі та багаторівневі, з обміном інформацією між експертами і без нього, анонімні, відкриті і т.п. Розглянемо питання організації експертних комісій. Кількісний та якісний склад експертної комісії повинен формуватись з врахуванням масштабів проблеми, достовірності оцінок, затрат ресурсів і характеристик експертів. Масштаб проблеми, яку потрібно визначити будемо вирішувати різними аспектами. При цьому необхідно звернути увагу щодо нижнього рівня кількісного складу експертної комісії. Якісний склад експертної комісії визначається на основі індивідуальних характеристик експертів, а саме: компетентності, креативності, відношення до експертів, конструктивності мислення, колективізму, самокритичності. Опитування експертів є одним із важливих етапів організації та проведення експертизи. У процесі реалізації цього етапу виконується визначення і констатація висновків експертів по суті досліджуваного об'єкту. Форма проведення опитування фактично є основою, яка визначає вид методу організації і проведення експертизи. До основних форм опитування будемо відносити наступні методи: анкетування, інтерв'ювання, метод Делфі, «мізковий штурм», дискусія. Оброблення оцінок в процесі групової експертизи залежить від характеру інформації, яка віддзеркалює переваги експертів та змістовне обґрунтування цих переваг, цілей, призначення і інших факторів експертизи і полягає в наступному: 1. визначення узагальненої оцінки дослідюємих об'єктів або об'єктів, які експерти розглядають щодо спеціальних якостей, показників, а також їх відносної значимості ;2. оцінки узгодженості та залежності думок експертів; 3. оцінки достовірності одержаних розрахункових величин. Визначення узагальненої оцінки досліджуваних об'єктів виконується

при груповій експертній оцінці на основі використання методів усереднення індивідуальних оцінок експертів з врахуванням думки про те, що вони є точними «вимірниками», а їх оцінки утворюють одну або декілько компактних груп. Алгоритм одержання узагальненої оцінки залежить від використання різних методів суб'єктивного вимірювання експертами переваг об'єктів оцінки або їх властивостей. Якщо результати використання методів суб'єктивних вимірювань представляють власне числа або бали, то знаходження групової оцінки полягає у визначенні математичного очікування або медіани. В іншому випадку, якщо результати представляють собою ранги, тоді завданням оброблення є побудова узагальненого ранжирування об'єктів на основі їх узгодження. Кількісні методи узгодженості думок експертів необхідні у тому випадку, якщо їх погляди на об'єкт розділяються, щоб інтерпретація розбіжності думок була більш обґрунтованою. В якості показників ступеня узгодження думок експертів використовують: коефіцієнт варіації, коефіцієнт парної рангової кореляції (Спірмена, Кендала), коефіцієнт конкордації. Для оцінки думки групи експертів у цілому використовується коефіцієнт конкордації. Він визначається в наступній послідовності. Спочатку обчислюється середнє арифметичне сум рангів оцінок всіх об'єктів. Потім обчислюють відхилення ді суми рангів оцінок, одержаних і-м об'єктом від $M[S_{ii}]$. Після цього розраховується коефіцієнт конкордації. Коефіцієнт конкордації змінюється в межах від 0 до 1. Збільшення значення коефіцієнта конкордації відповідає збільшенню ступеня узгодженості думок експертів. Незначне значення коефіцієнта конкордації може бути обґрунтоване або дійсно невисокою ступенню узгодженості думок експертів, або існуванням груп з високим узгодженням протилежних думок. Оцінки об'єктів, які одержані в результаті оброблення експертних оцінок, представляють власне випадкові величини, а тому необхідно перевіряти надійність (достовірність, рівень значимості) результатів експертизи.

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. Навести основні робочі характеристики холодильних систем.
2. Поясніть фізичну суть штучного холоду.
3. Вкажіть відмінність ланцюга холодильної системи від холодильної машини.
4. У чому полягає відмінність понять: проектування, системи, процесу, конструювання.
5. Вкажіть екологічні чинники використання холодильних агентів та їх вплив на довкілля.
6. Поясніть відмінність інженерного проектування від сучасного комп'ютерного проектування.
7. Назвіть особливі риси проектів холодильних систем.
8. Відповідно до вимог ЕСКД назвіть конструктивні особливості холодильних систем.
9. З яких елементів складається холодильна машина.
10. Дайте визначення ефективної організації команди проекту.
11. Що називають передпроектною стадією проекту та етапом «Технічного завдання».
12. Поясніть можливі ризики проекту та стадії управління ризиками.

Тести

Тест 1. Проектування - це:

а) комплексна робота щодо пошуку ідей та інновацій; б) дослідження, розрахунки і конструювання об'єкта проектування; в) створення енергоефективних холодильних систем; г) всі відповіді правильні

Тест 2. Конструювання - це частина проектування, яка включає:

а) компанування холодильної системи та холодильного ланцюга, б) розробку збиральних креслень, виконання електричних, гідравлічних, пневматичних схем; розробку креслень деталей; в) розрахунки механічних деталей на міцність, жорсткість, стійкість, довговічність і т.п.; г) розрахунки елементів електричних на необхідні номінали двигунів компресорних машин, насосів, випарників тощо.; д) всі відповіді правильні

Тест 3. Холодильні системи як об'єкт проектування – це: а) замкнена система; б) система із апаратів і пристроїв; в) система для виконання холодильного циклу; г) всі відповіді правильні

Тест 4. Холодильна система включає власне: а) холодильну машину (ХМ); б) прилади автоматики; в) трубопроводи і будівлі та технологічні процеси; г) всі відповіді правильні

Тест 5. Холодильна машина забезпечує: а) зниження температури в обмеженому просторі; б) зниження температури в холодильній камері; в) зниження температури нижче температури навколишнього середовища та підтримує там необхідний технологічний процес; г) всі відповіді правильні.

Тест 6. Наукові проєктні дослідження проводять з метою: а) створення більш досконалої холодильної техніки; б) створення більш досконалих холодильних технологій; в) інтенсифікації існуючих процесів виробництва холоду, технологій та холодильного обладнання; г) правильні всі три відповіді.

Тест 7. До основних методів дослідження процесу виробництва холоду відносяться: а) теоретичний; б) експериментальний; в) комбінований; г) всі відповіді правильні.

Тест 8. Першою стадією виконання проєкту розробки холодильної системи є: а) розробка принципової схеми холодильної системи; б) моделювання процесів, які входять до холодильної системи; в) доведення працездатності роботи холодильного обладнання; г) виготовлення і випробування готової холодильної системи.

Тест 9. Модель подібна до оригіналу, якщо: а) ступінь відповідності холодильної машини дорівнює 0; б) ступінь відповідності рівний 1; в) ступінь відповідності коливається між 0 і 1; г) всі відповіді неправильні.

Тест 10. Вхідними даними для попереднього рішення про створення інноваційного продукту є: а) запити ринку заморожуваних продуктів харчування; б) інноваційні технологічні процеси заморожування продукції; в) інформація про нову техніку за кордоном чи в інших галузях; г) завдання на створення більш екологічного холодильного обладнання.

Тест 11. Ризики проєктів характеризуються: а) ймовірністю ризикової події; б) витратами від виконання ризикової події; в) подіями, які порушують нормальне виконання проєкту; г) всі відповіді правильні.

Тема 2. Загальні питання проектування холодильних систем як вид інженерної діяльності

2.1. Управління життєвим циклом виробу (на основі проекту-розробки смарт-холодильних підприємств). Концепція, стратегія та технології CALS

Розпочнемо це важливе питання з аналізу схеми життєвого циклу виробу-продукції (проекту) у нашому випадку – штучного холоду.

На рис. 2.1 наведено схему життєвого цикла – виробництва холоду для зберігання замороженої продукції (м'ясо ВРХ)

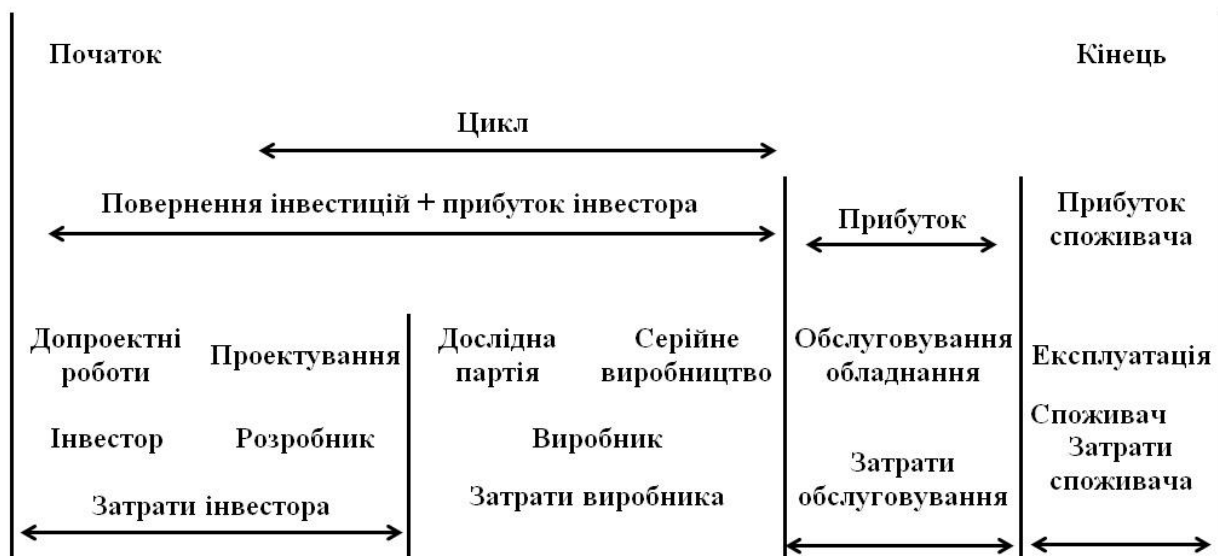


Рисунок 2.1 Схема життєвого циклу виробництва виробу

З метою аналізу ЖЦ будемо використовувати CALS-технології. Основою концепції CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) є підвищення ефективності процесу ЖЦ виробу за рахунок оперативного й доступного використання інформації про вибір. Завданням CALS є перетворення ЖЦ виробу у високоавтоматизований процес шляхом реструктуризації (реінжинирингу), аналізу бізнес-процесів, які входять в цей процес.

CALS – технології будемо розглядати як розвиток і підтримку життєвого циклу продукції. CALS поєднує дві ідеї, а саме: перша частина терміну «CALS» - Continuous Acquisition – означає постійне підвищення ефективності (розвиток) як власне виробу, так і процесів взаємодії між постачальником і споживачем продукту на протязі його ЖЦ.

Друга частина терміну – це Life Cycle Support – позначає шлях впровадження нових організаційних методик розробки продукту, наприклад, паралельного проектування, міждисциплінарних робочих груп, інших методик. Нові методики можуть вимагати збільшення інвестицій на етапах створення і модернізації продукту, але дозволяють більш повніше враховувати потреби замовника в умовах експлуатації обладнання, що, в свою чергу, приведе до

зниження затрат на етапах виробництва холодильних систем і врешті ця обставина приведе до зменшення затрат на весь ЖЦ продукції.

Можемо виділити дві основні проблеми, які стоять на шляху підвищення ефективності управління інформацією.

Перша проблема: підвищення складності виробів і використання для їх розробки сучасних цифрових систем значно збільшує об'єм даних про вироби. При цьому попередні методи роботи вже не дозволяють забезпечити їх точність, цілісність і актуальність при збереженні раціональних часових і матеріальних затрат.

Друга проблема: збільшення кількості учасників проєкту приведе до виникнення значних проблем точки зору обміну інформацією, пов'язаної з комунікаційними бар'єрами (наприклад неузгодженості комп'ютерних систем).

Звідки і витікає основне завдання CALS: створити єдиний інформаційний простір (ЄІП), підвищити ефективність управління цифровою інформацією, подолати комунікаційні бар'єри, підвищити ефективність процесів ЖЦ і взаємодію між учасниками процесу, зниження часових і матеріальних витрат, більш повне задоволення попиту замовника і користувачів.

Єдиний інформаційний простір (ЄІП) CALS повинен мати наступні властивості:

- вся інформація надається в цифровому вигляді;

- ЄІП охоплює всю інформацію про вироби;

- ЄІП будується лише на основі міжнародних державних і галузевих інформаційних стандартів;

- Для створення ЄІП, використовуються програмо-апаратні засоби, які є у учасників ЖЦ;

- ЄІП постійно розвивається.

- Основними перевагами ЄІП є:

 - забезпечення цілісності даних;

 - можливість організації доступу через інтнет-мережі до даних, які географічно віддалені від учасників ЖЦ виробу;

 - відсутність втрат даних в процесі переходу між етапами ЖЦ виробу;

 - одночасний доступ усіх учасників ЖЦ виробу до змінених даних;

 - підвищення швидкості пошуку даних і доступу до них у порівнянні з паперовою документацією;

 - розміщення використання різних цифрових систем для роботи з даними.

ЄІП може бути створено для організаційних структур різного рівня: від окремого підрозділу, до віртуального підприємства, або інтелектуальної корпорації. При цьому відрізняються і ефект, одержаний від створення ЄІП.

GALS – технології. При реалізації стратегії CALS будемо використовувати три групи методів, які називаються CALS-технологіями:

- технологія аналізу і реінженерінгу бізнес-процесів – набір організаційних методів реструктуризації способу функціонування підприємства з метою підвищення його ефективності (ці технології потрібні, щоб перейти від паперового документообороту до цифрового, а також для впровадження інноваційних методів розробки випробу);

-технологія представлена у цифровому вигляді даних, які відносяться до окремих процесів ЖЦ виробу (ці технології призначені для автоматизації окремих процесів ЖЦ (перший етап створення ЄП));

-технології інтеграції даних про вироби – набір методів для інтеграції автоматизованих процесів ЖЦ і даних, які відносяться до них, представлені у цифровому вигляді, в межах ЄП.

У процесі автоматизації окремих процесів ЖЦ виробу використовуються існуючі прикладні програмні засоби (САПР, АСУП і т.п.). В той же час до них пред'являють дуже важливу вимогу – наявність стандартного інтерфейсу, який представляє дані. При інтеграції всіх даних в межах ЄП використовуються спеціалізовані програмні засоби – системи управління даними про вироби (PDM – product data management).

Завданням PDM системи – є акумулювання усієї інформації про холодильну систему, яку створюють прикладні системи та об'єднують її в єдину логічну модель.

Процес взаємодії PDM системи і прикладних систем складається із наступних стандартів:

функціональні стандарти задають організаційну процедуру взаємодії цифрових систем, наприклад, IDEFO;

стандарти на програмну архітектуру: задають архітектуру програмних систем, яка необхідна для організації їх взаємодії без участі людини, наприклад, CORBA;

інформаційні стандарти задають модель даних про вироби, які використовують усі учасники ЖЦ, наприклад ISO 10303 STEP;

комунікаційні стандарти задають спосіб фізичної передачі даних по локальним і глобальним мережам, наприклад, інтернет-промисловий: Оскільки споживач є повноцінним учасником ЖЦ виробу, то він також має доступ до ЄП, але для багатьох споживачів це може бути коштувати дорого. Враховуючи це, а також те, що споживачу необхідне лише експлуатаційні дані про виріб, в якості засобу доступу до ЄП він може використовувати не PDM-систему, а інтерактивні електронні технічні посібники типу (ІЕТП). ІЕТП – розробляються постачальником, який забезпечує доступ споживача до експлуатаційної інформації про виріб в ЄП і має стандартній інтерфейс користувача. PDM – технологія призначена для управління усьома процесами ЖЦ виробу, які створюють і використовують ці дані. Дані про вироби складаються із ідентифікаційних, наприклад, даних про склад або конфігурації виробу і документів, які використовуються для опису виробів або процесів його проектування, виробництва або експлуатації, при цьому всі дані обов'язково надаються в цифровому вигляді).

Управління інформаційними процесами ЖЦ представляє собою підтримку різних процедур, створюючих і використовуючих дані про виріб (наприклад, процедури зміни виробу), тобто фактично підтримку електронного (цифрового) документообороту, наприклад, конструкторського.

Основною ідеєю PDM-технології є підвищення ефективності управління інформацією за рахунок підвищення доступу до даних про холодильну систему, які необхідні для інформаційних процесів ЖЦ.

Підвищення доступності досягається за рахунок інтеграції усіх даних про виріб в логічну єдину модель.

PDM- система – це система управління даними про холодильну систему (систему управління проектом), яка містить всю інформацію про виріб, включаючи його склад і структуру, геометричні дані, креслення, плани проектування і виробництва, нормативні документи, програми для управління завантаження технологічних ліній (холодильних камер) холодильних систем, результати аналізу характеристик комплектувальних тощо.

PDM-системи виступають в якості засобів інтеграції множини цифрових систем (САПР, АСУП і т.п.) шляхом акумулювання даних, які надходять від систем і інтелектуальних датчиків в єдину логічну модель на основі стандартних інтерфейсів взаємодії. У процесі проектування смарт-холодильника команда-проекту працює взаємодіючи з конструкторами, технологами, працівниками технічного архіву, а також співробітниками, які працюють в інших предметних сферах- збут, маркетинг, постачання, фінанси, сервіс, експлуатація і т.п. Головним завданням PDM- системи є надання відповідним співробітникам потрібної їм інформації у реальному масштабі часу (у відповідності з правом доступу).

Усі функції PDM- системи можливо чітко розділити на декілька груп.

Управління збереження даних і документів. Усі дані і документи в PDM-системі зберігаються в спеціальній підсистемі-сховище даних, яка забезпечує їх цілісність, організовує доступ до них у відповідності з правами доступу і дозволяє виконувати пошук даних різними способами. При цьому документи, які зберігаються в системі, є цифровими документами, тобто, наприклад - мають права електронного підпису.

Управління процесами. PDM- система виступає в якості робочого середовища користувачів й відслідковує усі їх дії, у тому числі слідкує за атрибутами створення даних. Крім того, PDM- система керує потоком робіт (наприклад, у процесі проектування холодильної системи) та займається протоколюванням дій користувачів і зміною даних.

У процесі управління складом холодильної системи PDM- система зберігає інформацію про склад виробу, його конфігураціях. Важливою особливістю є наявність декількох уявлень складу виробу для різних предметних областей (конструкторський склад, технологічний склад, маркетинговий склад і т.п.), а також управління використанням компонентів холодильної системи.

Календарне планування роботи- розподіл ресурсів по окремих задачам і контроль виконання задач функції, які забезпечують взаємодію PDM- системи з іншими програмними засобами, користувачами, а також взаємодія користувачів один з іншим.

Ефективність PDM- системи пов'язана зі скороченням часу розробки виробу (тобто скорочення часу виходу виробу на ринок) і підвищення якості

виробу. Скорочення часу виведення холодильної системи на ринок досягається в першу чергу за рахунок:

- зменшення витрат часу проєктувальників пов'язаного з пошуком, копіюванням і архівом даних, що на 30-35% менше часу, ніж при паперовому проєктуванні;

- покращення взаємодії між конструкторами, технологами та іншими учасниками ЖЦ виробу шляхом підтримки методики паралельного проєктування, що приводить до скорочення кількості змін у виробі;

- різкого збільшення частки запозичень або декілька змінених компонентів у виробі (до 80%) шляхом надання можливості пошуку компонентів з необхідними характеристиками;

2.2. Системний підхід до проєктування холодильних систем

При проєктуванні смарт-промислового холодильника будемо використовувати системний підхід щодо проєктування холодильних систем. Системний підхід до проєктування об'єктів виробництва штучного холоду характеризується наступними умовами:

- об'єкт проєктування будемо розглядати як взаємопов'язану систему елементів, які є підсистемою деякої зовнішньої системи;

- опис кожного елемента, його характеристики повинні бути наведені з врахуванням його ролі у функціонуванні усієї системи;

- використання в холодильних системах когнітивних технологій.

Одним із найбільш значимих трендів, масштаб впливу якого зараз важко уявити, є розвиток когнітивних технологій. Завдяки когнітивним технологіям виникнуть виробничі процеси з високим рівнем автоматизації документообороту з обробленням інформації, тобто буде знижено трудозатрати на рутину офісну роботу: оброблення стандартних документів, включаючи довідки, заяви, звіти, платіжні документи, декларації, договори і т.п.

Якщо розглядати ЖЦ товарів і послуг, то когнітивні технології проникають і визивають суттєві зміни на усіх етапах, у тому числі і в процесі споживання.

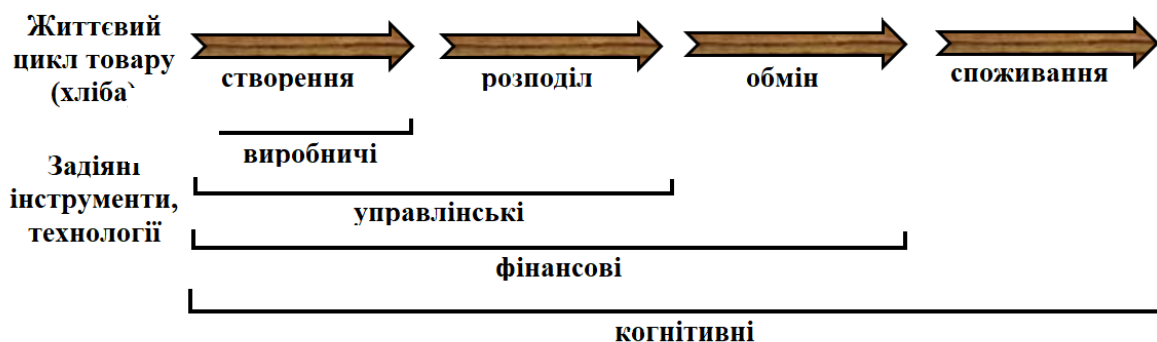


Рисунок 2.2. Відповідність компонентів економічної діяльності холодовиробництва і ключових технологій

У 2023 році, стає зростання економіки України до 4% буде за рахунок впровадження високоінтелектуальних когнітивних технологій в

агропромислового комплексу. Серед них розроблена цифрова платформа «ХОЛОД», яка здатна візуалізувати необхідні для роботи холодильних підприємств дані та смарт-рішення. За допомогою ситуаційного центру(СЦ) та автоматизованих робочих місць топ-менеджерів АРМ СЦ верхнього рівня АСУ-холодильника забезпечується гнучкість виробництва холоду.

Хмарні обчислення (Cloud Computing) – інформаційно-технологічна концепція, яка виконує своєчасне інформаційне забезпечення. Вона забезпечує до зручного мережевого доступу, з точки зору вимог до загального об'єму конфігуруємих обчислювальних ресурсів, які можуть бути оперативно надані і звільнені з мінімальними експлуатаційними затратами або зверненнями до провайдера. Прикладами ресурсів можуть бути мережі передачі даних, сервери, пристрої збереження даних, додатки і сервіси - як разом, так і окремо.

Хмарна технологія - це технологія обробки даних, в яких комп'ютерні ресурси надаються інтернет-користувачу по запиту (on demand) як онлайн-сервіс.

Відзначимо, що хмарні технології внесли значний вклад у фундамент цифрової економіки. Цей внесок не обмежується лише технологічною складовою, але включає також й економічні та ідеологічні компоненти. Розвиток хмарних технологій привів до появи таких понять, як виробництво за вимогою (production on-demand), програмне забезпечення як послуга (software as a service) і багато іншого, які стають основою більшості бізнес-моделей майбутнього і принципом більшості економічних взаємодій.

В інтелектуальних системах управління холодильними системами підприємств холодильників будемо також використовувати інтернет-речей/промисловий інтернет речей (IIoT).

Інтернет-речей – це концепція, яка об'єднує множину технологій. Вона розуміє оснащення датчиками і підключення до інтернету усіх приладів (і взагалі речей), що дозволяє реалізувати дистанційний або віддалений контроль і керування процесами в реальному часі (у тому числі в автоматичному режимі).

Сьогодні сформовано два напрямки:

-Інтернет-речей (IoT- Internet of Things);

-Промисловий інтернет-речей (IIoT- Industrial Internet of Things).

Інструментально ці технології дуже схожі, різниця в призначенні:

-основне завдання Інтернету-речей – це збирання можливих даних (які будуть пріоритетно використані для побудови моделей і прогнозів) ;

-промисловий Інтернет-речей використовується в автоматизації виробництва холоду його постачання в холодильні камери промислових холодильників (за рахунок віддаленого моніторингу сировинних ресурсів, параметрів технологічного процесу і обладнання у режимі реального часу (РЧ), інтеграцією з ключовими моделями та експертними системами керування процесом збереження продуктів харчування), оцінки потужності виробництва смарт-продукції її якості з підвищенням екологічності продукції.

Великі дані (Big Data) – сукупність підходів, інструментів і методів, призначених для оброблення структурованих і неструктурованих даних (в тому числі із різних незалежних джерел) з метою одержання результатів, які людина

зможе аналізувати в умовах віртуального виробництва та електронної комерції смарт-продуктів харчування. Зокрема, цифровізація відносин з клієнтами передбачає використання автоматизованих транзакцій (електронний обмін даними, автоматичне сканування замовлень, електронне виставлення рахунків), забезпечує наочну видимість ланцюжка поставок за допомогою розроблених порталів, якими можуть користуватись клієнти для відстеження замовлень, отримання сповіщень, перегляду документів і сертифікатів, надання інших послуг; пропонує застосування нових мобільних додатків і веб-сервісів (овол) для полегшення щоденних контактів з клієнтами.

У виробничій сфері основними напрямками смартизації виступають зниження собівартості та ресурсомісткості виробництва смарт-продуктів харчування для населення, що мешкає на забруднених територіях. відповідно індивідуальних запитів клієнтів навіть за умови невеликого обсягу замовлення (прикладом може бути розробка смарт-рішень щодо забезпечення населення заморожуваними продуктами харчування з автоматизацією виробництва процесів заморожування за допомогою CASE-засобів).

Більшість CASE-засобів засновано на парадигмі «методологія-метод-нотація- засіб». Методологія визначає керівні вказівки для оцінки і вибору проєкту розроблення продукту (або технології його виробництва), кроки роботи та послідовність, а також правила розподілення та призначення методів.

Метод- це систематична процедура, або техніка, генерація опису компонент смарт-продукту (наприклад, проектування робототехнологічних комплексів виробництва продукції, робототехнологічних інтенсифікаторів, розумних фабрик тощо).

Нотації призначені для опису структури системи, елементів даних, етапів розробки та включають графи, діаграми, таблиці, блок-схеми, робототехнологічних комплексів тощо.

Засоби - інструментарій для підтримки і підсилення методів розробки проєкту.

Таким чином, використання цифрових технологій, а також сучасної системної та програмної інженерної CASE-технології дає змогу: покращити якість створюваного за рахунок засобів комп'ютерного моделювання смарт-продукту (за рахунок контролю проєкту) та його впровадження; дозволяє за короткий час створити прототип майбутньої системи, що дає можливість уже на етапах розробки оцінити очікуваний результат; прискорює процес проєктування та розробки; визволяє проєктанта від рутинної роботи щодо проєкту та дозволяє йому займатись творчим пошуком інноваційних рішень. Важливою технологією в управлінні забезпеченням заморожуваними харчами регіонів з техногенним навантаженням є технологія блокчейн. Вона може бути використана в українській програмі харчової системи удосконалення процесів виробництва заморожуваних продуктів їх постачання (логістики) і продаж продукції.

Шляхом підвищення прозорості виробничого ланцюгу та забезпечення мобільних платежів, кредитів і фінансування підприємства галузі будуть зацікавлені у виробництві лише безпечної екологічної продукції здорового харчування. Покращання можливості моніторингу технології виробництва

продукції, якості сировини, параметрів продукції та робочих характеристик технології і холодильного обладнання встановленим стандартам.

Технологія блокчейн дозволяє: визначити відповідність виробництва сертифікації та переробки харчових продуктів встановленим стандартам; також зменшити втрати продуктів і харчових відходів. Крім-цього, смарт-контракти дозволяють учасникам бізнес-проектів заключати угоди без посередників, що в решті дозволяє зменшити ціну продукції для населення, яке мешкає на території з техногенним тиском.

Зрозуміло, що біотехнології, технології штучного інтелекту, квантові обчислення, блокчейн, інтернет-комунікації у харчовій промисловості та сільському господарстві лише знаходяться на стадії розробки концепції розвитку та впровадження до 2025 року. У той же час вони почали використовуватися в учбових програмах ЗВО з метою впровадження інноваційних технологій виробництва заморожуваних продуктів здорового харчування.

Платформа «ХОЛОД» дозволяє мати своєчасний доступ до фінансування постачання продукції. Наприклад, якщо використовувати метод фінансування - факторинг та дисконтування рахунків – фактур, то постачальники агробізнесу будуть зацікавлені у забезпеченні техногенних територій продуктами здорового харчування.

З метою розробки сучасних смарт-продуктів харчування необхідно звернути увагу на проектування автоматизованих систем керування технологічними процесами заморожування з робототехнологічними комплексами (РТК), а також автоматизованих холодильних ліній з роботами. Вони побудовані на основі безлюдних технологій і дозволяють гнучко реагувати на потреби споживачів та своєчасно оновлювати портфель замовлень.

Таким чином, платформа «ХОЛОД» з програмним забезпеченням, CALS-PDM технологій, СЦ-АСУ промислових холодильників дозволяє запропонувати гнучкі виробничі структури з N-видів продукції здорового харчування.

Наведемо ознаки гнучкості холодильних підприємств харчової промисловості:

1. Можливість зміни номенклатури зберігання смарт-продукції;
2. Можливість заморожування/ охолодження продукції установленої номенклатури різними способами та з різної сировини, напівфабрикатів і інгредієнтів;
3. Забезпечення оптимальних затрат при переході з будь-якого виду заморожування/ охолодження продукції встановленої номенклатури на будь-яку іншу із цієї номенклатури;
4. Можливість функціонувати в автоматичному, автоматизованому і в ручному режимах з можливою допустимою втратою продуктивності;
5. Наявність в структурі технологічного обладнання холодильної системи робототехнологічних комплексів (РТК) та робототехнологічних інтенсифікаторів якості заморожування м'ясної продукції за допомогою ультразвукових коливань;

6.Наявність технічної, математичної. інформаційної підтримки проектування обладнання ХМ ПРХ;

7.Можливість обміну даними в межах інформаційного забезпечення;

8.Можливість зміни номенклатури продукції ПРХ за рахунок введення інноваційних технологій, організаційних,технічних чи інших заходів при збереженні ефективності;

9.Можливість модернізації окремих видів обладнання без зміни всієї компоновки ХМ ПРХ та робототехнологічних систем завантаження/розвантаження продукції;

10.Можливість гнучкої виробничої системи(ГВС) зберігати ефективність при різних замовленнях щодо виробництва замороженої смарт-продукції харчування гірників, воїнів ЗСУ, школярів тощо;

11.Можливість заміни системи технічного забезпечення (СТЗ) в процесі переходу на новий вид продукції встановленої номенклатури для регіонів з техногенними територіями;

12.Можливість самоналагодження при збуреннях в роботі ХМ ПРХ та АСУТП виробництва смарт-продуктів харчування;

13.Можливість автоматичного контролю за виконанням технологічних операцій та розпізнавання аварійних режимів роботи холодильних систем.

14.Узгоджене управління процесом холодозабезпечення холодильних камер холодильної системи в реальному масштабі часу за допомогою ERP систем

N-видами заморожування/ охолодження продукції, потоками грошей з постійною оцінкою ланцюга забезпечення сировиною підприємства холодильника та новітнім обладнанням, енергоносіями, холодоагентами, а на виході підприємство забезпечує потреби споживача.

2.3. Основні методи і засоби проектування: метод морфологічних таблиць

(морфологічний аналіз)

Розпочнемо це важливе питання теми з викладення методу морфологічних таблиць. Метод оснований на побудові таблиці, в якій перераховуються елементи, що складають об'єкт, і вказують усі допустимі варіанти реалізації цих елементів. Комбінуючи варіантами реалізації цих елементів об'єкта, можливо одержати цікаві інноваційні рішення.

Метою морфологічного аналізу є – побудувати поле можливих проектних рішень. Спочатку потрібно побудувати схему знаходження проектних рішень за допомогою морфологічних таблиць.

1.Скласти список імен (марок) функціональних вузлів холодильної системи. За допомогою таких вузлів можливо реалізувати функціональну структуру холодильної системи в межах можливостей розробників і виготовлення з врахуванням обмежень щодо використання замовником.

2.Скласти морфологічну таблицю, в якій кожний є варіантом проекту, а кожний стовбець є типом функціонального блока. Якщо варіант може бути реалізований шляхом об'єднання функціональних блоків двох типів, наприклад блок «двигун асинхронний гвинтового компресора» і блок «тиристорний

перетворювач частоти», то даного рядка виконується одна колонка, наприклад «двигун». У чарунці таблиці, утвореної перетином рядка і стовпця, вказують імя функціонального елемента в формі торговельної марки, імені по класифікатору бази даних розробників, назву за каталогом постачальника або в іншій формі, унікальної в межах розробленої таблиці.

3. Спробувати оформити нові, невідомі розробнику варіанти, використавши евристичні методи проектування.

4. Визначити один або декілька конкурентних оптимальних варіантів, виконавши відповідний метод оптимізації.

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. З яких частин складається CALS- технологія?
2. Назвіть дві проблеми підвищення ефективності інформаційного забезпечення ЖЦ холодильної системи.
3. Основна ідея PDM - технології.
4. Завдання PDM- системи та її стандарти.
5. Функції PDM при проектуванні холодильних систем.
5. Назвіть основні ознаки цифрової платформи «Холод»
6. Що таке нотація?
7. В чому полягає суть морфологічного аналізу.

Тести

Тест 1. Основною концепції CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) є: а) підвищення ефективності процесу ЖЦ виробу; б) оперативне й доступне використання інформації; в) використання інформації про холодильну систему; г) всі відповіді правильні.

Тест 2. Більшість CASE-засобів засновано на парадигмі: а) методологія; б) метод; в) нотація; г) засіб.

Тест 3. Завдяки когнітивним технологіям виникнуть виробничі процеси з високим рівнем: а) автоматизації документообороту з обробленням інформації;

б) зниження трудозат на рутину офісну роботу (оброблення стандартних документів, включаючи довідки, заяви, звіти, платіжні документи, декларації, договори); г) всі три відповіді правильні.

Тест 4. Промисловий Інтернет-речей використовується в автоматизації виробництва холоду його постачання в холодильні камери промислових холодильників: а) з метою віддаленого моніторингу сировинних ресурсів; б) для дослідження параметрів технологічного процесу і обладнання у режимі реального часу (РЧ); в) для інтеграції з ключовими моделями та експертними системами керування процесом збереження продуктів харчування; г) для оцінки потужності виробництва смарт-продукції її якості з підвищенням екологічності продукції.

Тест 5. Метод морфологічних таблиць оснований на побудові: а) таблиці, в якій перераховуються елементи, що складають об'єкт; б) таблиці, в якій вказують усі допустимі варіанти реалізації цих елементів; в) комбінацій варіантів; г) реалізації цих елементів об'єкта, що дозволяє одержати цікаві інноваційні рішення.

Тема 3. Системи автоматизованого проектування холодильних систем

3.1. Основи теорії автоматизованого проектування

Розпочнемо це питання з визначення, аналізу та класифікації САПР. САПР призначена для автоматизації технологічного процесу проектування холодильних систем, результатом якого є комплект проектно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проектування[1], наприклад (промислових холодильників). САПР реалізується на базі спеціального програмного забезпечення, автоматизованих банків даних, широкого набору периферійних пристроїв. САПР холодильних систем виконує наступні функції:

- конструкторська частина- розробка повного комплексу конструкторської документації;
- технологічна частина-розрахунок і проектування технологічних схем холодозабезпечення, технологічного оснащення компресорних систем, технологічну частину промислових холодильників;
- архітектурно-будівельна частина промислових холодильників (розрахунок і проектування металевих і залізобетонних конструкцій);
- санітарно-технічні системи(проектування вентиляції промислових холодильників, опалення адміністративних споруд тощо);
- електротехнічні системи- розрахунок і проектування електропостачання, електросилового устаткування, світлотехнічної частини проектів промислових холодильників;
- системи автоматизації холодильних систем;- кошторисна частина- складання локальних і зведених кошторисів, відомостей матеріалів, специфікацій, комплектації обладнання.

САПР включає наступні технології:

1.Технологія автоматизованого проектування(англ. Computer-aided designCAD) 2.Технологія автоматизованого виробництва (англ. Computer-aided manufacturings- технологія САМ) 3. САЕ- (англ. Computer-aided engineersng)-технологія автоматизованої розробки; 4.CALS- (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support)- постійна інформаційна підтримка постачання і життєвого циклу. Система автоматизованого проектування і розрахунку – комп'ютерна система обробки інформації, що призначена для автоматизованого проектування (СА), розроблення (САЕ) і виготовлення (САМ) кінцевого продукту, а також оформлення конструкторської та/або технологічної документації.

Дані з САД-системи передаються в САМ – системи автоматизованої розробки програм обробки деталей гнучкого проектування компресорних систем. Робота з САПР полягає у створенні геометричної моделі холодної системи (двовимірної або тривимірної), генерацію на основі цієї моделі конструкторської документації (креслень, холодної системи, специфікації тощо) та його наступний супровід.

3.1.1. Класифікація САПР

- Загальні характеристики:
 - Щодо галузевої належності об'єкта проєктування (вироб машинобудування).
 - Щодо способу організації інформаційних потоків: а) індивідуальні автоматизовані робочі місця (АРМ); б) розподілена багаторівнева система керування.
 - Щодо розміщення сервера і правами власності на нього: а) персональні САПР, наприклад Auto Cad, встановлених в персональному компютері користувача; в) Корпоративні САПР колективного користування, наприклад, мережі типу «сервер-клієнт»
- Програмні характеристики. Щодо спеціалізації програмних засобів.
 - Універсальні системи, які дозволяють спроектувати холодильні системи широкого призначення.
- Щодо способу організації внутрішньої структури САПР
 - Системи, які використовують стандартний набір модулів.
- Щодо можливості функціонального розширення системи користування 4.1. Системи з налагодженими інтерфейсами.
- Щодо можливості обміну інформацією.
- Щодо способу створення прототипів, які змінюються.
- 6.1 Незмінні готові блоки холодильних систем, які вбудовані в модель чи креслення у вигляді готових елементів, які зберігають на жорстких дисках.
- Щодо методів моделювання функцій інноваційного виробу.
- Щодо використання засобів обчислювальної техніки.
- 8.1 персональні комп'ютери. 8.2 міні-ЕОМ.
- Щодо способу об'єднання технічних засобів.
- Щодо використання тезнічних засобів і периферійного обладнання САПР.
- Щодо способу організації діалога системи з користувачем.
- Щодо зручності діалога системи з користувачем.
- Щодо розмірності моделей.

3.2. Поняття онлайн-проєктування як засобу автоматизації проєктних робіт

Історично онлайн-моделювання зародилось у інноваційних компаніях, які виробляли електронні комплектувальні, вартість яких при керуванні потужними потоками енергії в нелінійних реактивних навантаженнях була порівнено високою, а запити на ринку збільшувались. Макетування декількох варіантів проєкту стало коштовним і тривалим, а моделювання таких пристроїв в індивідуальних проєктах стало складним, тому що простих універсальних моделей електронних комплектувальних не існувало. В цей період вченими була запропонована мова програмування моделювання електронних компонентів PSPICE, яка пізніше стала використовуватись в багатьох САПР виробів електротехніки та машинобудування. З іншого боку головні фірми, які виробляють компоненти у мікросхемному виконанні, стали

друкувати PSPICE моделі власної продукції через Internet. Обчислювальні засоби САПР холодильних систем відрізняються широким діапазоном використання і можуть бути класифіковані за наступними ознаками:

1. Універсальні математичні моделі. 2. Системи математичного моделювання за розділами техніки (наприклад, Math Lab, Sumuling). 3. Спеціалізовані математичні системи за розділами математики (наприклад, GPSS, SSPS, Linear, Analyse). 4. Математичні системи, вбудовані в типові CAD-засоби.

Використання символічної та обчислювальної математики в САПР холодильних систем. У загальному вигляді середовище символічної математики – це середовище для виконання математичних розрахунків на комп'ютері шляхом введення команд, без будь-якого попереднього програмування. Крім цього, засоби символічної математики можуть оперувати не лише наближеними числами, але і точними дійсними і комплексними значеннями, які присвоєнні символічним змінним. Це дозволяє одержати відповідь з високою точністю. Але, що дуже важливо знати, що рішення задач проектування може бути одержане аналітично, тобто у вигляді формул, які складені із математичних символів. Засоби символічної математики можуть виконувати складні алгебраїчні перетворення і спрощення над полем комплексних чисел, знаходити кінцеві та без кінцеві суми, добутки, границі та інтеграли, рішення у символічному вигляді та чисельно-алгебраїчному вигляді (у тому числі трансцендентні) системи рівнянь і нерівностей, знаходити всі корені багаточленів, обчислювати аналітичні і чисельні системи звичайних диференціальних рівнянь і деякі класи рівнянь з приватних похідних.

Засоби символічної математики мають пакети підпрограм для обчислення задач лінійної і тензорної алгебри, евклідової та аналітичної геометрії, теорії чисел, теорії ймовірності і математичної статистики, комбінаторики, теорії груп, інтегральних перетворень, чисельної апроксимації та лінійної оптимізації (симплекс-метод) і багатьох інших задач. Проектування сучасних холодильних систем не можливе без використання знань в сфері теорії холоду, теплохолодотехніки, фізики, гідродинаміки, теоретичної механіки, екології, мікропроцесорної техніки, теорії автоматичного регулювання і т.п. Реалізація цієї знань у формі моделювання і розрахунків стають менше затратними і більш безпомилковим з використанням засобів символічної математики.

Випуск проєктної документації в САПР холодильних систем. На теперішній час це найбільш розвинута частина САПР, яка дозволяє виконувати розробку, збереження у вигляді файлів або документування:

- усіх видів креслень і схем виконаних за національними і міжнародними стандартами (схеми кінематичні, пневматичні, електричні і т.п., креслення загальних видів, збірні креслення, креслення деталей тощо);
- усіх видів відомостей, таблиць тощо форми з національних і міжнародних стандартів (специфікації, відомості постачань, таблиці параметрів і т.п.)
- усіх типів текстових документів (пояснювальні записки, формуляри, інструкції з експлуатації і т.п.);
- програм управління компресорним обладнанням, карт налагодження, опис

технологічного процесу, відомостей СТО, конструкторської документації на оснастку і т.п.

- програм управління: холодопостачанням, технологічними процесами холодозабезпечення холодильних камер ПРХ, працездатністю холодильного обладнання, програмами виконання пуско-налагоджувальними роботами та планово-попереджувальними роботами (ППР).

3.2.1. Бази даних і бази знань як інструмент САПР холодильних систем

Бази даних (БД) - це сукупність зв'язаних даних, організованих за визначеними правилами, які передбачають загальні принципи опису, збереження і маніпулювання. Бази даних не залежать від прикладних програм і є інформаційними моделями предметної області. Звернення до них виконується за допомогою системи управління базами даних (СУБД)- комплексом програмних, мовних і інтелектуальних засобів, за допомогою яких реалізуються створення і використання БД. База даних, СУБД і усі види забезпечення користування базою даних утворюють банк даних. При створенні автоматизованих банків даних одним із основних є принцип інформаційної єдності, який полягає у використанні: єдиної термінології, умовних позначень, символів, єдиних проблемно-орієнтованих мов, способів представлення інформації, єдиної розмірності фізичних величин, які зберігаються в БД. Бази даних завжди створюють з врахуванням характеристик об'єктів проектування, процесу проектування, діючих нормативів і довідкових даних. Дані - знання, які одержані шляхом вимірювання, спостереження, логічних чи арифметичних операцій і презентацій у формі яка годиться для постійного збереження, передачі та оброблення (автоматичної). Серед даних виділяють особливий клас – метадані тобто дані про даних (статус, місцезнаходження даних, походження тощо). Актуалізація даних- приведення даних у відповідності зі станом відображення об'єктів предметної області. Актуалізація реалізується шляхом операції додавання, виключення і редагування записів. Записи зберігаються в архівах. Архів даних- організаційна сукупність інформаційних масивів, документів чи програм ЕОМ, які довготерміново зберігаються на зовнішніх носіях з метою забезпечення можливості їх подальшого використання. Інформаційні масиви складаються із текстів або двійкових кодів на різних носіях. При вивченні цього питання здобувачі вищої освіти повинні самостійно ознайомитись з наступними поняттями: текст, каталог, атрибут даних, рубрикатор даних(класифікаційна таблиця), структура(модель) даних, обробка даних, автентичність даних, передача, секретність даних. При цьому при вивченні цієї теми студенти повинні ознайомитись з деякими прикладами СУБД, наприклад: FoxPro, Microsoft, Visual FoxPro тощо.

База знань (БЗ) - семантична модель, яка описує предметну область і яка дозволяє відповідати на питання із предметної області, відповіді на які в явному вигляді не присутні в базі. База знань є основним компонентом інтелектуальних і експертних систем. Елементами бази знань можуть бути: математичні моделі, алгоритми, програми розрахунків, опис програмно-наслідкових зв'язків, наукові описи тощо. У базі знань виділяють особливий

клас- мето знання, тобто знання експертної системи про власне функціонування і процеси побудови логічних висновків. База знань, СУБД і усі види забезпечення користування Базою знань утворюють банк знань. Система управління базою знань – комплекс програмних, мовних і інтелектуальних засобів, за допомогою яких реалізується система створення і використання Базы знань. Менеджер бази знань – служба чи спеціаліст зі штучного інтелекту, який проектує і створює банк знань. Здобувачі вищої освіти повинні самостійні ознайомитись з наступними поняттями: архів знань, атрибут знань, автентичність знань, обробка знань, передача знань, рубрикатор знань. Отже, база знань – це дуже широке поняття, наприклад Internet, електронна бібліотека, БЗ корпорації, БЗ розробника і т.п.

При проектуванні холодильних систем промислових холодильників та їх компресорного обладнання, конденсаторів, випарників, ІСУ процесами заморожування продуктів харчування в холодильних камерах ПРХ будемо використовувати Базу даних, Базу знань та СУБД.

3.2.2. Імітаційне і макетне моделювання, випробування виробів

Імітаційне моделювання – представлення станів проектного виробу на деяких аналогах, математичні моделі чи представлення типу «вхід-вихід» яких співпадають. Метод імітаційного моделювання полягає в тому, що за допомогою ЕОМ досліджується поведінка об'єкта проектування, а дослідник, який керує процесами імітації й аналізує одержані результати може зробити висновок про властивості об'єкта дослідження. Широке використання методу імітацій при керуванні проектами обумовлено наступними причинами:

- складністю проектів, наявністю великої кількості факторів, які обмежують ефективність використання традиційних аналітичних методів;

- новими можливостями, які дозволяють виконати проведення імітаційних експериментів у широкому діапазоні вимірювань параметрів проекту і зовнішнього середовища, що дає змогу одержати корисні дані про проект в умовах невизначеності;

- можливістю імітаційного моделювання дати досліднику проекту уявлення про те, які із параметрів проекту є найбільш суттєвими.

Метод Монте-Карло полягає в моделюванні за допомогою комп'ютера ситуацій, які визначені випадковими факторами, з подальшим обробленням результатів експериментів методами математичної статистики. Базою для імітацій є « датчик випадкових чисел».

Датчик випадкових чисел- реалізований за допомогою комп'ютера алгоритм функціонування «псевдовипадкових» чисел, які підпорядковані рівномірному на відріжку 0,1 розподіленню ймовірностей. За допомогою датчика випадкових чисел можливо змоделювати будь-які ймовірні розподілення.

За допомогою імітаційних моделей випробовують частіше всього обмежений набір функцій виробу (елементів холодильної машини). Найбільш ефективним способом імітаційного моделювання є моделювання на ЕОМ. Макетне моделювання(макетування)- створення і випробування виробу, який

не повністю відповідає робочій документації на збирану одиницю. Наприклад, макет холодильної системи може складатись із компресорної поршневої установки і системи асинхронного приводу з ТПЧ, виконаних у відповідності з проектною документацією, а їх конструкції фундаментів не відповідають проектній документації (наприклад, трубопроводи були не пофарбовані тощо). Ступінь адекватності макету визначає розробник. Випробування холодильних систем- це регламентне дослідження моделі, макету чи виробу з метою визначення його властивостей. Моделювання і випробування є достатньо трудоемними операціями, а їх проведення бажано автоматизувати. Автоматизовані системи наукових досліджень (АСНД) і проведення випробувань (САПВ) можуть бути як простими (так, наприклад, комплекс запису показників щодо запису показників датчиків вібрації і температури, холодопродуктивності холодильних машин у пам'ять ЕОМ та їх статистичного оброблення в період дослідження холодильних систем), а також використання більш складних систем комплексного дослідження холодильних систем щодо впливу холодоагентів на довкілля тощо.

3.2.3. Вимоги до якості проєкту, нормативні акти проєктування

Виконаний проєкт повинен відповідати визначеним критеріям якості власне процесу проєктування. До таких критеріїв будемо відносити: якість об'єкта проєктування, проектною документації, вартість проєктування та ефективність проєктування. Критерії якості проєктування холодильного обладнання можуть бути різними, а тому їх приклади будуть розглянуті в різних темах посібника. Якість проектною документації оцінюють системою стандартів – державних, міжнародних та стандартів підприємства. До державних стандартів відносяться:

ЕСКД- єдина система конструкторської документації;

ЕСТПВ- єдина система технологічної підготовки виробництва;

ЕСПД- єдина система програмної документації;

ССБП- система стандартів безпеки праці.

В Україні діють міжнародні стандарти у вигляді комплексу ISO-9000, ISO-14000 та ін. стандарти. Якість проектною документної документації визначають її відповідністю:

1. нормативним актам щодо змісту (стандарти, нормалі, інструкції і т.п.);
2. нормативним актам щодо можливості використання у виробничих умовах, щодо можливості тиражування, швидкості і вартості пересилання.

Якість експлуатаційної документації визначають повнотою і доступністю щодо використання інструкції з експлуатації, організаційної структури обслуговування виробу. Вартість проєктування складається із зарплатні персоналу (проєктувальників), вартості макетування, вартості випуску проектною документації, накладних витрат, прибутку проектною організації інших затрат. Ефективність проєктування визначає відношення фактичних затрат на проєктування і оцінкою очікуваного прибутку від реалізації виробу. Критеріями ефективності проєктування холодильних систем можуть бути наступні показники:

1. Показник якості проєкта:

$$F1 = rdp (T+B) E1/S1, (3.1)$$

де **r**- ймовірність успішного завершення проєктування; **d**- ймовірність успішного розміщення виробництва виробу; **p**-ймовірність успішної реалізації виробу; **T**- технічний показник якості виробу, наприклад на 30% збільшено енергоефективність холодильної системи у порівнянні з аналогом і т.п.; **B**- економічний показник, наприклад термін окупності виробу для користувачів тощо; **E1** – приведена величина доходу для виробника виробу; **S1**- сумарні капіталовкладення на проєктування і виробництво.

2. Показник значення проєкту:

$$F2 = prdSQn/S, (3.2)$$

де **S**- річний об'єм реалізації виробу; **Q** - дохід від реалізації для виробника; **n**- термін служби виробу.

3. Повернення інвестицій

$$F3 = p G1 / (R+D+K+W), (3.3)$$

де **G**- приведена величина валового прибутку для виробника; **R**- приведені прямі затрати на науково-дослідну роботу і проєктні роботи; **D**- приведені прямі затрати на постановку виробництва; **K**- основні капіталовкладення; **W**- оборотні капіталовкладення. Процес проєктування будь-якого виробу стандартизований у своїй результативній частині. Стандартизовані також стадії проєктування і звітні документи по кожній стадії, їх зміст. Розділення праці між конструкторами, проєктантами та іншими спеціалістами на рівні державних стандартів не регламентоване, але в більшості підприємств такий стандарт є.

Розглянемо стадії проєктування холодильного обладнання. У процесі створення будь-якого холодильного обладнання завжди можливо виділити два суб'єкта з якісними різними функціями, які будемо називати Замовником і Розробником, після чого Розробник починає розробляти проєкт. Розробник призначає головного інженера проєкта (головного конструктора, головного менеджера проєкту), які забезпечують координацію усіх робіт.

Розробник самостійно запрошує співвиконавців роботи і несе за них відповідальність перед Замовником. Після розробки ТЗ воно узгоджується зі Замовником і затверджується ним. Затверджене ТЗ є основним документом, відповідно якому виконується технічна пропозиція, ескізний і технічний проєкти, які також затверджуються в установленому порядку. Потім випускають робочу документацію, яку передають Виробнику через Замовника. Після випуску дослідного пристрою або партії виконують дослідну експлуатацію виробу, за результатами яких складається акт. Розробник приймає участь у виготовленні (авторський нагляд) і випробуванні виробу та вносить необхідні узгодженні корективи в технічну документацію. Додатки до змін у ТЗ допустимі лише у тій же послідовності що і випуск ТЗ. При виконанні проєктів Розробник повинен виконати всі нормативні акти, які регулюють цю сферу. До процесу проєктування завжди попередньо виконуються ряд робіт, які виконуються Замовником, метою яких є проведення аналізу реальної необхідності створення нового виробу з точки зору господарської необхідності, наявності реальних користувачів та їх кількості технічної можливості та

економічного обґрунтування виробництва холодильної системи; розробка структури інвестицій в проєкт (знаходження джерел фінансування, визначення партнерів); визначення усіх учасників проєкту та юридичне оформлення відношень з ними. Документи цієї стадії на рівні державних нормативів (крім законодавчих) не регламентуються.

Ця стадія називається передпроектною, і участь в неї за запрошенням Замовника може приймати і Розробник. завдання (ТЗ) обов'язкова. ТЗ є основним юридичним документом, який регулює відношення Замовника і Розробника.

Технічна пропозиції. На цьому етапі визначають принципово можливі способи виконання ТЗ, обирають ряд проектних рішень, найбільш оптимальні із них, з точки зору визначених критеріїв, і вирішують питання подальшої розробки інших варіантів.

Ескізний проєкт- комплекс проектних документів, які надають загальне уявлення про об'єкт проєктування, принцип його роботи, призначення, основні параметри, габарити. В ескізному проєкті можуть бути виконані декілька варіантів, які повино уточнювати.

Технічний проєкт (ТП) має повне і заключне уявлення про холодильну систему, як об'єкта проєктування. Документація ТП визначена ДСТУ та включає: опис документів проєкту, пояснювальну записку, розрахунок техніко-економічних показників (ТЕП), кошторис витрат, схему функціональної структури (опис завдань керування холодильної системи та контролю параметрів якості заморожуваної продукції), документацію математичного забезпечення(пояснювальна записка, опис алгоритмів, ТЗ на програмування), документація інформаційного забезпечення, схеми структурні, принципові (електричні, гідравлічні, пневматичні), проектну оцінку надійності, план можливих розташувань креслень загального виду, таблиць з'єднань і підключень, відомості обладнання і матеріалів, завдання на проєктування в суміжних частинах проєкту, схему організаційної структури, інші документи. Документація робочого проєкту включає ті ж документи, що і ТП, а також додатково: документацію програмного забезпечення, повний комплект конструкторської документації, специфікацію усіх елементів, формуляр системи (технічний паспорт), інструкцію експлуатації інші документи. Етапи технічного і робочого проєктування допускається об'єднувати в етап техноробочого проєкту. Відмітимо також наступне: стадії технічної пропозиції та ескізного проєкту не завжди обов'язкові.

3.3. Програмні комплекси автоматизованого виконання проєктних робіт Сьогодні інженери – конструктори з холодильних машин в своїй проєктній діяльності успішно застосовують такі добре відомі та популярні САД- системи тривимірного твердотільного та поверхневого параметричного проєктування. Особливо цікавими для нашого випадку серед них є системи AutoCaD й Inventor (Autodesk,Inc), Creo Elements/Pro (до ребрендингу добре відомий як Pro/EnGiNEER) (PTC Inc.), SoliWorks (Dassault Systemes S.A), а також вітчизняну КОМПАС-3Д (АСКОН).

Auto PLANT містить велику бібліотеку (більше 25 типів) параметризованого допоміжного обладнання (ємності, насоси, різні сполучні елементи) дозволяє в автоматичному режимі виконувати розводку труб і обв'язку апаратів у тривимірному просторі, створювати різні металеві та несучі сталеві конструкції, генерувати монтажні креслення, здійснювати пошук і оповіщення щодо невідповідності і колізій в проєкті.

3D модель Auto PLANT До складу **Auto PLANT** входять наступні програми: трубопроводи (Piping), обладнання (Equipment), конструкції (Multi-steel).

Модуль «Трубопроводи» дозволяють проєктувати системи трубопроводів з урахуванням специфікації каталогів створених користувачем для даного проєкту, генерувати і редагувати такі каталоги, а також специфікації та інші нормативні документи. У модулі присутні функції, що дозволяють в автоматичному режимі виробляти розводку труб і обв'язку холодильних апаратів. У програмі реалізована комбінація послідовної маршрутизації, підгонки, складання елементів і конструкції у тривимірному просторі. Крім цього модуль «Трубопроводи» містять функції автоматичного тривимірного розміщення компонентів (трубопроводів холодильних машин), їх орієнтації в просторі проєкту, автоматичної генерації монтажних креслень, пошук і оповіщення про невідповідності і колізії у проєкті. Вперше застосовані унікальні методи автоматизованого проєктування трубопроводів на основі специфікацій або каталогів, підготовлених користувачем, які дозволяють ще на стадії проєктування уникнути помилок, пов'язаних з несумісністю використовуваних при побудові просторової макету елементів і гарантувати їх відповідність критеріям даного проєкту. Функції послідовної підгонки і маршрутизації трубопроводів дозволяють підвищити продуктивність використання обчислювальних ресурсів і гарантують цілісність моделі. Наприклад, коли сусідні трубопроводи для холодопостачання холодильних камер розташовані на окремих ділянках холодильного підприємства інколи проєктувались фахівцями різних відділів (на протязі різних років) з використанням не стандартних програмних продуктів тощо. Auto PLANT має можливість автоматично розміщувати необхідні компоненти моделі і здійснювати орієнтацію в просторі проєкту. Звичайні монтажні креслення і необхідні видові проєкції можуть бути легко створені шляхом перемикання програм з режиму побудови просторової моделі в режим побудови креслень в заданій проєкції. Можливості візуалізації та мультиплікації, якими володіє Auto PLANT, включені в модуль «Трубопроводи» з метою надання можливості візуальної оцінки тривимірного макету конструкції холодозабезпечення, проєкту холодильного смарт-підприємства з його холодильними камерами та системами інтелектуального керування. У такому проєкті реконструкцію холодильних камер великої продуктивності виконують з використанням систем контролю параметрів геометрії її заповнення та оцінкою положення дверей, повітряних потоків та параметрів вологості.

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. Призначення систем автоматизованого проектування холодильних систем.
2. Які функції виконує САПР?
3. Які технології виконує САПР?
4. В яких компаніях виникло онлайн- проектування та його сутність?
5. Поясніть суть обчислювальних засобів САПР холодильних систем
6. Наведіть етапи випуску проектної документації САПР холодильних систем.
7. Що таке база даних і база знань САПР холодильних систем ?
8. Поясніть сутність методу імітаційного моделювання.
9. Перерахуйте критерії якості проектної документації
10. Назвіть найбільш перспективніші програмні комплекси САД- систем/

Тести

Тест 1. САПР призначена для автоматизації технологічного процесу проектування холодильних систем, результатом якого є: а) комплект проектно-конструкторської документації; б) розробка документації достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проектування; в) виконання проекту на базі спеціального програмного забезпечення, автоматизованих банків даних, широкого набору периферійних пристроїв; г) всі три відповіді правильні.

Тест 2. САПР холодильних систем виконує: а) розробку повного комплексу конструкторської документації; б) технологічну частину проекту; в) розрахунок і проектування технологічних схем холодозабезпечення, технологічне оснащення компресорних систем, технологічну частину промислових холодильників; г) всі відповіді правильні.

Тест 3. Система автоматизованого проектування і розрахунку це комп'ютерна система обробки інформації, що призначена для: а) автоматизованого проектування (СА); б) розроблення (САЕ) і виготовлення (САМ) кінцевого продукту; в) оформлення конструкторської та/або технологічної документації; г) всі відповіді правильні.

Тест 4. Метод імітаційного моделювання полягає в наступному: а) за допомогою ЕОМ досліджується поведінка об'єкта проектування; б) дослідник, керує процесами імітації; в) дослідник аналізує одержані результати; г) досліджень може зробити висновок про властивості об'єкта дослідження

Тест 5. Стадії проектування, які виконує Розробник це: а) 1- технічне завдання та технічна пропозиція; б) ескізний проект і - технічний проект; в) робочу документацію. г) всі відповіді правильні

Тест 6. Імітаційне і макетне моделювання, випробування виробів це: а) представлення станів проектного виробу на деяких аналогах; б) математичні моделі; в) представлення типу «вхід-вихід»; г) всі відповіді правильні.

Тест 7. Вартість проектування складається із: а) зарплатні персоналу (проектувальників) та вартості макетування; б) вартості випуску проектної документації, накладних витрат; в) прибутку проектної організації та інших затрат. г) всі відповіді правильні.

Тест 8. Ескізний проєкт це: а) комплекс проєктних документів, які надають загальне уявлення про об'єкт проєктування; б) принцип його роботи; в) призначення, основні параметри, габарити; г) всі відповіді правильні

Тест 9. Розробник проєкту приймає участь: а) у виготовлені (авторський нагляд холодильної системи; б) у випробуванні виробу; в) та вносе необхідні узгодженні корективи в технічну документацію; г) всі відповіді правильні.

Тест10. 3D модель Auto PLANT до складу якої (Auto PLANT) входять наступні програми: а) трубопроводи (Piping); б) обладнання (Equipment); в) конструкції (Multi-steel); г) всі відповіді правильні.

Тема 4. Інжинірингові методи проєктування холодильних систем

4.1. Сучасна ідеологія автоматизації проєктування холодильних машин та промислових холодильників

Сучасні методи САПР з 3Д-проєктуванням ґрунтуються на знаннях:

- інженерно-технічних підходів щодо вирішення проєктних завдань холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників;
- застосування ІТ-технологій, пов'язаних з використанням 3Д-пакетів програм для вирішення завдань проєктування, застосування веб-технологій у практиці проєктування холодильних систем;
- специфіки предметної області (холодильні машини, холодозабезпечення), для яких виконуються проєкти.

У процесі виконання проєктів холодозабезпечення холодильних камер ПРХ проєктанти стикаються з невизначеністю щодо проєктних рішень. Це пов'язано з неповнотою наявної інформації на перших стадіях виконання проєкту, з грубим моделюванням процесу заморожування(охолодження) продуктів харчування, квазіоптимізації режимів роботи холодильних машин, оцінки їх стану та впливу холодоносіїв на навколишнє середовище тощо.

Таким чином, весь процес виконання проєктно-конструкторських робіт будемо вважати процесом зняття невизначеності з деталізацією опису об'єкта проєктування. З метою зменшення впливу невизначеності проєктанти виконують паралельно:

- розрахунки параметрів холодопостачання холодильних камер, моделювання теоретичних циклів парових холодильних машин в інтервалі температур від 278К (одноступеневі холодильні машини) до 113К (каскадні холодильні машини);
- аналіз енергетичних характеристик компресора щодо відношення зовнішніх тисків p , впливу робочих речовин та холодоносіїв на продуктивність холодильних машин та їх впливу на довкілля. Звідси випливає ітераційно-циклічний характер процесу проєктування, що виражається в чергуванні процедур синтезу та аналізу рішень, при реалізації якого доводиться декілько разів повертатись з наступних етапів розробки проєкту до попередніх з метою перегляду документів і його постійного поліпшення.

Проєктні організації здійснюють розробку робочих проєктів щодо створення нових систем холодозабезпечення, модернізації та розширенню існуючих холодильних установок і систем холодопостачання. Проєктні організації можуть виконати всі необхідні роботи, а саме:

- електропостачання, автоматику, диспетчеризацію, будівельні конструкції промислових холодильників;
- розробку кошторисної документації та управління процесом впровадження проєктів й програм.

Одним із напрямів проєктної діяльності команди є акценти на використання і виробництво холоду не лише новітнього обладнання, але і використання методів САПР і 3Д-проєктування. Розглянемо деякі проєктні рішення щодо розробки обладнання для заморожування, охолодження продуктів

харчування. Серед них холодильні системи для заморожування м'ясних продуктів - туш великої рогатої худоби (ВРХ)

На рис. 4.1- 4.5 наведені приклади проєктів холодильного обладнання для заморожування продуктів харчування в холодильних камерах великої потужності.



Рисунок 4.1 Загальний вигляд холодильного обладнання м'ясокомбінату



Рисунок 4.2. 3Д компанування обладнання холодильної машини



Рисунок 4.3. Загальний вигляд трубопроводів холодильного обладнання для об'єктів заморожування м'ясних продуктів та компресорної установки

У цій темі розглянемо деякі найчастіше використовувані схемні рішення систем холодопостачання з **використанням холодильних машин зовнішньої установки.**

Система холодопостачання є частиною загальної інженерної системи об'єктів цивільного і промислового призначення. Це можуть бути офісні, торгово-розважальні центри, лікарні, готелі, виробничі цехи, складські приміщення тощо. Це одна з найскладніших і дорогих в експлуатації систем, що створюється з врахуванням таких критеріїв як початкові інвестиції і експлуатаційні витрати. Тому створення якісної системи холодопостачання, котра відповідає цим критеріям, потребує зваженого і аналітично обгрунтованого підходу.

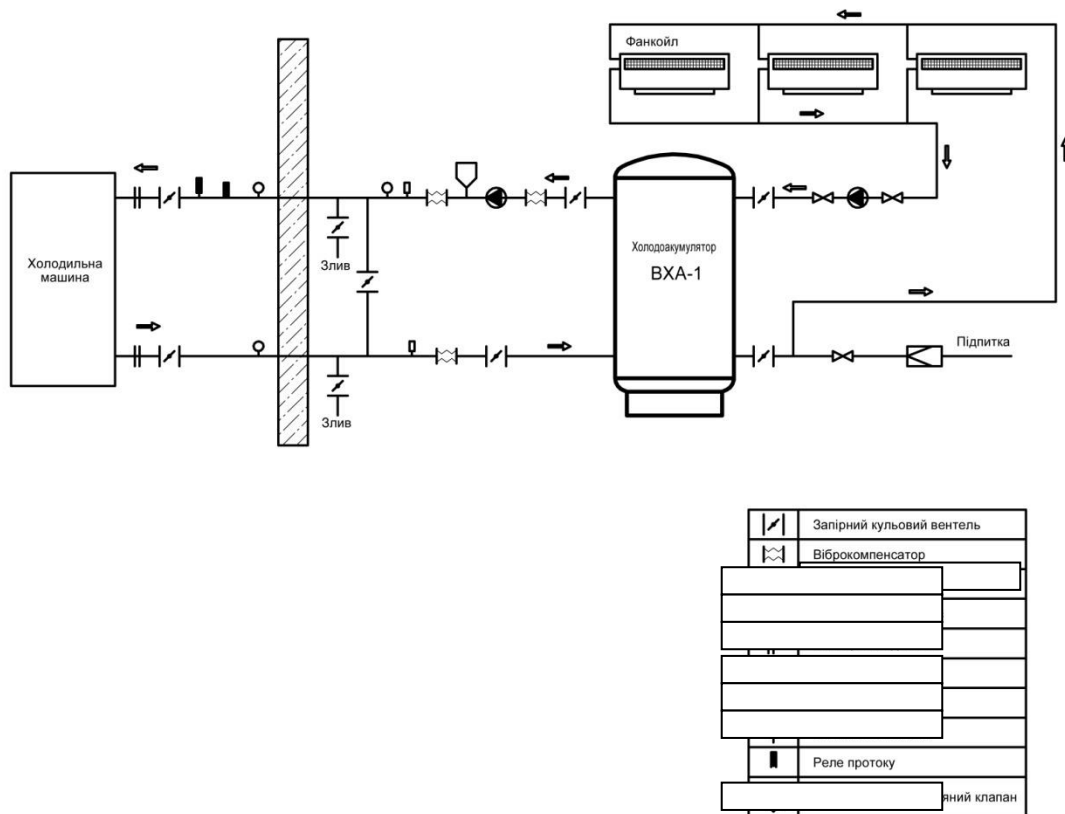


Рисунок 4.4а. Приклад САПР проєктування системи холодопостачання

Впровадження процесу акумуляції холоду в роботу таких систем є одним з головних векторів розвитку сучасних систем холодозабезпечення (див.4.4а.). Використання в системі холодопостачання і кондиціонування баків холодоаккумуляторів — найбільш економічний і надійний спосіб охолодження для офісів, торгових центрів, магазинів, шкіл, лікарень, інших будівель та систем технологічного охолодження. Такі системи дозволяють зменшити споживання електроенергії і викиди газів, що сприяють утворенню парникового ефекту. Таким чином, окрім економічної вигоди можливо досягнути зменшення негативних екологічних наслідків.

1. Зменшена початкова вартість системи.

При проєктуванні системи з цілодобовою роботою холодильної машини з використанням бака-холодоаккумулятора БХА-1 потужність охолоджувача суттєво зменшується порівняно із звичайними системами, обладнання яких розраховане на короткотермінове пікове навантаження. Типовий проєкт з баком-холодоаккумулятором включає охолоджувач потужністю 60-70% від пікового споживання по холоду. Баланс по холодонавантаженню забезпечується за рахунок акумулятора холоду.

Холодильна машина меншої потужності ніж в традиційній системі відповідно має меншу споживану електричну потужність, а тому потребує трансформаторів, розподільчої апаратури, пускових пристроїв меншого розміру, що дозволяє досягти додаткової економії капітальних затрат на встановлення системи охолодження. Якщо в промисловому холодильнику

змонтовано генератор для щоденного або резервного електроживлення, то встановлену потужність генератора буде суттєво зменшено за рахунок зниження пікового електричного навантаження за рахунок застосування бака-холодоакумулятора.

Сукупність цих факторів дозволяє зменшити початкові інвестиції в систему холодопостачання.

2. Зниження затрат на енергоносії.

Система з акумулятором холоду знижує пікове споживання електроенергії, зсуваючи її використання на непікові години.

При меншій встановленій потужності холодоакумулятор може знизити загальне споживання електричної енергії системою холодопостачання на 50% і більше завдяки застосуванню диференційованого тарифу на електрику залежно від часу доби. Згідно з постановою НКРЕ від 04.11.2009 № 1262 для розрахунків із споживачами електричної енергії для визначення рівня ставок тарифів, диференційованих за періодами часу, для кожного періоду та всіх сезонів встановлюються такі тарифні коефіцієнти та тривалості періодів:

а) двозонний тариф: нічний період — 0,4; денний — 1,5. Тривалість періоду: нічний — 8 годин, денний — 16 годин.

б) тризонний тариф: нічний період — 0,35; напівпіковий — 1,02; піковий — 1,68. Тривалість періоду: нічний — 7 годин, напівпіковий — 11 годин, піковий — 6 годин.

Таким чином, експлуатація системи охолодження з баком-акумулятором вночі дозволяє додатково заощадити експлуатаційні витрати на енергоносії.

3. Збільшення терміну служби холодильної машини.

Холодоакумулятор дозволяє згладити нерівномірність виробництва холоду при включеному компресорі в режимі постійних пусків і зупинок. Також у випадку, коли об'єм гідравлічного контуру холодильної машини менший за мінімально допустимий об'єм системи, потрібно встановлювати акумулятор холоду для запобігання частого включення виключення обладнання і таким чином для продовження терміну його служби.

4. Зменшення негативних екологічних наслідків.

Зниження споживання і використання електроенергії завдяки використанню бака-холодоакумулятора буде зменшувати шкідливий вплив від роботи системи охолодження на навколишнє середовище. Виробництво електрики вночі в цілому потребує меншої питомої витрати тепла (витрачається менше палива на одиницю виробленої електроенергії), а менші викиди вуглекислого і парникових газів допоможуть сповільнити процес глобального потепління. Комісія по енергетиці КПП прийшла до висновку, що використання електроенергії вночі знижує викиди в атмосферу на 31% порівняно з використанням електроенергії в денний час.

Таким чином, використання акумуляторів холоду серії ВХА в холодопостачанні цивільних і промислових об'єктів дозволяє максимально оптимізувати капітальні вкладення, експлуатаційні витрати, отримавши на виході стабільну, довговічну і економічну систему холодозабезпечення.

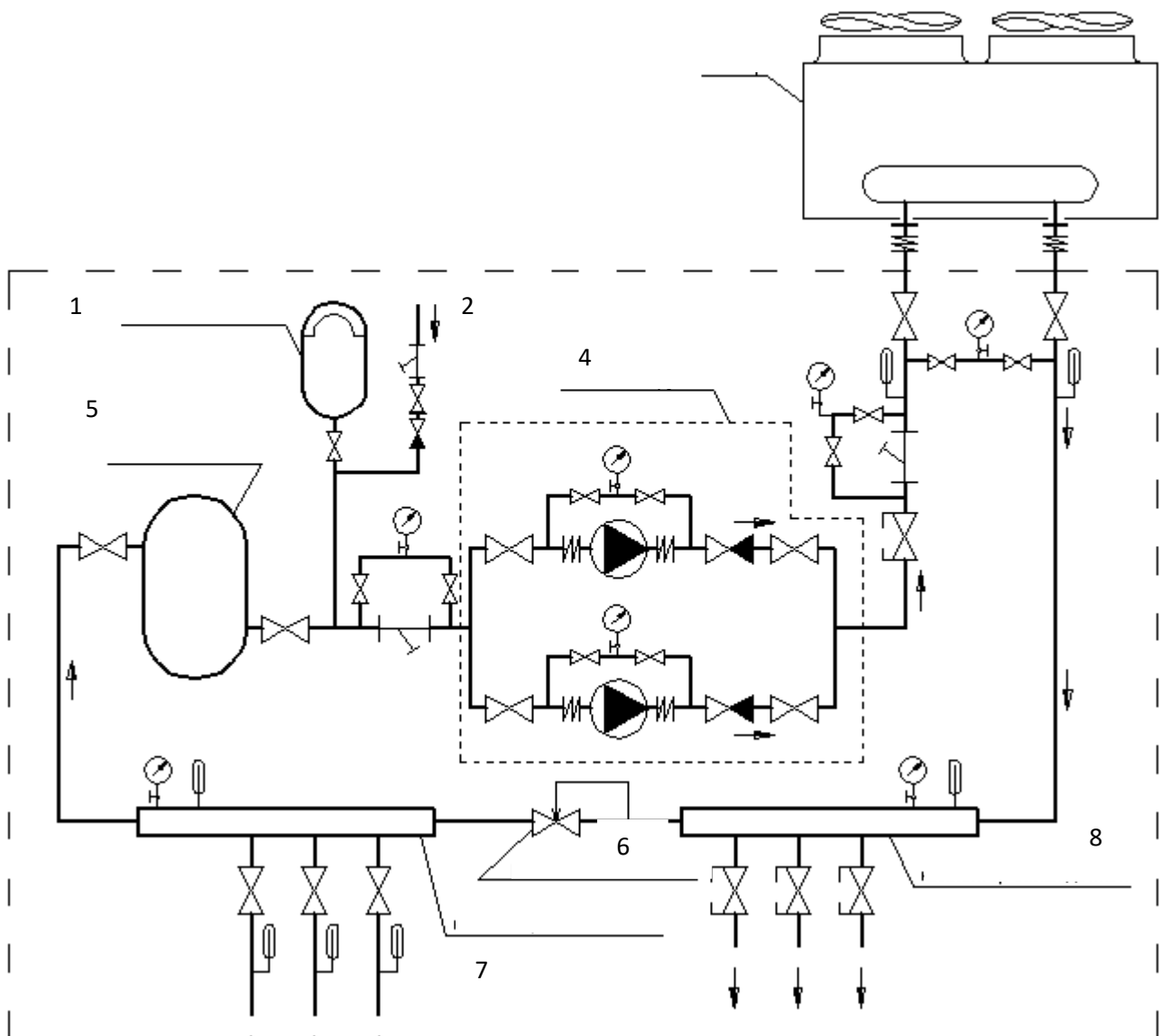


Рисунок 4.46 Складові елементи об'єкту холодопостачання

1	Розширювальний бак
2	Від системи
3	Чіллер
4	Насосна група
5	Бак акумулятор
6	Регулятор тиску
7	Колектор теплої води
8	Колектор холодної води

Дана схема (4.4б) є найбільш типовою і простою. Як правило, теплоносієм є вода, рідше розчини етиленгліколя і інші розчини. **Гідромодуль** забезпечує циркуляцію води в системі. Насона станція включає циркуляційні насоси, баки, замочну, регулюючу арматуру і пристрої автоматичного регулювання

Розширювальний бак запобігає гідравлічним ударам, компенсує зміну об'єму води при зміні температури води. Ці зміни температури компенсуються за рахунок руху мембрани в розширювальному баку.

Акумуляційний бак. Зменшує кількість запусків / зупинки чиллера і збільшує теплову інерційність системи. Об'єм бака розраховується за даними можливих теплових навантажень і кількості теплоносіїв в системі. Якщо використовуються, наприклад, фанкойли з можливістю регулювання холодопродуктивності двухходовими клапанами, то необхідно забезпечити постійну витрату рідини через теплообмінник випарника холодильної машини.

На схемі показаний варіант з установкою регулятора перепаду тиску на перемичці між розподільними колекторами для забезпечення постійної витрати на випарнику. У разі використання споживачів з постійною витратою (триходові клапани з байпасом на теплообмінниках споживачів) перемички з регулятором перепаду не потрібні.

4.2. Інжинірингові рішення при проєктуванні промислових холодильників

Інжинірингові рішення промислового холодильника та пов'язані з ними конструктивні схеми будівлі визначаються його призначенням і відповідно структурою його холодильних камер. У процесі виконання проєкту команда проєкту надає замовнику ряд інжинірингових консультацій і технологій. серед них:

- технології, які необхідні для будівництва промислового холодильника і його експлуатації (договори на передачу виробничого досвіду й знань), розробка проєкту енергоспоживання промислового холодильника, водопостачання, транспорту й ін.

- інжинірингові консультації – інжиніринг, пов'язаний, головним чином, з інтелектуальними послугами при проєктуванні промислових холодильників, розробці планів будівництва і контролю за проведенням робіт;

- виконання пусконаладжувальних робіт у процесі запуску технологічних ліній, навчання персоналу тощо.

У будівлі промислового холодильника розміщують холодильні камери призначені для зберігання охолоджених або заморожених продуктів.

Як приклад промислового холодильника розглянемо типову конструкцію холодильника м'ясокомбінату. На рис. 4.5. представлено загальний вигляд холодильника м'ясокомбінату, який призначено для холодильного оброблення і зберігання м'яса і м'ясопродуктів.

Виберемо одноповерхову споруду холодильника.

У структуру вантажомісткості холодильника входять наступні холодильні камери: 1) інтенсивного охолодження (одно стадійного -3С, двухстадійного -10,.-15 і-1С); 2) однофазного заморожування (-30С); 3) зберігання заморожених

продуктів (-20С) і охолодженого м'яса (-1С); 4) універсальні (-1,...-20С). Кількість камер для охолодження м'яса до 3, для заморожування – 5-7, для зберігання охолодженого м'яса 1-2(площа200-300м2), замороженого м'яса 3-4 (площа 300-1000 м2), універсальних 1-3.

Крім того є камери різних розмірів для зберігання охолоджених і заморожених м'ясопродуктів.



Рисунок 4.5. Загальний вигляд холодильника м'ясокомбінату

У процесі виконання проєктних робіт необхідно використовувати основні положення серії міжнародних стандартів серед них: ISO9000-менеджмента якості; ISO28000-безпеки мереж постачань; ISO 27000 – інформативного; ISO50001-енергетичного; ISO26000 - етичного менеджменту; ISO 14000-екологічного; OHSAS 18000 - стандартів промислової безпеки; стандартів ISO31000, RMS, COSO, ERM – ризик менеджменту, DIN-системи національних галузевих стандартів, а також довідкових документів ЄС

Розглянемо декілька прикладів проєктування сучасних систем холодопостачання холодильних камер промислових холодильників.

У процесі виконання проєкту топ-менеджер виокремив наступні його складові:

1. Холодильні машини; 2. Систему утилізації тепла; 3. Систему автоматики і диспетчеризації.

Розпочнемо вивчення цього питання з синтезу методів зниження експлуатаційних витрат

Відомо, що значна частка експлуатаційних витрат припадає на роботу холодильних машин, тому упровадження енергозберігаючих технологій для системи холодопостачання є пріоритетним напрямком розвитку холодильної техніки.

Сучасні холодильні машини дозволяють знизити експлуатаційні витрати за рахунок впровадження енергозберігаючих розробок, серед яких найбільш ефективними є:

1. Застосування відкритих гвинтових компресорів з економайзером;
2. Використання утилізації теплоти стиснення компресора;
3. Використання природного холоду зовнішнього повітря в холодний період року. З метою вивчення методів зниження експлуатаційних витрат спочатку розглянемо складові холодильної системи.

1. Холодильна машина

Основні елементи ХМ: 1. Компресор (гвинтовий); 2. Мастиловіддільник; 3. Мастило охолоджувач; 4. Конденсатор; 5. Ресивер; 6. Економайзер; 7. Терморозширювальний клапан; 8. Випарник.

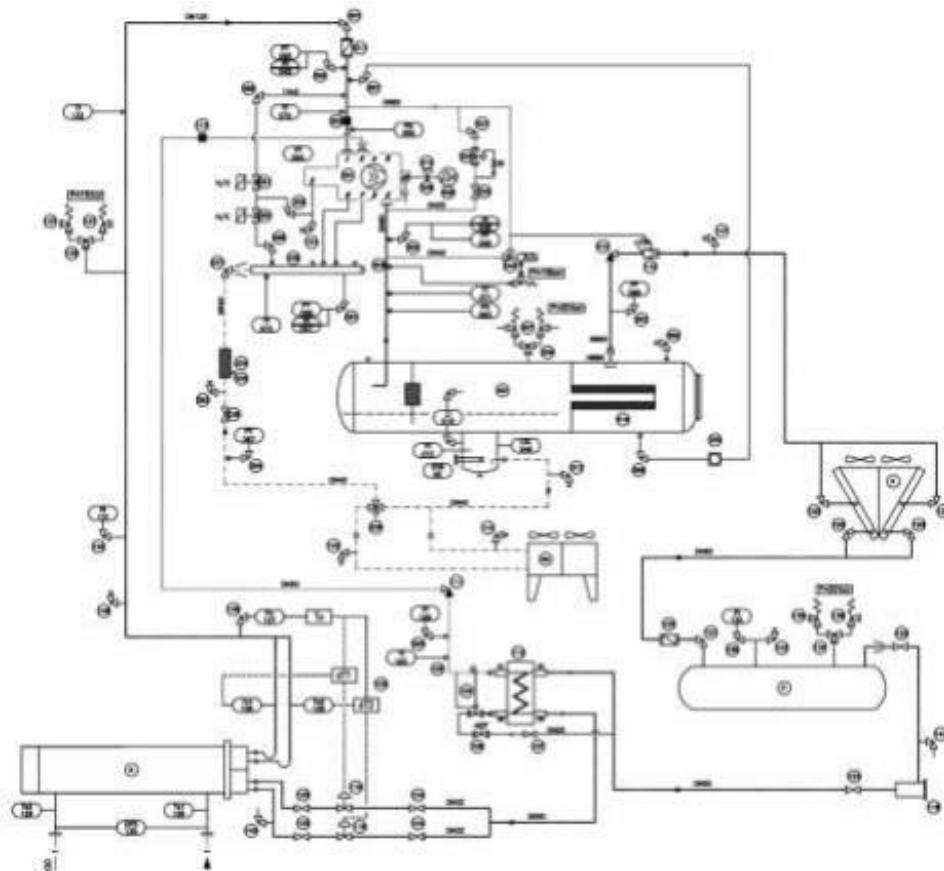


Рисунок 4.6. Загальний вигляд схеми холодильної машини

2.Компресор.

Основним елементом холодильної машини є *компресор*. В даний час при будівництві промислових холодильників, в основному, застосовуються два типи холодильних машин:

- на базі напівгерметичних гвинтових компресорів;
- на базі відкритих гвинтових компресорів.

Перевагами напівгерметичних компресорів є низька вартість, компактність, простота збірки.

До недоліків відносяться низький холодильний коефіцієнт, ступінчаста встановлена потужність.



Рисунок 4.7. Загальний вигляд напівгерметичного компресора

До переваг відкритих компресорів відносяться:

- Високий холодильний коефіцієнт у порівнянні з напівгерметичними;
- Ремонтопридатність (легка заміна двигуна, доступ до підшипників);
- Менша встановлена потужність за рахунок індивідуального підбору електродвигуна під конкретну продуктивність компресора;
- Плавне регулювання продуктивності в діапазоні від 10% до 100%;
- Широкий діапазон продуктивності і можливих холодоагентів;
- Менша чутливість до кваліфікації обслуговуючого персоналу.

До недоліків відкритих компресорів можна віднести вищу вартість і термін виготовлення, наявність торцевого ущільнення і необхідність центрування вала компресора і двигуна.

3. Конденсатор.

Конденсатор холодильної машини може бути рідинним і повітряним.

Рідинні конденсатори поділяються на водяні (якщо є можливість використовувати оборотну воду належної якості) і гліколеєві (з подальшим охолодженням гліколю в сухих градирнях).

Конденсатори повітряного охолодження підрозділяються на прості сухі конденсатори і випарні (зрошувальні) конденсатори.

4. Випарник.

Випарник холодильної машини може бути кожухотрубним або пластинчастим. Вибір типу випарника складається з декількох факторів, серед яких важливими є розміри машзалу.

Розрахунок і вибір конденсаторів. Поверхня теплопередачі може бути визначена по формулі

$$F = Q_k / k_k \cdot \Delta t_{cp}, \text{ м}^2 \quad (4.1)$$

де Q_k – теплове навантаження на конденсатор;

k_k – коефіцієнт теплопередачі конденсатора;

Δt_{cp} – середня різниця температур між конденсуючими холодильним агентом і навколишнім середовищем.

Коефіцієнт теплопередачі для конденсатора з повітряним охолодженням і дрововими ребрами приймаємо рівним $k = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$,

Середню різницю температур між конденсуючими холодильним агентом і навколишнім середовищем для холодильних машин з повітряним охолодженням приймаємо рівною $\Delta t_{cp} = 8^\circ\text{C}$,

Розрахунок випарника. Теплопередаюча поверхня випарника визначаються по формулі

$$F = Q_o / k_v \cdot \Delta t, \text{ м}^2 \quad (4.2)$$

де: Q_o - надходження теплоти в охолоджуваній об'єм Вт ;

k_v - коефіцієнт передачі тепла випарника ($k = 7 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$);

Δt - різниця температур між киплячим холодоагентом і навколишнім повітрям, $^\circ\text{C}$.

5.Холодопостачання

Розглянемо принципи холодопостачання холодильних камер промислових холодильників. На рисунках 4.8., 4.9., 4.10 наведено холодильне обладнання систем холодозабезпечення ПРХ.



Рисунок 4.8



Рисунок 4.9



Рисунок 4.10

Наведемо проєкти виконання конденсаторів і утилізаторів тепла.



Рисунок 4.11. Конденсатори-утилізатори



Рисунок 4.12. Система утилізації тепла ХМ

4.3. Проекти систем автоматики і диспетчеризації промислових холодильників

Найбільш простими рішеннями є приклад, коли дані з центрального щита управління передаються в систему диспетчеризації (рисунки 4.13.-14.14.).

Остання може бути організована у вигляді щита диспетчеризації, на якому відображаються необхідні параметри і стан роботи основних елементів (робота / аварія). Більш сучасне рішення у вигляді центрального комп'ютера диспетчера, або у вигляді головної панелі оператора з АРМ-диспетчера (рисунок 14.15).

Система автоматики включає в себе місцеві щити управління холодильними машинами, насосними групами, конденсаторами і засувками, датчики і виконавчі пристрої регулювання, які об'єднані в центральний щит управління, який здійснює контроль роботи всієї системи холодопостачання (рисунок 14.13).

В системі керування холодозабезпеченням передбачено використовувати систему візуалізації об'єктів заморожування з

рідкокристалічним дисплеєм діагоналю не менше 19". На дисплеї відображається мнемонічна схема всієї системи та будь-які процеси зміни параметрів заморожування в режимі реального часу: параметри температури, вологості, положення дверей тощо.



ТЕКУЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ		ЗАГРУЗКА	
+2,0 °C		1 %	
состояние: работа			
Ток электродвигателя	145 А		
Давление впрыска масла	+8,5 Бар		
Температура впрыска масла	38,2 °C		
Давление нагнетания	11,9 Бар		
ПАРАМЕТРЫ	АВАРИИ	СЕРВИС АВАРИИ	

Рисунок 4.13. Загальний вигляд диспетчерської автоматики холодильної системи



Рисунок 4.14. Центральний щит керування холодильною системою

Центральний щит керування виконує наступні функції:

- Пуск зупинку і взаємодію в автоматичному режимі основних складових частин системи холодопостачання;
- Відстеження аварійних станів системи, автоматичне вимикання аварійних пристроїв і включення резервних;
- Світлову індикацію режиму роботи та аварійного стану системи на лицьовій панелі щита;
- Відображення на панелі оператора інформації про режим роботи холодильної системи, температури холодоносія і стану обладнання;
- Відображення і зміна на панелі оператора робочих уставок системи холодопостачання. У процесі виконання проектних рішень щодо розробки



Рисунок 4.15. Приклади АРМ- диспетчера холодильних систем



Рисунок 4.16. Загальний вигляд апаратної АРМ

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. Навести основні ознаки невизначеності проєктних рішень.
2. Сутність інжинірингових методів проєктування холодильних систем.
3. З яких елементів складається система холодопостачання з пристроєм акумуляції холоду?
4. У чому полягає процес зниження електроенергії з використанням бака-холодоакумулятора?
5. Опишіть напрями проєктних рішень виробничих холодильників для холодильного оброблення і зберігання м'яса.
6. Запропонуйте інші способи планування одноповерхового виробничого холодильного комплексу для стратегічного зберігання туш ВРХ.
7. Які функції виконує центральний щит керування холодною системою?

Тести.

Тест 1. Інжинірингові послуги це: а) технічні дослідження і послуги, що пов'язані з підготовкою виробництва холоду; б) проведення передпроєктних робіт й наукових досліджень і розробок; в) складання технічних завдань і техніко-економічних обґрунтувань будівництва промислових холодильників; г) всі відповіді правильні.

Тест 2. Комплекс інжинірингових послуг включає: а) загальне технічне сприяння, що забезпечує оптимальний процес виробництва штучного холоду;

б) консультації й авторський нагляд за холодильним устаткуванням;
в) консультації щодо впровадження систем інформаційного забезпечення та інтелектуальної автоматики захисту ХМ від аварій; г) всі відповіді правильні.

Тест 3. Цикл інжинірингу холодильної системи охоплює: а) дослідження об'єкту холодопостачання; б) проектування та надання післяпроектних послуг, рекомендацій щодо виробничого обслуговування проекту холодозабезпечення холодильних камер ПРХ; в) супроводження проекту; г) всі відповіді правильні.

Тест 4. Технологічний інжиніринг холодильних систем це: а) надання замовнику будівництва ПРХ технології; б) його експлуатації; в) передача ноу-хау (промислового досвіду та знань, надання технологій та патентів; г) всі відповіді правильні.

Тест 5. Інжинірингова задача: холодоакумулятор дозволяє згладити нерівномірність виробництва холоду: а) при включеному компресорі в режимі постійних пусків і зупинок; б) у період обмеження потужності енергосистеми; в) у період ночі; г) ваша відповідь.

Тест 6. Інжинірингові знання: середню різницю температур між конденсуючими холодильним агентом і навколишнім середовищем для холодильних машин з повітряним охолодженням приймаємо: а) рівною $\Delta t_{cp} = 7^{\circ}\text{C}$; б) рівною $\Delta t_{cp} = 8^{\circ}\text{C}$; в) рівною $\Delta t_{cp} = 9^{\circ}\text{C}$; г) ваша відповідь.

Частина 2. Технології оцінки проєктів на базі штучного інтелекту. Математичні та інструментальні методи управління проєктами

Тема 5. Моделі і методи експрес-аналізу проєктів на основі теорії нечітких множин і штучних нейронних мереж

5.1 Загальні положення

На сучасному етапі технологічного розвитку холодильних систем в Україні для успішного керування процесами розробки холодильного обладнання виникає необхідність в розробці стратегії виробництва продуктів харчування з технологіями охолодження та заморожування. Цей етап розвитку галузі має потребу в сучасних методах оцінки інноваційних проєктів, які враховують високу ступінь невизначеності, ризику і підтримують високий рівень САПР холодильного обладнання [2].

Класичні методи обґрунтування інноваційних рішень в умовах невизначеності мають суттєві недоліки щодо оцінки проєктів, які знаходяться на ранньому етапі їх реалізації – стадії ініціації. В цих умовах використання теорії нечітких множин дозволяє максимально повно врахувати наявну у розпорядженні топ-менеджерів проєктів нечіткої і неоднорідної інформації про проєкт, а також автоматично обробити її за допомогою комп'ютерних програмних продуктів і представити її і інтуїтивно зрозумілій для аналітиків формі.

В цій частині навчального посібника розроблені методи визначення основних параметрів інноваційного проєкту – розподілених в часі потоків надходжень і затрат, які спираються на елементи теорії нечітких множин і нейронних мереж, за рахунок чого топ-менеджери проєктів зможуть одержувати всебічну і високоінформативну оцінку проєктів.

Для інвестора і керівників інвестиційно-інноваційних проєктів підприємств холодильного комплексу потрібна інформація про основні показники ефективності: NPV, IRR, DPP.

Таку інформацію у вигляді нечітких чисел стандартної і випадкової форми надають інвестору для прийняття рішення відносно початкових стадій виникнення проєкту з точки зору очікуваного ефекту і пов'язаного з цим ризику.

Детальний аналіз публікацій показав глибоку ступінь розробки теоретичних основ нечітко-множинних і нейромережових методів, а також їх застосування в технічній сфері знань і галузях виробництва штучного холоду. [2].

Можливості оцінки за допомогою теорії нечітких множин і нейронних мереж інвестиційної привабливості великих проєктів реструктуризації холодильних підприємств агро-промислового комплексу, які відіграють значну роль в економіці Придніпровського регіону і України в цілому, в літературних джерелах практично не представлені, що говорить про необхідність проведення

досліджень в даному напрямку і підтверджує актуальність даної теми навчального посібника.

Антикризовий період управління інноваційними проектами на підприємствах харчової галузі в період повномасштабної війни, яку розв'язала росія проти України вимагає детального їх дослідження.

З точки зору доступних засобів і методів проведення економічної оцінки, повний цикл реалізації інноваційного проекту не є однорідним, так як на різних його стадіях життєвого циклу у розпорядженні дослідників є різний об'єм інформації, а цілі аналізу також залежать від етапу реалізації проекту.

Найбільш суттєвими є наступні стадії реалізації інноваційного проекту:

- Ініціація проекту;
- Розробка і планування;
- Впровадження проекту;
- Використання результатів проекту.

Найбільша різниця в методах і інструментаріях економічного аналізу інноваційного проекту має місце у відношення першого етапу реалізації проекту, що визначається специфічними особливостями стадії ініціації.

Різниця пояснюється тим, що на етапах ініціації можливо розраховувати лише на дуже невеликий об'єм інформації про проект, яка в той же час може бути важкоформалізуємою, неточною, тому що представляє собою лише попередню оцінку, думки та зауваження експертів. Відмінність від більш пізніх етапів на стадії ініціації в умовах дефіциту часу полягає в тому, що складання детальних календарних графіків виробництва робіт, повноцінне бізнес-планування представляє складну задачу, яка часто є невиконаною навіть в умовах використання сучасних комп'ютерних технологій. У даному випадку необхідним і технічно виконуємым є лише експрес-аналіз інноваційного проекту. Метою такого експрес-аналізу є попередня оцінка проекту, по результатам якої можливо було б прийняти важливе рішення про продовження участі в проекті або виході із нього. З точки зору методології на стадії ініціації практично не використовуються класичні методи обґрунтування інвестиційних проектів, які можуть бути з деякими розумними допущеннями використані на наступних стадіях.

Крім того, серед запропонованих різними розробниками інформаційних засобів супроводу проектів відсутні продукти, адаптовані до цілей та умов проведення експрес-аналізу на стадії ініціації.

Запропонований авторами навчального посібника спосіб подолання вказаних протиріч полягає у максимальному використанні досвіду діяльності самого публічного акціонерного товариства (ПАТ), необхідність використання знань та компетенції співробітників підприємства і зовнішніх експертів.

В якості методів обробки статистичної інформації потрібно ефективно використовувати основні положення теорії штучних нейронних мереж, а проблеми, пов'язані з обробкою неточної інформації, нечислових даних, одержаних в результаті опитування експертів, пропонується вирішувати спираючись на елементи теорії нечітких множин.

Дослідження стану холодильного обладнання підприємств агропромислового комплексу в Україні в період з 2010 по 2022 роки дозволяє виявити притаманні лише цій галузі специфічні риси, основними з яких є висока капітало- і матеріалоемність процесу виробництва заморожуваних продуктів харчування, необхідність великих капіталовкладень на найбільш ранніх стадіях будівництва холодильних підприємств, довгий виробничий цикл виробництва холоду, що вимагає новітніх методів оцінки інноваційних проєктів на всіх стадіях його впровадження.

Перейдемо до вивчення класичних та сучасних методів оцінки невизначеності при використанні САПР холодильних систем.

Розглянемо більш детально класичні методи обліку невизначеності і обґрунтуємо недоречність щодо їх використання на стадії експрес-аналізу проєктів. У цьому випадку можливо використовувати методику використання ставки розрахункового відсотку з обліком премії за ризик.

Такі види ризиків, як підвищення податків або тарифів на електроенергію, ризик появи додаткових витрат враховувати шляхом введення премії за ризик не є природнім, так як це може призвести до протирічних результатів. Крім того, якщо чистий грошовий потік інноваційного проєкту має від'ємну компоненту не лише у початковий період часу, але і в деякі наступні періоди. Відмітимо, що інноваційні проєкти виробництва холоду для заморожування продуктів харчування з достатньо довгим виробничим циклом їх упровадження особливо відносяться до проєктів з невизначеністю і значними ризиками.

Збільшення премії за ризик в зв'язку з уявленням про значну ризикованість проєкту призводить до заниження, в тому числі, і від'ємних компонент.

Виходом у даному випадку може бути використання змінної надбавки за ризик, що призводить до ускладнення методів. Таким чином, виникають різні варіанти побудови послідовності ставок дисконтування, що ускладнює порівняння декількох альтернативних проєктів.

Метод гарантованих еквівалентів. При використанні даного методу усі компоненти грошового потоку інноваційного проєкту (від'ємні та позитивні) корегуються у відповідності з суб'єктивною думкою особи, яка приймає рішення (ОПР), або експертної групи команди проєкту, що є суттєвим недоліком.

Аналіз сценаріїв майбутнього розвитку холодильних систем. Проведення на цьому етапі достатньо глибоко якісного аналізу дозволяє зібрати великий об'єм інформації про проєкт, але у випадку дефіциту даних про проєкт та обмеження часу на дослідження, що характерно для стадії інновації, високий рівень суб'єктивізму може призвести до помилкових оцінок. Також суб'єктивним і дуже суперечливим вважається і визначення ймовірності реалізації кожного із потенційних сценаріїв.

Метод зведених рандомізованих показників.

Цей метод є розвитком класичного методу зведених показників, метою яких є рішення задачі багатокритеріального оцінювання. Якщо вивчати інноваційні проєкти розвитку холодильних підприємств, то дана задача є дуже актуальною, тому що приходиться порівнювати проєкти, які характеризуються

цілим набором уже на стадії експрес-аналізу, в рамках якого вивчаються, в першу чергу, фінансові показники. На наступних стадіях з'являються додаткові характеристики, пов'язані з технологією, особливостями інноваційних проєктів, ринковою привабливістю і тому подібне, які вимагають ще більш глибоких досліджень.

Даний метод, який використовує апарат теорії ймовірності, дозволяє компенсувати дефіцит інформації і оперувати нечисловими даними, які більш властиві людському мисленню.

У той же час, з точки зору інвестиційного аналізу, не завжди представляється обґрунтоване твердження про те, що невизначеність, пов'язана з інформацією про деякі показники проєкту, є випадковою величиною.

На наш погляд, про ймовірність можливо говорити у випадку, якщо явища виникають постійно, мають масовий характер, мають в свою чергу статистичну стійкість, в той же час як в реальних умовах самі інвестиційні проєкти, а також умови їх реалізації, завжди індивідуальні.

При використанні даного підходу немає необхідності, щоб ці об'єкти мали характеристики, які носять ймовірний характер.

Облік невизначеності за допомогою теорії нечітких множин можливо бажано проводити на усіх етапах оцінки ефективності проєкту: від збирання первинної інформації до обчислення інтегрального критерію ефективності.

Особливістю нечітко-множинних методів є також те, що при сукупному використанні з теорією штучного інтелекту та нейронних мереж, можливо в значній ступені позбавитись від загального недоліку всіх методів, пов'язаних з одержанням експертних думок (суб'єктивізмом) за рахунок використання інформації, одержаної в результаті обробки статистичних даних.

Таким чином виникає питання про необхідність використання елементів гібридних систем для проведення інвестиційного аналізу новітніх інноваційних проєктів упровадження холодильного обладнання на підприємствах агропромислового комплексу. Світова наука управління інноваційними проєктами в останні десять років використовує моделі і методи штучного інтелекту(ШІ), до яких відносять: теорію нечітких множин, системи штучних нейронних мереж, гібридні структури, нечіткий регресійний аналіз.

Принципи побудови теорії нечітких множин дозволяють:

- визначити операції над нечіткими множинами, формалізувати поняття нечіткої функції і нечітких відношень;

- проаналізувати приклади, що демонструють гарні описові можливості нечітко-множинних структур по відношенню до явищ і процесів, характерних для економічної ситуації в післякризовий період до 2030 року.



Рисунок 5. 1. Схема системи нечіткого керування проектами.

Важливою сферою, в якій продуктивно використовуються елементи теорії нечітких множин і нечіткої логіки, є побудовані системи нечіткого керування процесами холодозабезпечення та холодильними машинами, базовими компонентами яких є: блоки фаззифікації і дефаззифікації, база правил, механізм (алгоритм) нечіткого виводу, які наведені на рис.5.1

Загальне призначення систем нечіткого управління – імітація розумового процесу людини, які виконують умовивід з метою прийняття деякого рішення на основі наявної про об'єкт інформації.

Бажання наслідувати інтелекту людини вимагає створити можливість оперувати категоріями, відповідними образу людського мислення. Тому важливу роль у побудові систем нечіткого керування відіграє поняття лінгвістичних змінних, які використовуються при формуванні бази нечітких правил.

Центральним компонентом системи нечіткого керування є механізм нечіткого виводу, представлений різними алгоритмами, які мають специфічні переваги і недоліки.

Алгоритм нечіткого виводу по Мамдані найбільш інтуїтивно зрозумілий і дозволяє побудувати адекватні моделі, кращим чином віддзеркалюють суть задачі, яку вирішують наші дослідження [2,27,51].

Алгоритм Сугено не дозволяє представити вихідні змінні у лінгвістичній формі [2,51]. Його переваги полягають в тому, що трудоємність проведення результатів значно менша, що дозволяє моделювати дуже складні системи, адекватний опис яких за допомогою схеми Мамдані виконати практично неможливо. Це пов'язано з урахуванням великого числа сформованих взаємозв'язків між нечіткими параметрами. При цьому алгоритм Сугено може бути легко адаптованим до використання в якості основи гібридної структури – нейрон-нечіткої мережі.

Використання знань в нечіткій формі дозволяє зберегти для дослідження великий об'єм потрібної інформації, але, в свою чергу, вимагає також вміння обробляти структури, представлені в нечітко-множинній формі.

Тому потрібно розробити методи розрахунку основних показників ефективності інвестиційних проектів при умові, що грошові потоки, які відповідають проекту, представлені в нечіткій формі.

Якщо об'єми надходжень і затрат по проєкту представлені у вигляді нечітких чисел (In_i та Out_i відповідно), тоді значення чистої сучасної вартості розраховується по наступній формулі:

$$NPV = \sum_{i=1}^t \frac{In_i - Out_i}{(1+r)^i} \quad (5.1)$$

У випадку, коли компоненти грошових потоків мають функції належності стандартної форми (трикутник, трапеція), то значення NPV у даному випадку також буде мати вид нечіткого числа відповідної стандартної форми, тому що операції додавання і віднімання нечітких чисел і поділу на точне число не змінюють початкової форми нечіткого числа. Якщо ж функції належності грошових потоків мають випадкову форму або ставка дисконтування розглядається як нечітке число, то нами запропоновано проводити всі необхідні обчислення в середовищі Matlab за допомогою додатків, призначеного для обробки даних у вигляді нечітких множин – Fuzzy Logic Toolbox.

Додатки оперують функціями належності, представленими в дискретній формі, що, однак, чинить незначний вплив на точність обчислень, при тих обчислювальних можливостях, які мають сучасні засоби обробки даних.

Визначення внутрішньої норми доходності в класичній постановці полягає у рішенні відносно невідомої змінної IRR рівняння виду:

$$\sum_{i=1}^n \frac{In_i - Out_i}{(1+IRR)^i} = 0 \quad (5.2)$$

Але при наявності в лівій частині рівняння (5.2) компонентів в нечіткій формі, пошук значення IRR у формі точного числа, яке має точне математичне обґрунтування, стає складною і неоднозначною задачею. При даних посилках ліва частина (5.2) має вид нечіткого числа, а права частина є точним числом нуль, а отже, для того, щоб мати можливість коректно проводити математичні операції в процесі обчислення IRR, необхідно перетворити рівняння (5.2) таким чином, щоб його права і ліва частини були узгоджені. Розглянемо два варіанти перетворень.

Перший варіант полягає у зміні форми правої частини, які пропонуємо інтерпретувати як нечітке число нечіткий нуль, для якого справедливо: $M_a(0) = \sup_x (M_a(x))$, де $x \in X$, $M_a(0)$ – функція належності числа нечіткий 0.

Даний підхід використовується в тих приватних випадках, коли використовуються нечіткі числа трикутної форми. Якщо ж нечіткі числа, які беруть участь у розрахунках, мають складну форму або подібний метод представляють дослідникам неочевидним з точки зору інтуїтивного розуміння, то нами запропоновано використовувати для розрахунків показника другий спосіб.

Другий варіант передбачає зворотне перетворення (5.2) – приведення до точного виду лівої частини рівняння, що досягається за допомогою одного із методів дефазифікації.

У даному випадку пошукове значення IRR є рішенням рівняння (5.3)

$$\text{defuzz} \left(\sum_{i=1}^n \frac{In_i - Out_i}{(1+IRR)^i} \right) = 0 \quad (5.3)$$

Де $\text{defuzz}(\cdot)$ – одна із функцій, яка дозволяє співставити точне значення аргументу, представленому нечітким числом.

Якщо грошові потоки виражені нечіткими числами стандартної форми, то рівняння (5.3) може бути розраховане у явному вигляді.

У випадку, коли грошові потоки мають випадкову нечітку форму, коли визначення IRR виконується методом ціле направленою перебору значень пошукового показника до тих пір, поки не буде досягнута рівність у виразі (5.3) з деякою заданою точністю.

Обчислення показника може бути ефективно виконане за допомогою програмного середовища і мови програмування Matlab.

Задача знаходження значення IRR в нечіткій формі значно відрізняється від пошуку точного рішення. Монотонність лівої частини рівняння (5.2), яке має місце при визначених передумовах відносно точного параметру, не виконується, коли в якості IRR:

$$\text{defuzz} \left(\sum_{i=1}^i \frac{\text{In}_i - \text{Out}}{(1 + \text{IRR})^i} = 0 \right) \quad (5.4)$$

Таким чином, рівняння (5.4) може мати більше одного рішення відносно IRR, і для заключного вибору аналітику необхідний додатковий критерій. В якості критерію нами запропоновано використовувати значення функції, яка складається із двох компонент, які характеризують нечітке значення IRR, величина яких з точки зору аналітика повинна бути мінімальною.

Перша компонента представляє собою дефаззифіційоване значення IRR: $\text{defuzz}(\text{IRR})$, яке потрібно мінімізувати, що відповідає класичному випадку визначення точного IRR, коли існує більше одного рішення рівняння (5.2) (наприклад, для знакозмінних потоків), із яких обирають мінімальне значення IRR.

Друга частина функцій представлена компонентою, яка формалізує такий показник як ступінь нечіткості (розмитості) нечіткої множини. Відповідно одному із підходів до обчислення ступеню нечіткості показник розмитості нечітких множин можливо визначити як міру відміни (різниці) нечіткої множини від ближнього до нього звичайної множини.

Звичайна (чітка) множина \underline{A} називається ближнім до нечіткої множини A , визначеному на базовій множині E , якщо характеристична функція такої множини визначається виразом:

$$M_{\underline{A}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } M_A(x) < 0,5 \\ 1, & \text{якщо } M_A(x) > 0,5 \\ 0 \text{ або } 1, & \text{якщо } M_A(x) = 0,5 \end{cases} \quad (5.5)$$

Виходячи із визначення, показник (індекс) нечіткості може бути формалізованим у вигляді функціонала fuzziness (A), який описаний виразом (6), в якому використовується відстань Хеммінга:

$$\text{fuzziness (A)} = \int |M_a(x) - M_{\underline{a}}(x)| dx \quad (5.6)$$

З точки зору дослідників, доцільним є те, щоб ступінь нечіткості пошукової норми внутрішньої дохідності (fuzziness IRR) була мінімальною, так як це збільшує описову значимість самого показника IRR.

Отже, другу компоненту функції, яка вимагає мінімізації, можливо представити наступним виразом:

$$\text{fuzziness (IRR)} = \int |M_{\text{IRR}}(x) - M_{\text{IRR}}| dx \quad (5.7)$$

Кінцевий вид функції, яку необхідно мінімізувати, представлений виразом виду:

$$\text{fuzziness (IRR)} + \text{defuzz (IRR)} \iff \min \quad (5.8)$$

Сукупність (5.4) і (5.8) представляє собою екстремальну задачу математичного програмування, яка у випадку, коли грошові потоки і визначене значення IRR виражені нечіткими числами стандартної форми, обчислюється за допомогою ітеративних методів математичного програмування. Якщо грошові потоки мають будь-яку нечітку форму, і при цьому потрібно знайти IRR, яка має асиметричну трикутну форму належності, тоді розрахунок внутрішньої норми дохідності можливо виконати за допомогою засобів Matlab.

У такому випадку використовується перехід від неперервної моделі (5.4), (5.8) до дискретної з достатнім ступенем точності, в рамках якої вираз для ступеня нечіткості (5.7) замінено на (5.9)

$$\text{fuzziness (IRR)} = \sum_{E1} |M_{\text{IRR}}(x) - M_{\text{IRR}}(x)| \rightarrow \min, \quad (5.9)$$

де E – базова множина, яка представлена в дискретній формі, $x \in E$.

Відповідний алгоритм розрахунку IRR розроблений авторами і формалізований у вигляді програмного коду на мові Matlab.

При розрахунку третього, найбільш розповсюдженого показника ефективності – дисконтованого терміну окупності (DPP) приходиться стикатись з проблемою порівняння нечітких величин. Нами запропоновано два методи обчислення терміну окупності.

Відповідно до першого методу значення DPP у точній формі для чистого потоку можливо визначити, спираючись на метод порівняння нечітких чисел, використовуючи дефазифікаційне значення функції належності.

Дисконтований період окупності (DPP) визначається як рішення рівняння виду:

$$\text{defuzz} \left(\sum_{i=1}^{\text{DPP}} \frac{In_i - Out_i}{(1+r)^i} \right) = 0 \quad (5.10)$$

Другий метод базується на принципах упорядкування нечітких чисел на базі нечітких відношень, приведених у розділі монографії.

Значення DPP необхідно визначити із рівняння (5.11)

$$\sum_{i=1}^{DPP} \frac{Ini - Outi}{(1+r)^i} = 0 \quad (5.11)$$

Один із методів знаходження DPP полягає в порівнянні максимальних значень функцій належності, відповідних різним варіантам взаємного співвідношення нечіткого числа із лівої частини (5.11) (при різних DPP) і нуля.

5.2. Аналіз принципів побудови штучних нейронних мереж в системах керування інноваційними проєктами

Штучні нейронні мережі – потужні обчислювальні системи, які перетворюють інформацію по типу тих процесів, які виникають в мозку людини. За рахунок багатоварових структур, які включають в себе взаємопов'язані нейрони, які можливо моделювати різними математичними конструкціями, нейронні мережі в повній мірі реалізують концепцію паралельних обчислень, що дозволяє вирішувати складні погано структуровані задачі.

Використання нейронних методів дозволяє вирішити широке коло задач, які включають задачі економічного аналізу і прогнозування. Існує ряд методів навчання штучних нейронних сіток, забезпечуючих кращі, ніж класичні методи зворотного розповсюдження помилок, показники навчання мережі, які потребують менше часу для збіжності і менший об'єм навчальної вибірки. На основі модифікованих методів навчання і їх характеристик, наведених в таблиці 5. 1, нами виокремлено найбільш ефективні методи, які можуть бути використані при рішенні задач побудови потоку затрат по інноваційному проєкту в рамках експрес-аналізу, а також проведемо обчислювальні експерименти процесу навчання нейронної мережі.

Теорія штучних нейронних мереж, яка викладена нами в [1] та поряд з нечіткими множинами і генетичними алгоритмами є компонентом м'яких обчислень (рис.5.2), які відрізняються від класичних обчислювальних методів і не ставлять за мету знаходження максимально точних рішень тих задач, строга формалізація яких неможлива, а кількісна оцінка всіх параметрів також не є можливою.

За рахунок використання м'яких обчислень можливо запобігти втратам важливої інформації, яка має місце у неточних, якісних даних, зробити процес рішення задачі максимально наближеним до людського мислення, а висновки – інтуїтивно зрозумілими.

Таблиця 5.1 Модифіковані методи навчання нейронних мереж

Модифікований метод навчання нейронних мереж	Характеристика методу
Метод, який враховує значення градієнту попередньої ітерації	<ul style="list-style-type: none"> - Спонукає до уникнення локальних мінімумів; - Сходимість алгоритмів достатньо низька
Метод зі змінною швидкістю навчання	<ul style="list-style-type: none"> - В додаток до попереднього методу припускає змінну швидкість навчання - Забезпечує кращу сходимость і інші характеристики.
Еластичний метод зворотного розповсюдження	<ul style="list-style-type: none"> - У процесі корекції ваги враховується знак градієнту; - Не вимагає великих об'ємів обчислення - Ефективний для задач розпізнавання образів.
Метод пов'язаних градієнтів	<ul style="list-style-type: none"> - Має швидку сходимость; - Ефективний для навчання мереж з великою кількістю ваги.
Квазіньютонівський метод	<ul style="list-style-type: none"> - Вимагає великих об'ємів обчислень і часу на реалізацію; - Має швидку сходимость; - Ефективний для навчання мереж з невеликою кількістю ваги.
Метод на основі алгоритму Левенберга-Марквардта	<ul style="list-style-type: none"> - Найбільш швидкий алгоритм для мереж середнього розміру (не більше декількох сотень вагів).
Метод на основі байєсової регуляризації	<ul style="list-style-type: none"> - У функції помилки присутня компонента, яка залежить в значення ваги мережі; - Використовуються статистичні методи; - Ефективний, коли об'єм навчальної множини дуже малий; - Дозволяє позбутись перенавчання мережі; - У процесі реалізації алгоритму із початкового повного набору вагів виділяється ефективна кількість.

Подальшим розвитком методів м'яких обчислень є моделі нейрон-нечітких мереж, використання яких дозволяє зменшити роль експерта в створенні системи, тому що частина параметрів механізму нечіткого виводу визначається автоматично в процесі навчання. В той же час стає логічною структура нейронної мережі, тому що кожний шар нейронів виконує свою, раніше визначену роль. При цьому дослідник одержує таку мережу, яка в результаті

навчання параметрів її елементів стає більш зрозумілою і має сенс до нової інформації.

Запропонована структура нейрон-нечіткої мережі наведена на рис.5.3, де нейрони першого шару просто передають вхідний сигнал, виконуючи транзитну функцію. Другий шар нейронів виконує фазифікацію, моделюючи функцію належності.

Таким чином, він складається із кількості нейронів, що дорівнює загальному числу нечітких множин, які описують можливі значення вхідних змінних (на рис.3 – сума П1 та П2).

Третій шар відповідає за визначення ступеня істинності правил, а отже, він складається з П1*П2 нейронів, кожний із яких одержує по два вхідних сигнали від нейронів другого шару і реалізують логічний зв'язок «І» за допомогою одної із функцій, які відносяться до класу t-норм. В цьому випадку ми будемо використовувати \min (.).

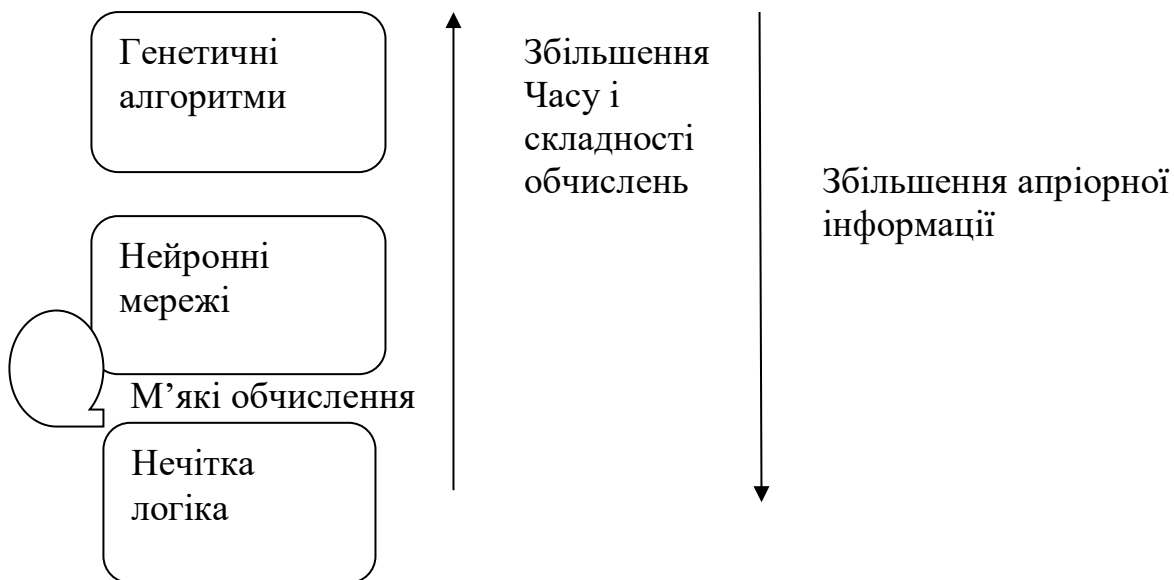


Рисунок. 5.2. Компоненти м'яких обчислень

Призначення третього шару нейрон-нечіткої мережі – відповідати третьому етапу нечіткого виводу, в свою чергу, відіграючи роль нечіткої операції «АБО». Нейрон вихідного шару вкупі з вектором вагів, зв'язуючих його з вихідними сигналами попереднього шару, виконує дефазифікацію, визначаючи точне значення вихідної змінної.

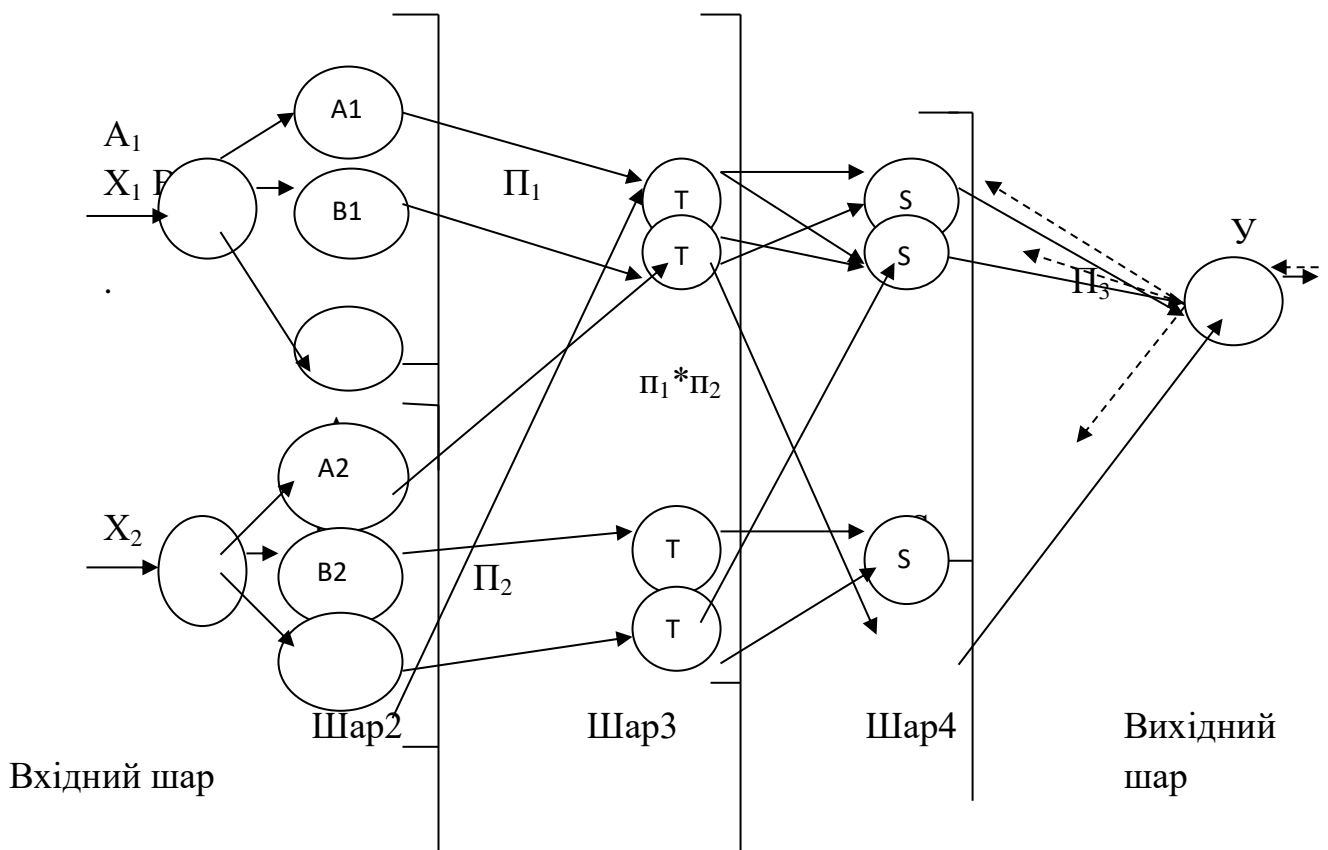


Рисунок 5.3. Структура нейрон-нечіткої мережі

Використовуючи дослідження японських вчених Лін (С.Т. Lin), Лі (С.С.Г. Lee), нами розроблений модифікований алгоритм експертної оцінки інноваційних проектів холодозабезпечення холодильних камер заморожування м'ясних продуктів. Його структура складається із трьох етапів.

Перший етап складається із попередньої оцінки параметрів функцій належності змінних (X_1 , X_2 , та Y на рис.5.3). Будемо вважати, що функції належності мають форму функцій Гаусса.

В рамках цього етапу проходить кластеризація наявних масивів даних, при цьому поділ на вхідні і вихідні дані не виконується, так як для досягнення цілі використовується адаптований алгоритм Кохонена, а отже проходить навчання без вчителя, яке не потребує заданих еталонів вхідних сигналів.

Для того, щоб була можлива кластеризація змінних, віднесених до вихідних на першому етапі, вихідний шар мережі і відповідні йому зв'язки функціонують у зворотньому напрямку, виконуючи ту ж роль, що і нейрони вхідного шару (пунктирні стрілки на рис.5.3).

Другий етап оснований на використанні алгоритму навчання без вчителя і дозволяє вибрати із початкової повної множини правил лише ті, які мають максимальний вплив на значення вихідних змінних.

Призначення останнього етапу полягає в точному налагодженні параметрів функцій належності, і це є, на наш погляд, найбільш цікавою задачею нейрон-нечіткого моделювання.

Даний етап можливо використати самостійно, виключаючи два попередніх етапи. При цьому навчання нейронної мережі проходить за допомогою алгоритму зворотного розповсюдження помилки або його модифікації. Для складних економічних процесів управління інноваційними проектами виникає необхідність використання нечіткого регресійного аналізу.

Базова модель нечіткої регресії, запропонована Х. Танакою, має наступний вигляд:

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + \dots + A_n X_n, \text{ де: (5.12)}$$

$$Y = (y_1, \dots, y_n)^T, A_j, j=0, \dots, n - \text{нечіткі множини,}$$

$$X_j = (x_{1j}, \dots, x_{mj})^T, j=0, \dots, n - \text{регресори, які представлені в чіткій формі.}$$

У формулі (5.12) відсутня випадкова помилка, тому що нечіткий регресійний аналіз замість включення в модель випадкових компонент і використання методів теорії ймовірності спирається на поняття нечіткості.

Базова модель нечіткої регресії (5.12) в інтересах наших досліджень модифікована за рахунок використання наступних додатків і перетворень, які наведені нижче:

- Використання методів найменших квадратів для визначення центрів нечітких коефіцієнтів у формулі (5.12), що надає великої стійкості результатів, які одержують на основі моделі;
- Узагальнення моделі для випадку, коли поточні значення залежної змінної представлені нечіткими числами, в результаті чого розширюється сфера використання моделі, і з'являється можливість більш повного врахування думок експертів.
- Побудова інвертованої моделі, яка відрізняється від вихідної тим, що використовує зворотні критерії пошуку коефіцієнтів у формулі (5.12). Відповідно даного підходу визначається не максимально вузький діапазон, в який повинні потрапляти усі значення, а інтервал максимально широкий, але тепер уже обов'язково не вміщуючий жодного спостережного значення.

Подані перетворення дозволяють знизити чутливість моделі до окремих збурень у ряду даних, що не завжди призводить до принципової неможливості знаходження параметрів моделі.

Вказаний недолік може бути ефективно подоланий на основі нечіткої кусково-регресійної моделі.

Моделювання на основі кусково-регресійного уявлення досліджуваної функції, яке може дозволити адекватно врахувати викиди і коливання вихідних даних за рахунок формування меж прогнозного діапазону за допомогою ламаних.

Використання для уявлення знайдених коефіцієнтів і значень залежної змінної різних функцій належності: трапеційності, асиметричної трикутної форми та інших.

5.3. Практичне використання і програмна реалізація методів і моделей експрес-аналізу інноваційних проєктів холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників

В якості інноваційного проєкту розглянемо впровадження на ПАТ «Криворізький холодокомбінат» другої черги заморожування туш ВРХ.

Вибір такого проєкту пов'язаний з тим, що продукція ПАТ «Криворізький холодокомбінат» (м'ясопродукти) конкурентоспроможні на європейських та і внутрішніх ринках. У результаті введення в експлуатацію другої черги сучасного компресорного обладнання з високим рівнем автоматизації зменшуються затрати електроенергії на 25%.

Великий інтерес до цього виду продукції і до проєкту в цілому пов'язаний з тим, що будуть створені нові бізнеси (n-видів продукції м'ясних продуктів, що дозволить створити кращі умови для забезпечення виконання портфелю замовлень підприємств Європи; нові технології виробництва заморожуваних продуктів харчування з виробництвом 0,5 млн. тонн продукції. Інтерес інвестора до цього об'єкту довгострокових капіталовкладень пов'язаний також з тим, що у проєкті «Криворізький холодокомбінат» будуть використані системи комп'ютерного управління технологічними процесами виробництва штучного холоду та системи ERP управління бізнес-процесами.

У рамках першого етапу виконання проєкту на основі нечіткого регресійного аналізу будемо виконувати рішення задач побудови потоку надходжень грошей від інноваційного проєкту та виконання важливої стадії проєкту – прогнозування світових цін на м'ясопродукти в рамках 5-річного горизонту планування.

Для побудови прогнозу пропонується використати метод по критерію мінімальної нечіткості, який використовує метод найменших квадратів з асиметричними трикутними функціями належності.

Побудову прогнозу цін на м'ясопродукти сформулюємо у вигляді послідовних дій, наведених нижче:

- Проведення попередньої обробки вихідних статистичних даних для побудови авторегресії – в рамках цієї процедури виконуються згладжування різких викидів і заповнюються пропуски даних, що реалізується за допомогою аналітичної платформи Deductor;
- Побудова класичної авторегресійної моделі для того, щоб визначити структуру моделі і оцінити за допомогою методу найменших квадратів значення центрів коефіцієнтів, ступінь нечіткості яких буде встановлена наступним кроком. У якості засобів інструментальної підтримки статистичного аналізу використовується широко відомий пакет E Views.
- Формування нечіткої регресійної моделі, яка включає в себе знаходження лівої і правої межі нечітких коефіцієнтів у наступній формулі:

$$Y_i^f = A_0 + A_1 x_{i1} + A_2 x_{i2}, \quad i=3, \dots, n \quad (5.13)$$

Де $i=3, \dots, 60$ – об'єм даних про середньомісячні ціни на м'ясопродукти;

$y_i^f = y_i^l$, y_i^c , y_i^u – нечіткі числа асиметричної трикутної форми з центром в y_i^c та межами - y_i^l (нижня) і y_i^u (верхня);
 $A_j = (a_j^l, a_j^c, a_j^u)$, $j=0, 1, 2$ – нечіткі коефіцієнти, які мають асиметричну трикутну форму належності.

Y_{i-1} та Y_{i-2} – лаги залежностей змінної, які представлені в чіткій формі і для зручності перепозначені у формулі (5.13), як x_{i1} , x_{i2} відповідно.

$$\min z = \sum_{i=3}^{60} (a_0^u - a_0^l) + \sum_{j=1,2} ((a_j^u - a_j^l) \sum_{i=3}^{60} |x_{ij}|) \quad (5.14)$$

$$h (a_0^c + \sum_{j=1,2} a_j^c x_{ij}) + (1-h) (a_0^l + \sum_{\substack{j=1,2 \\ x_{ij} \geq 0}} a_j^l x_{ij} + \sum_{\substack{j=1,2 \\ x_{ij} \geq 0}} a_j^u x_{ij}) \leq y_i, \quad (5.15)$$

$$-h (a_0^c + \sum_{j=1,2} a_j^c x_{ij}) - (1-h) (a_0^u + \sum_{\substack{j=1,2 \\ x_{ij} \geq 0}} a_j^u x_{ij} + \sum_{\substack{j=1,2 \\ x_{ij} < 0}} a_j^l x_{ij}) \leq -y_i, \quad (5.16)$$

$$i=3, \dots, 60, \\ a_j^l \leq a_j^c < a_j^u, j=0, 1, 2 \dots \quad (5.17)$$

h – бажана ступінь достовірності.

Основним алгоритмом рішення задач лінійного програмування, до яких відносяться задачі (5.14-5.17) є симплекс-метод, можливість використання якого передбачена в одному із додатків середовища Matlab – Optimization Toolbox.

Побудова потоків надходжень грошей на основі нечіткого регресійного аналізу дозволяє ефективно будувати прогнози в умовах високої волатильності досліджуваного показника.

Це явище підтверджене рішенням аналогічної задачі шляхом прогнозування цін на м'ясопродукти на період кризи 2023-2024 років. В цей період криворізьке підприємство може вижити за рахунок зовнішніх контрактів, оптимізувавши ціни на продукцію. Ці оптимальні ціни на м'ясопродукти успішно описує нечітка авторегресія [2].

На другому етапі аналізу інноваційного проекту будується графік розподілу в часі питомих затрат на будівництво «Криворізький холодокомбінат 2». Джерелом даних для формування графіка є інформація про раніше реалізований регіоном проєкт «Криворізький холодокомбінат2», а також інформація про об'єкти-аналоги, про яких є публікації в спеціальній літературі.

Метод аналізу базується на побудові і навчанні нейронної мережі, а інструментальним засобом є середовище Matlab і його додатки Neural Network Toolbox.

У результаті проведення всебічного вивчення алгоритмів навчання штучної нейромережі, наведених в [2], був вибраний метод на основі байєсової регуляризації, який найбільш відповідає умовам аналізу проєкту. Одною із причин є обмаль інформації про проєкт (невелика навчальна вибірка), а також невизначеність щодо термінів введення проєкту в дію.

У той же час в процесі навчання штучної нейромережі потрібно врахувати кількісні показники зв'язків спочатку у вибраній структурі мережі (вони дуже

великі), і автоматично виділити із них лише ті, які є найбільш значимими, що дозволяє уникнути перенавчання.

Нижче наведений код в середовищі Matlab, який забезпечує побудову і навчання мережі з потрібними параметрами.

1. net = new ff ({ 'tansig', 'tansig', 'tansig', 'logsig' }; { 'traindr', ' ', 'mse' });
'створення чотирьохшарової мережі і завдання її параметрів'
2. net, train Param.epochs=200; 'завдання максимальної кількості ітерацій'
3. net. train Param. mu=1 «Визначення параметрів таким
4. net. train Param. mu...inc=1,5 чином, щоб сходимість була
5. net. train Param. mu...dec=0,85 достатньо низькою»
6. net=init (net); 'ініціалізація ваги мережі'
7. [net, tr]=train (net, trinput, troutput, [2], [51], VV); 'Навчання мережі на основі наявної бази даних та з урахуванням контрольних прикладів'

Аналіз стійкості результатів, що сформовані навченою нейронною мережею відносно проєктів з відомими характеристиками і графіками фінансування, показує адекватну реакцію моделі на зміни основних характеристик: виробничої потужності ПРХ, термінів будівництва об'єкту, термінів налагодження технологічного процесу і автоматизації процесів виробництва холоду, налагодження і введення в експлуатацію системи робототехнологічного комплексу завантаження холодильних камер [6,25,26].

Для побудови потоків затрат коштів крім відсоткового розподілу витрат на будівельно-монтажні роботи в часі, необхідно провести дослідження оптимальних вихідних характеристик якості продукції в залежності від вхідних параметрів ВРХ.

Дослідження будуються на системах нечіткого виводу і апарату нечітких нейронних мереж, а джерелами необхідної інформації є базові характеристики проекту, думки експертів – співробітників Інжинірингового центру ПАТ «Криворізький холодокомбінат».

Інструментальними засобами є додатки Matlab – Fuzzy Logic Toolbox та пакет Simuling,[12] які дозволяють як в режимі графічного споживача інтерфейсу, так і через командну строку сформувати системи нечіткого виводу, налагодити їх, в тому числі за допомогою нейронної мережі, одержати заключення в нечіткій або числовій формі.

В якості основних факторів, які визначають загальну собівартість проекту смарт-промислового холодильника, виокремлюють:

- Виробничі потужності об'єкту заморожування ВРХ та їх вхідні характеристики;
- Функціональне призначення;
- Клас об'єкту;

Усі три чинники на стадії ініціації є по суті нечіткими параметрами, так як потужності виробництва продукції, характеристики м'ясопродуктів, обладнання, системи автоматики, персонал у процесі проектування і

узгодження неодноразово змінюється, а тип і клас об'єкту можуть бути охарактеризовані лише наближено.

Отже, для одержання інформації щодо прогнозування собівартості заморожуваних м'ясопродуктів, необхідно використовувати ті підходи, які побудовані на нечіткій логіці і принципах нечіткого виводу.

Головний параметр – собівартість інноваційного проєкту виробництва м'ясопродуктів на ПАТ «Криворізький холодокомбінат» - розраховується двома альтернативними методами:

Перший метод полягає в побудові системи нечіткого виводу на базі алгоритму Мандані, в рамках якого експертам необхідно самостійно визначити вид і параметри функції належності виділених факторів.

Переваги методу полягають в тому, що в цьому випадку не потрібна статистична інформація, а результати є найбільш інтуїтивно зрозумілими.

Другий метод передбачає побудову і навчання нейронної нечіткої мережі, яка реалізує алгоритм нечіткого виводу Сугено. У даному випадку від експертів потрібно лише визначити загальний вид функції належності, що є сильною стороною методу, а точне налагодження параметрів виконується на основі статистичних даних.

На основі наявності у нас інформації про грошові потоки – потоків надходжень, представленого в нечіткому вигляді, і потоку затрат, одержаного на основі двох методів як в точній формі, так і в нечіткій.

У нашому випадку необхідно обчислювати показники ефективності проєкту відповідно розробленим алгоритмам і методам.

Показники NPV і IRR визначаються у вигляді нечітких чисел, DPP – в точній формі.

Уявлення значень IRR і NPV у нечіткій формі дозволяє керівнику проєкту та експертам проєкту одержати великий об'єм інформації про проєкт і провести аналіз ризиків, пов'язаних з виконанням та впровадженням проєкту.

5.4.Деякі аспекти проєктування промислових холодильних систем (смарт-промислових холодильників)

Об'єкт проєктування « смарт-промисловий холодильник» включає спеціально обладнане приміщення і холодильну компресорну систему з інтелектуальною автоматикою, які використовують для підтримки в холодильних камерах температурно-вологісного режиму, відповідно до стандартів країн ЄС зберігання або виробництва продуктів здорового харчування.

Холодильна компресорна система - це комплекс, що включає в себе генератор холоду (холодильну машину), охолоджуваний об'єкт, а також систему охолодження. Вона призначена для виробництва й використання штучного холоду.

У доповненні до чотирьох основних елементів, що становлять холодильну машину, холодильна установка включає також допоміжні апарати, прилади, трубопроводи, а також спорудження, необхідні для здійснення процесів охолодження, заморожування й зберігання харчових продуктів (холодильні

камери та ін.) і приміщення для розташування і експлуатації холодильного обладнання [16,17,22,23,24,25,26]

Сукупність холодильних систем, що забезпечують холодильну обробку (охолодження і заморожування) харчових продуктів, зберігання їхніх запасів, транспортування, зберігання в торговельній мережі, на підприємствах ресторанного бізнесу й у побуті, називають холодильним ланцюгом.

Залежно від призначення кожного з ланок цього ланцюга здійснюють об'ємно-планувальні рішення холодильників і холодильних установок. Об'ємне планувальне рішення промислового холодильника визначається його призначенням і, відповідно, структурою його охолоджуваних приміщень(холодильних камер). У процесі виконання проектних робіт команда проекту звертає увагу на наступні ознаки:

- *Холодильник* - це самостійне промислове підприємство (цех підприємства харчової промисловості), де за допомогою холодильних установок здійснюється холодна обробка й зберігання харчових продуктів;

- *Холодильник* включає теплоізолювані холодильні камери (технологічний цех) і компресорний цех з апаратним відділенням, де розміщені холодильні компресори, основні й допоміжні теплообмінні апарати, арматура, контрольно-вимірювальні й автоматичні прилади, необхідні для виробництва холоду і його холодопостачання у технологічний цех.

Класифікацію холодильників здійснюють залежно від призначення, виду харчових продуктів, місткості й поверховості будівлі.

За призначенням розрізняють:

- *Заготівельні* холодильники призначені для заготівлі продукції в сільській місцевості. Основну холодину ємність становлять камери охолодження. Використовують холодинні установки великої продуктивності. До цих же холодильників ставляться й станції попереднього охолодження фруктів й овочів перед їхньою доставкою холодинним транспортом на промислові підприємства. Станції попереднього охолодження можуть бути й пересувними;

- *Виробничі* холодильники є частиною (цехами) харчових підприємств: м'ясо- і птахокомбінатів, молокопереробних заводів, консервних комбінатів. Тут також відбувається холодинна обробка харчових продуктів: охолодження й заморожування, тому використовуються холодинні установки великої продуктивності ;

- *Транспортно-експедиційні* (портові) холодильники. Їх споруджують у великих річкових або морських портах для короткочасного зберігання продуктів при їхньому перевантаженні з одного виду транспорту на інший (з водного на залізничний або повітряний, або навпаки). Ці холодильники відрізняються більшим обсягом операцій по навантаженню, огляду й сортуванню продуктів. У зв'язку із цим на таких холодинниках приділяється велика увага механізації вантажно-розвантажувальних робіт (особливо судів), а також спеціальним приміщенням для сортування й огляду продуктів;

- *Розподільні* холодильники призначені для рівномірного забезпечення міст і промислових центрів сезонними продуктами живлення на протязі всього

року. Основну ємність цих холодильників становлять камери схову. Продуктивність пристроїв для охолодження й заморожування продуктів невелика.

Однак останнім часом на розподільних холодильниках великих промислових центрів є виробничі цехи:

- для виробництва морозива;
- водного або сухого льоду;
- фасування м'яса й масла;
- для виробництва напівфабрикатів і кулінарних виробів;
- цехи щодо випуску швидкозаморожуваних готових блюд (в основному, такі цехи роблять при виробничих холодильниках).
- розподільні холодильники з виробничими цехами називають *холодокомбінатами*.

Базисні холодильники призначені для довгострокового зберігання продуктів, що надходять із виробничих холодильників, з метою створення резервів. Основну ємність таких холодильників становлять приміщення для зберігання, у яких приділяється особлива увага підтримці постійного температурного й вологого режимів.

За величиною ємності, тобто по одночасній місткості холодильних камер, розрізняють холодильники:

- Малої ємності - до 500т;
- Середньої ємності - від 500 до 5000т;
- Великої ємності - понад 5000т.

При цьому мається на увазі умовна ємність при завантаженні холодильника мороженим м'ясом.

Виробничі холодильники розрізняють також за виробничою потужністю для заморожування харчових продуктів у т/доб:

- Малої продуктивності - до 20 т/доб;
- Середньої продуктивності - до 100 т/доб;
- Великої продуктивності - понад 100т/доб.

По виду виробничої будівлі холодильники класифікують на багатоповерхові й одноповерхові.

Раніше холодильники середньої й великої ємності звичайно будували багатоповерховими: 5-6 поверхів. Наближення зовнішньої поверхні холодильника до форми куба сприяє зменшенню зовнішніх теплоприпливів і зменшенню енергоспоживання холодильними установками. Однак при цьому ускладнюється механізація вантажних робіт і можливість укладання вантажів у штабель великої висоти, оскільки звичайна висота камер багатоповерхового холодильника не перевищувала 5 м. Одноповерхові холодильники тепер будують будь-якої ємності з висотою камер до 10-12 м. Перспективними проектами є одноповерхові холодильники з висотою камер до 40 м, з автоматизацією вантажно-розвантажувальних операцій за допомогою робототехніки та комп'ютерних систем керування. ЕОМ виконують не лише контроль параметрів холодопостачання, але контролюють якість продукції та планують розвантажувальні, накопичувальні операції, логістичну систему

відвантаження замороженої продукції. Отже в процесі виконання проєкту смарт- холодильного підприємства необхідно виконати наступні проєктні дослідження за допомогою нейромережових мереж:

1. Планування одноповерхового смарт-промислового холодильника з терміном експлуатації 50 років (основні несучі конструкції будівлі виконати зі залізобетону).

2. Надати інвестору матеріали оцінки планування одного із поверхів (для зберігання охолоджених м'ясних продуктів)багатоповерхового розподільчого холодильника.

3. Надати замовнику попередні висновки про вартісні параметри одноповерхового виробничого холодильника консервного заводу.

4. Оцінити за допомогою нейромережових алгоритмів терміни будівництва виробничого рибного холодильника вантажомісткістю 5000т. Холодильник має п'ять поверхів і зблокований з підприємством. На 2-5му поверхах розташовано по три камери зберігання замороженої риби і морепродуктів. Температурний режим зберігання -25°C. На першому поверсі машзал зі системою АСУТП і АРМ-оператора, експедиція і камери короткочасного зберігання готової продукції.

5. За допомогою нечітких моделей надати інвестору передпроєктну оцінку огорожувальних конструкцій, що відокремлюють охолоджувані приміщення від коридорів.

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. Дайте визначення технології оцінки проєктних рішень за допомогою нейронних мереж.
2. Переваги методів попереднього аналізу проєктів будівництва смарт-холодильників за допомогою нейронних мереж.
3. Охарактеризуйте основні недоліки одноповерхових холодильників.
4. Переваги багатоповерхових холодильників
5. Основні положення об'ємно-планувальних рішень при проєктуванні промислових холодильників.
6. Назвіть роль об'ємно-планових проєктних рішень розподільних холодильних холодильників.
7. Опишіть напрями проєктних рішень виробничих холодильників для холодильного оброблення і зберігання м'яса.
8. Запропонуйте способи оцінки проєкту одноповерхового виробничого холодильного міського молочного заводу(вартість проєкту 25 млн. грн., термін будівництва один рік)
9. Чому проєктанти при проєктуванні ПРХ застосовують багат шарові теплоізоляційні матеріали?
10. Яким чином виконують проєктні рішення щодо міжповерхових конструкцій перекриття багатоповерхових холодильників?.
11. Від яких чинників залежить ефективність ізоляційних конструкцій?
12. Наведіть проєктні параметри розрахунку товщини теплоізоляційної конструкції?

Тести

Тест 1. Штучні нейронні мережі це: а) потужні обчислювальні системи; б) які перетворюють інформацію по типу тих процесів; в) які виникають в мозку людини; г) вірна відповідь 1+2+3.

Тест 2. Одержані результати, що сформовані навченою нейронною мережею відносно проєктів з відомими характеристиками і графіками фінансування, рекомендують проєктанту: а) адекватну реакцію моделі на зміни основних характеристик виробничої потужності ПРХ; б) терміни будівництва об'єкту, терміни налагодження технологічного процесу і автоматизації процесів виробництва холоду; в) технології налагодження і введення в експлуатацію системи робототехнологічного комплексу завантаження холодильних камер; г) всі відповіді правильні.

Тест 3. Як відомо інструментальними засобами є додатки Matlab – Fuzzy Logic Toolbox та пакет Simulink, які дозволяють: а) в режимі графічного споживача інтерфейсу, так і через командну строку сформувати системи нечіткого виводу; б) налагодити їх за допомогою нейронної мережі; в) одержати заключення в нечіткій або числовій формі; г) всі відповіді правильні.

Тест 4. У процесі виконання передпроєктних досліджень теплових навантажень на компресори та камерне обладнання ПРХ виконують розрахунок тепло надходжень, при цьому за розрахунковий період приймають: а) період, що відповідає найбільш високій температурі зовнішнього повітря; б) максимальне надходження продуктів до камер холодильника; в) частотувідкривання/ закриття дверей камер холодильника; г) всі відповіді правильні.

Тест 5. Термоізоляцію перегородок між приміщеннями холодильника з однаковими температурами проєктують: а) з пінобетонних блоків; б) керамзитових блоків; в) з цегли; г) ваша відповідь.

Частина 3. Тема 6. Проектування одноступеневих і багатоступеневих компресорних холодильних машин

6.1. Проектні рішення щодо вибору схем і циклів одноступеневих компресорних холодильних машин

Розпочнемо розробку проекту з вивчення процесів компресорного охолодження [8,9,10], які складається із чотирьох послідовних операцій, а саме:

1. Процесів безперервного відбору теплоти від охолоджуваного тіла, для якого необхідно мати відповідну кількість холодоагенту з більш низькою температурою. Операція приведення до цього стану робочого тіла - перша, найбільш важлива частина процесу охолодження;

2. Іншою операцією є передача теплоти від охолоджуваного об'єкта холодоагенту з більш низькою температурою;

У цьому випадку теплоту низького температурного рівня, сприйняту холодоагентом, необхідно перенести на більш високий температурний рівень, для того щоб можна було передати її природним шляхом навколишньому середовищу;

3. Наступна операція - сам перехід теплоти з високого температурного рівня до навколишнього середовища.

Всі перелічені операції здійснюються в паровій компресійній машині при безперервній циркуляції певної кількості холодоагенту з використанням процесів кипіння і конденсації. Кипіння відбувається при низьких тиску й температурі, а конденсація - при високих. Перейдемо до проектування одноступінчатих парових холодильних машин. У парових холодильних машинах робочим тілом є аміак і хладони, а головне, робочий цикл в яких здійснюється за рахунок механічної роботи компресора. У одноступеневих використовують один компресор, який забезпечує здійснення холодильного циклу.

На рис.6.1 наведено схему одноступінчастої парової холодильної машини, яка складається з компресора, конденсатора, регулюючого вентиля і випарника. Ці частини з'єднані між собою трубопроводами в замкнуту систему, у якій завдяки роботі компресора циркулює холодильний агент.

У випарник В, що представляє собою трубчастий апарат, безупинно надходить рідкий холодоагент або волога пара з більшим змістом рідини. При зниженому тиску p_0 і відповідною низькій температурі t_0 холодоагент кипить за рахунок теплоти, що відводиться від охолоджуваного об'єкта. Пароподібний агент всмоктується компресором K_m і стискується до високого тиску P_k . При цьому його температура значно підвищується.

Таким чином, за рахунок витраченої роботи в компресорі теплота, сприйнята холодоагентом від об'єкта, піднімається на більш високий температурний рівень. Компресор служить для забезпечення циркуляції холодоагенту по замкнутій системі холодильної машини, що створює низький тиск і, отже, низьку температуру киплячого холодильного агента, а також для стиску пари до такого високого тиску, при якому вона зріджується в конденсаторі.

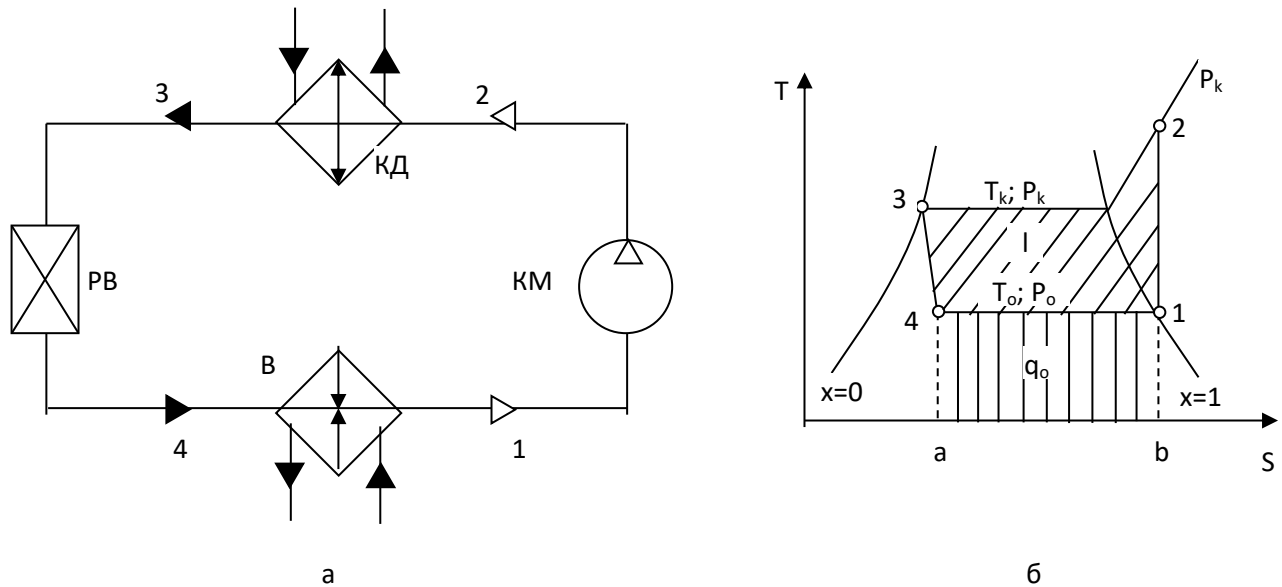


Рисунок 6.1. – Схема (а) та цикл (б) одноступінчастої парової холодильної машини з регулюючим вентиляем: КМ – компресор; КД – конденсатор; РВ – регулюючий вентиль; В - випарник

У трубчастому конденсаторі $Kд$ перегріті після стиску в компресорі пари спочатку прохолоджуються до температури конденсації, а потім віддають сховану теплоту пароутворення, у результаті чого насичені пари перетворюються в рідину.

У регулюючому вентилі $PВ$ при проходженні через звужений отвір відбувається дроселювання рідкого холодоагенту від високого тиску конденсації p_k до низького тиску кипіння у випарнику p_o . Процес дроселювання супроводжується зниженням температури холодильного агента. Дросельний вентиль, крім того, регулює подачу холодоагенту, оскільки у випарник треба подавати стільки рідини в одиницю часу, скільки встигає її википіти. Звернемо увагу здобувачів вищої освіти на основні теоретичні залежності холодильного циклу, які мають важливе значення в процесі побудови бази правил проекту.

1. Питома холодопродуктивність холодоагенту (кДж/кг) у даному циклі складе

$$q_0 = i_1 - i_4, (i_4 = i_3), \quad (6.1)$$

$$\text{або } q_0 = \text{пл. } 14ab.$$

2. Питома робота стиску в компресорі (кДж/кг)

$$l = i_2 - i_1, \quad (6.2)$$

$$\text{або } l = \text{пл. } 1234.$$

3. Питоме теплове навантаження конденсатора (кДж/кг)

$$q = i_2 - i_3, \quad (6.3)$$

4. Холодильний коефіцієнт теоретичного циклу

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{пл.14ab}{пл.1234} \quad (6.4)$$

6.2. Проектування схем і циклів парових компресійних машин з регенеративними теплообмінниками

У процесі роботи холодильної машини з регулюючим вентилям виникають втрати від дроселювання, що залежать від фізичних властивостей холодильного агента (теплоємності, теплоти паротворення й критичних параметрів). Крім того, втрати від дроселювання залежать від різниці температур кипіння й конденсації: чим менше різниця температур, тим менше втрати [8,9,10].

Проектанти зменшують втрати шляхом, зниження температури рідкого холодоагенту перед дроселюванням. При цьому виключається паротворення в рідинному трубопроводі, що різко знижує пропускну здатність регулюючого вентиля. Крім того, переохолодження рідини перед вентилям збільшує питому холодопродуктивність q_0 , тому що при дроселюванні менше википає рідини (тобто менше теплоти потрібно для охолодження всієї маси рідини до температури кипіння). Як правило, переохолодження проводять до температури на 5..10°C нижче температури конденсації.

У хладонових холодильних машинах переохолодження здійснюється звичайно в спеціальних теплообмінниках, прохолоджуючим середовищем у яких слугують пари холодильного агента, що відсмоктуються із випарника компресором.

Характерна риса найпростішого циклу парової компресійної холодильної машини - усмоктування компресором вологої пари, або «вологий хід компресора». У теоретичному відношенні такий режим роботи найбільш вигідний, тому що він наближає робочий процес холодильної машини до зворотного циклу Карно.[8,9,10] Однак на практиці кращим є «сухий хід» компресора. Основна перевага «сухого ходу» - значне зменшення інтенсивності теплообміну між робочою речовиною й стінками циліндра компресора, оскільки цей теплообмін зменшує холодопродуктивність компресора й збільшує витрати роботи на виробництво холоду. Крім того, «сухий хід» усуває можливість аварій, що виникають при «волоному ході» внаслідок гідравлічних ударів у циліндрі компресора.

Досягти в схемі реальної хладонової холодильної машини необхідного переохолодження перед регулюючим вентилям і одночасно необхідного перегріву пари на усмоктуванні дозволяє використання регенеративного

теплообмінника (рис. 6.2), у якому холодна усмоктувана пара проходить протivotоком до теплового рідкого холодоагенту, що протікає через рідинний трубопровід до регулюючого вентиля. Проходячи через теплообмінник, холодна усмоктувана пара поглинає теплоту від теплої рідини. Вона переохолоджується, перегріваючи пару.

У даному циклі холодна пара холодоагенту виходить із випарника в стані a , надходить у регенеративний теплообмінник, де нагрівається ($a—1$) за рахунок теплообміну з рідким агентом, що виходить із конденсатора, який при цьому охолоджується ($3—4$). У результаті регенерації питома холодопродуктивність збільшується на величину $\Delta q_0 = i_6 - i_5$, але одночасно збільшується і робота компресора на $\Delta l_k = \text{пл. } 12ba$. Звернемо увагу дослідників на наступне правило:

-у регенеративному теплообміннику на відміну від інших способів переохолодження теплота, що віддається рідиною, яка переохолоджується, поглинається усмоктуваною парою і залишається в системі, а цінність проектних [8,9,10] рішень з теплообмінником полягає в тому, що він забезпечує перегрів пари з корисним охолодженням.

б)

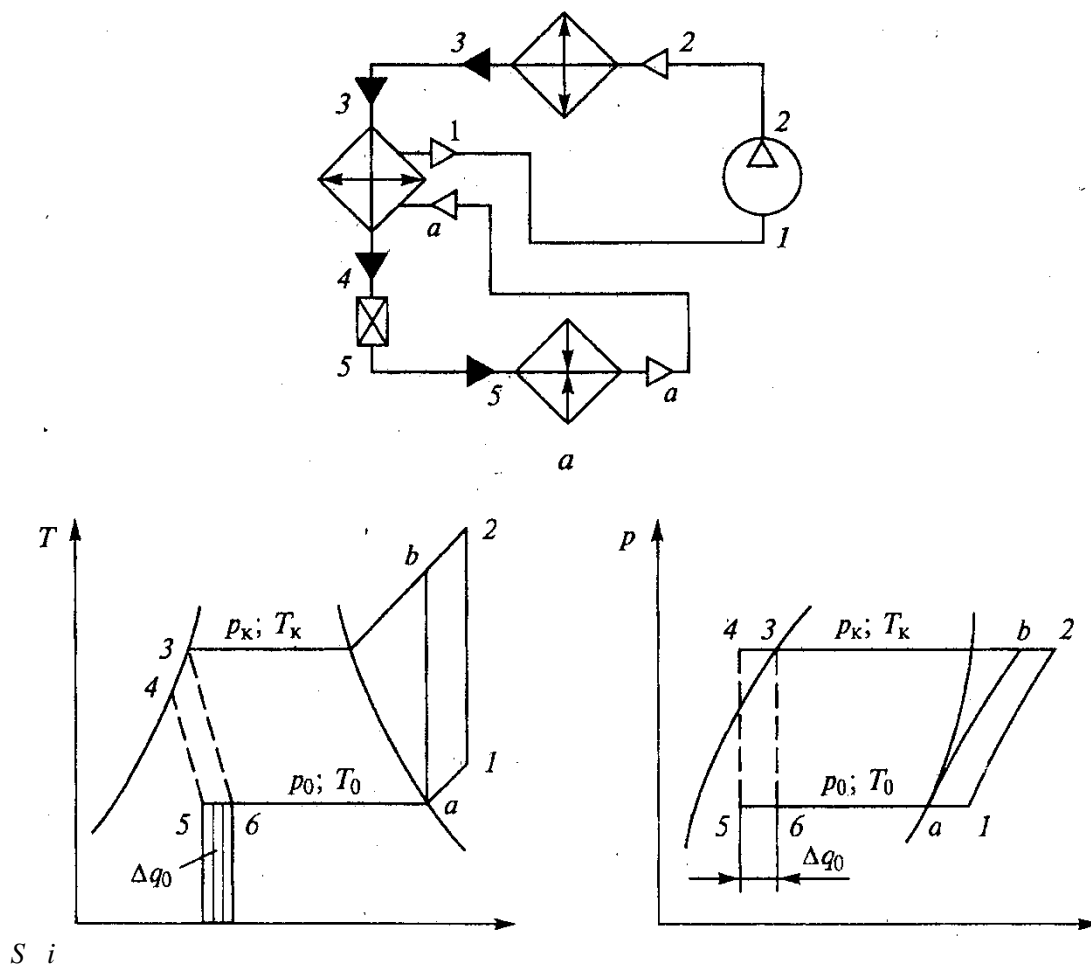


Рисунок 6.2. – Схема (а) і цикл (б) парової холодильної машини з регенеративним теплообмінником

6.3. Розрахунок теоретичного циклу парової одноступеневої компресійної холодильної машини[8,9,10].

Графічним методом дослідники виконують: розрахунок циклу холодильної машини, тобто визначення параметрів холодоагенту; тепловий розрахунок основних процесів циклу, кількості холодоагенту, що циркулює в системі; розрахунок об'ємної витрати пари в циліндрі компресора; розрахунок теоретичної потужності компресора за допомогою термодинамічних $T-S$ і $\lg p - i$ -діаграм.

Послідовними стадіями розрахунку графічним методом є: встановлення вихідних умов і величин, необхідних для розрахунку; нанесення проєктованого холодильного циклу на $T-S$ або $\lg p - i$ -діаграму; визначення параметрів холодоагенту в характерних точках циклу й властиво тепловий розрахунок циклу.

Вихідними даними для розрахунку є: холодопродуктивність машини Q_0 , використовуваний холодоагент, температура кипіння холодоагенту t_0 , температура конденсації t_k , температура переохолодження перед регулюючим вентилем t_n і температура на усмоктуванні в компресор t_{BC} .

Температура кипіння t_0 при безпосередньому охолодженні буває на $8...10$ °С нижче температури повітря охолоджуваних камер.

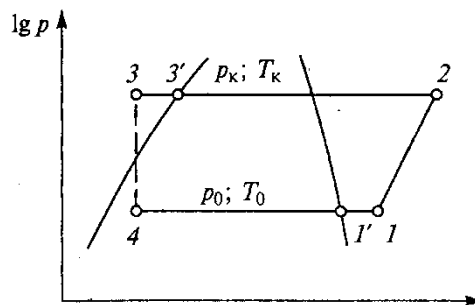


Рисунок 6.3. – Зображення холодильного циклу в діаграмі $\lg p - i$

Температура конденсації t_k повинна бути на $8...10$ °С вище температури води, що надходить у конденсатор. Температуру переохолодження холодоагенту перед дросельним вентилем приймають на $2...4$ °С нижче температури конденсації. Перегрів агента на усмоктуванні орієнтовано вважають рівним $5...10$ °С

По заданих температурах наносять цикл на теплову діаграму, відзначаючи при цьому характерні точки (рис. 6.3). Розрахунок циклу можна виконати також за допомогою таблиць насичених і перегрітих пар холодоагенту.

У процесі виконання проєкту і розробки бази правил проєктанти виконують розрахунок холодильного циклу та визначають наступні параметри: 1.Питому масову холодопродуктивність холодоагенту (Дж/кг)

$$q_0 = i_1 - i_4. \quad (6.5)$$

2.Роботу, яка затрачувана на адіабатичний стиск холодоагенту в компресорі (Дж/кг),

$$l = i_2 - i_1. \quad (6.6)$$

3.Теплоту, що відводиться від холодоагенту в конденсаторі (Дж/кг),

$$q = q_0 + l = i_2 - i_4 = i_2 - i_3. \quad (6.7)$$

4.Холодильний коефіцієнт теоретичного циклу

$$\varepsilon_T = \frac{q_0}{l}. \quad (6.8)$$

5.Масові витрати циркулюючого холодоагенту (кг/с)

$$M = \frac{Q_0}{q_0}. \quad (6.9)$$

6.Питому об'ємну холодопродуктивність (Дж/м³) усмоктуваної у компресор пари холодоагенту

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}, \quad (6.10)$$

де v_1 — питомий обсяг засмоктуваної компресором пари (у точці 1), м³/кг.

7.Об'ємні витрати пари в компресорі (м³/кг)

$$V = M_{v_1} = \frac{Q_0}{q_v}. \quad (6.11)$$

8.Обсяг, описуваний поршнем компресора в одиницю часу (м³/с),

$$V_g = \frac{V}{\lambda}, \quad (6.12)$$

де λ — коефіцієнт подачі, визначений за графіком залежності

$$\lambda = f(p_k / p_0).$$

9. Теоретична потужність, або потужність, затрачувана в циліндрі компресора на адіабатичний стиск холодоагенту (Вт),

$$N_{теор.} = M(i_2 - i_3); \quad (6.13)$$

10. Індикаторна потужність, або потужність, що витрачена в циліндрі компресора (Вт),

$$N_i = \frac{N_T}{\eta_i}, \quad (6.14)$$

де η_i - індикаторний ККД, що характеризує енергетичні втрати від теплообміну в циліндрі і опору в клапанах при усмоктуванні і нагнітанні; визначаються за графіком залежності $\eta_i = f(p_k / p_0)$.

11. Ефективна потужність, або потужність на валу компресора (Вт),

$$N_e = \frac{N_i}{N_{мех.}} \quad (6.15)$$

де $\eta_{мех}$ - механічний ККД (для великих безкрейцкопфних компресорів 0,82..0,92, для малих і середніх хладонових компресорів 0,84..0,97).

12. Теплове навантаження на конденсатор (кВт):

теоретична (з урахуванням переохолодження рідини в конденсаторі)

$$Q_k = M(i_2 - i_3); \quad (6.16)$$

дійсна:

$$Q_k = Q_0 + N_i. \quad (6.17)$$

Площу поверхні конденсатора розраховують по дійсному тепловому навантаженню.

6.4. Проєкт холодозабезпечення холодильних підприємств з двоступеневою холодильною машиною.

Проєктні дослідження розпочнемо з вивчення принципу роботи вузлів компресорів двоступеневого стиснення [8,9,10]. На рис. 6.4 наведена схема вузла двоступеневого стиснення. Вона складається з двох одноступінчатих компресорів. У даній схемі застосована проміжна судина 4 з змійовиком для охолодження рідкого холодоагенту.

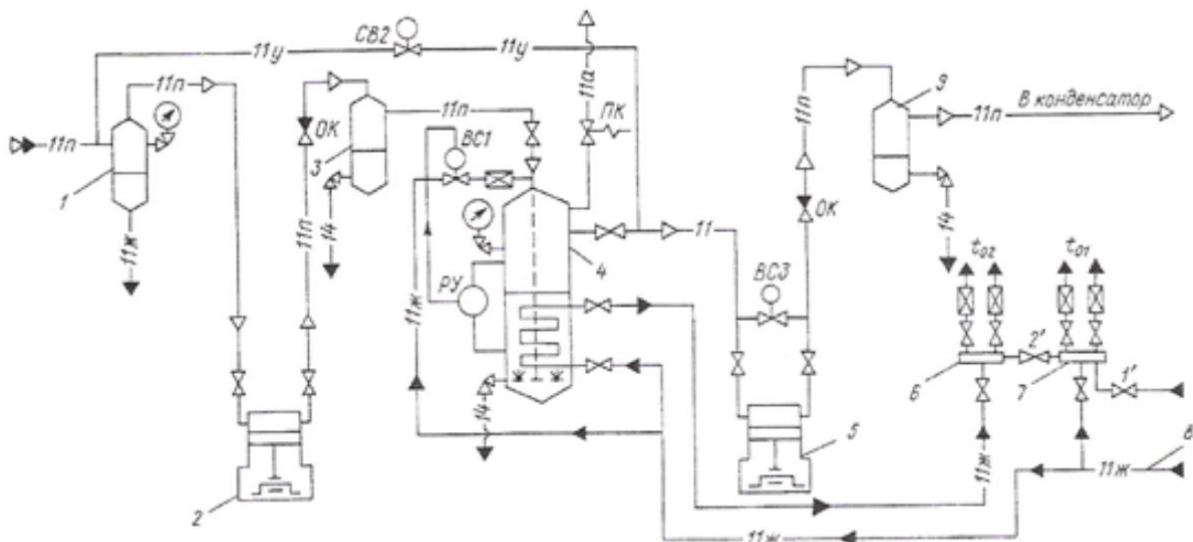


Рисунок 6.4. - Вузол компресорів двоступеневого стиснення: 1 - відділювач рідини; 2 - компресор шаблі низького тиску; 3, 9 - мастиловіддільники; 4 - проміжний посуд, 5 - компресор шаблі високого тиску; 6, 7 - колектори; 8 - рідинна лінія; 1', 2' - запірні вентиля

Енергетичні показники схеми з таким проміжними судинами нижче показників схеми з проміжним судинами без змійовика через те, що рідина в змійовику охолоджується не до температури, відповідної проміжного тиску, а виявляється на 3-5 К вище цієї температури. У процесі проектних досліджень проєкт зі змійовиковою проміжною судиною має важливі практичні цінності, а саме:

1. Рідкий холодоагент надходить у змійовик проміжної судини, охолоджується в ньому, не стикаючись з киплячою рідиною в судині 4, завдяки чому не забруднюється мастилом, що приносяться паром з компресора ступені низького тиску 2.

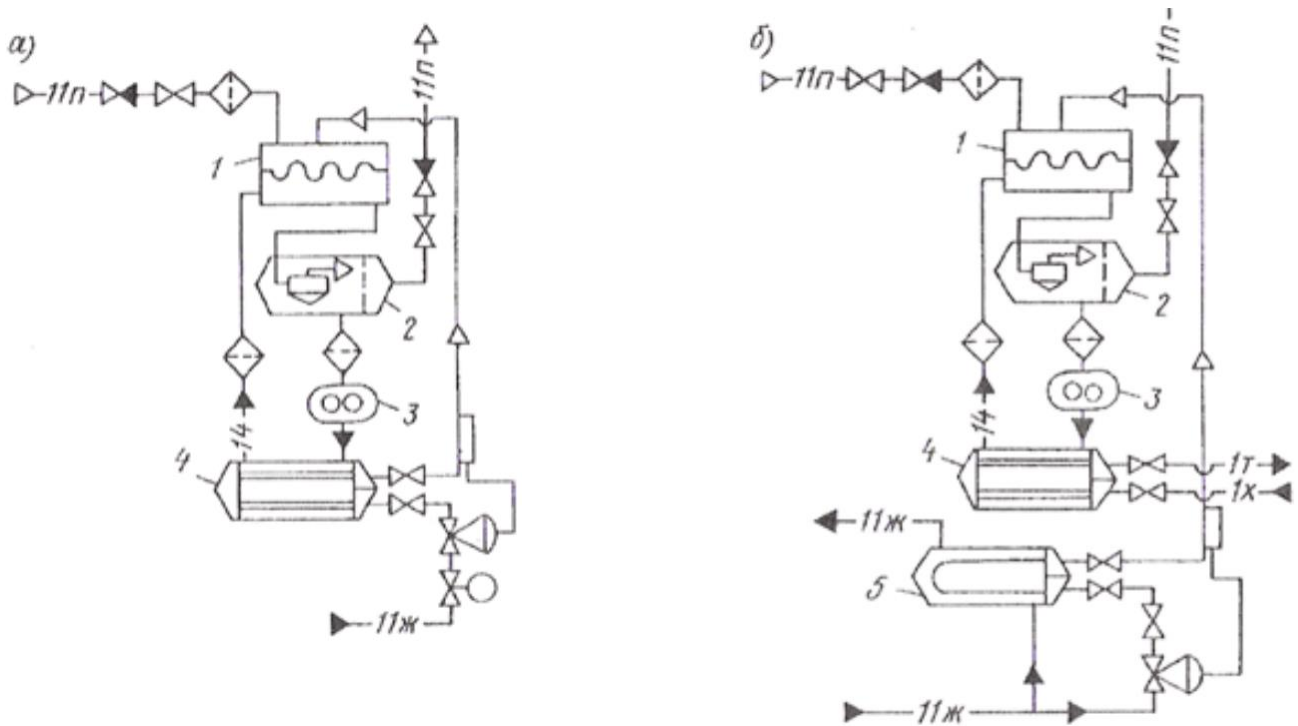
2. Рідина в змійовику знаходиться під тиском конденсації, тобто під напором, достатнім для подачі в випарники і охолоджуючі прилади, що знаходяться у верхніх поверхах будівлі або приміщеннях, значно віддалених від машинного відділення. У проміжній судині без змійовика рідкий холодоагент знаходиться під проміжним тиском, і цей тиск іноді (особливо в зимовий час) виявляється недостатнім для подачі рідини в зазначені вище приміщення. На деяких старих підприємствах з цієї причини застосована менш економічна схема одноступінчатого дроселювання. Між компресором ступені низького тиску і проміжною судиною доцільно передбачати масловіддільник 3, так як це не тільки звільняє проміжну судину від невластивих йому функцій масловідділення, але і оберігає поверхню змійовика від замащування і тим самим від погіршення теплообміну через неї. На нагнітальному боці компресора ступені високого тиску встановлюють свій масловіддільник 9. На установках, виконаних по розглянутій схемі, рідкий холодоагент з конденсатора або лінійного ресивера надходить по лінії 8, і частина його подається до колектора 7 регулюючої станції для роздачі споживачам високих температур кипіння, що входять в систему одноступінчатого стиснення. Інша її частина направляється через автоматичний регулятор (РУ і СВ1) безпосередньо в проміжну судину для охолодження пара, що нагнітається компресором ступені низького тиску 2, і для охолодження рідини, що протікає по змійовику. Велика частина рідини направляється в змійовик, де і охолоджується до температури, близької до проміжної температурі. Для того щоб не відбулося змішання потоків рідини з різними температурами, холодоагент після змійовика направляється до окремого колектору 6 регулюючої станції для роздачі по низькотемпературним об'єктам, охолоджуваним системою двоступеневого стиснення. Залежно від числа ступенів охолодження рідини необхідно мати відповідне число колекторів на регулюючої станції.

Колектор 7 забезпечений вентилем 1' для зарядки і поповнення системи холодоагентом. Обидва колектора 6 і 7 з'єднані мостом з вентилем 2', що дозволяє в разі потреби живити колектор 6 рідиною вищої температури, а також додавати рідину для поповнення системи низьких температур. Для забезпечення безпечних умов пуску компресорів тиск у проміжному посудині повинен бути знижений до тиску в випарної системі (для полегшення їх подальшого пуску і виключення можливості гідравлічного удару з-за скипання рідини в проміжному посудині). Тому соленоїдні вентиля СВ2 і СВ3 повинні

відкриватися при зупинці компресорів ступенів низького і високого тисків для зниження тиску в проміжній судині і всіх трубопроводах до зворотного клапана, встановленого на нагнітальній лінії компресора щаблі високого тиску 5. Відразу після пуску компресорів ці вентиля закриваються.

При використанні гвинтових компресорів з'являються додаткові можливості для реалізації циклу двоступеневого стиснення в одноступінчастому компресорі з відбором пари проміжного тиску.

У гвинтовому компресорі, на відміну від поршневого, процес стиснення розподілений по довжині гвинта. Іншими словами, при фіксованому тиску всмоктування кожному перетину по довжині циліндра відповідає певне значення внутрішнього тиску стиснення. Це дає можливість виявити по довжині циліндра точку, тиск в якій буде дорівнювати проміжному. Якщо до цієї точки підвести пар при проміжному тиску, то з'являється можливість здійснення двоступеневого стиснення в одному циліндрі. Подібна схема включення гвинтового компресора отримала назву схеми «економайзер». При цьому холод, вироблений при проміжній температурі кипіння, може використовуватися для різних цілей. На (рис. 6.5а) наведена проєкт «економайзер» (з проміжним підсмоктуванням пара), використовувана в окремих випадках для гвинтових компресорів холодильних установок, що працюють з конденсаторами повітряного охолодження. У цьому варіанті, щоб не споруджувати градирню і систему водопостачання для цілей охолодження мастила, використовують рідкий холодоагент, що подається в маслоохолоджувач 4 з лінійного ресивера і киплячий в ньому при проміжному тиску. Пар, з температурою кипіння t'_0 всмоктується тим же компресором, що працює за схемою «економайзер». На (рис. 6.5б) наведений проєкт схеми включення гвинтового маслозаповненого одноступінчатого компресора за схемою «економайзер», що забезпечує фактично двоступеневе дроселювання з проміжним відбором пари. У цьому випадку холодильник мастила 4 охолоджується водою, проте в схему включено ще один додатковий апарат - переохолоджувач рідкого холодоагенту 5, що виконує роль проміжної судини без охолодження пари. У цьому апараті основний потік рідкого холодоагенту, що направляється до регулюючого вентиля, охолоджується за рахунок кипіння частини потоку в трубному просторі цього теплообмінника. Утворений при кипінні пар з проміжною температурою t'_0 всмоктується компресором, що працює за схемою «економайзер».



**Рисунок 6.5. – Проєкт «економайзер» включення гвинтового компресора:
 1 - гвинтовий компресор; 2 - мастиловіддільник; 3 - шестерний насос;
 4 - мастилоохолоджувач; 5 - переохолоджувач**

Наведений варіант дозволяє підвищити ефективність одноступеневого циклу, фактично прирівнявши її до ефективності двоступеневого циклу за рахунок проміжного відбору пари і зменшення дросельних втрат завдяки переохолодженню рідкого холодоагенту. У процесі виконання проєкту необхідно знати те, що при застосуванні відцентрових компресорів можливо вносити деякі зміни в схеми, так як вони в одному корпусі мають число коліс, як правило, більше одного і таким чином є багатоступеневими компресорами. Так, при відношенні тисків конденсації і кипіння, при якому ще застосовують одноступінчасті поршневі або гвинтові компресори, використання відцентрового компресора дозволяє застосувати схему з охолодженням рідини багаторазовим дроселюванням і проміжним відбором пари. Це, перш за все, зменшує енергетичні втрати, що особливо важливо в хладонових установках, оскільки в них велика роль цього виду втрат.

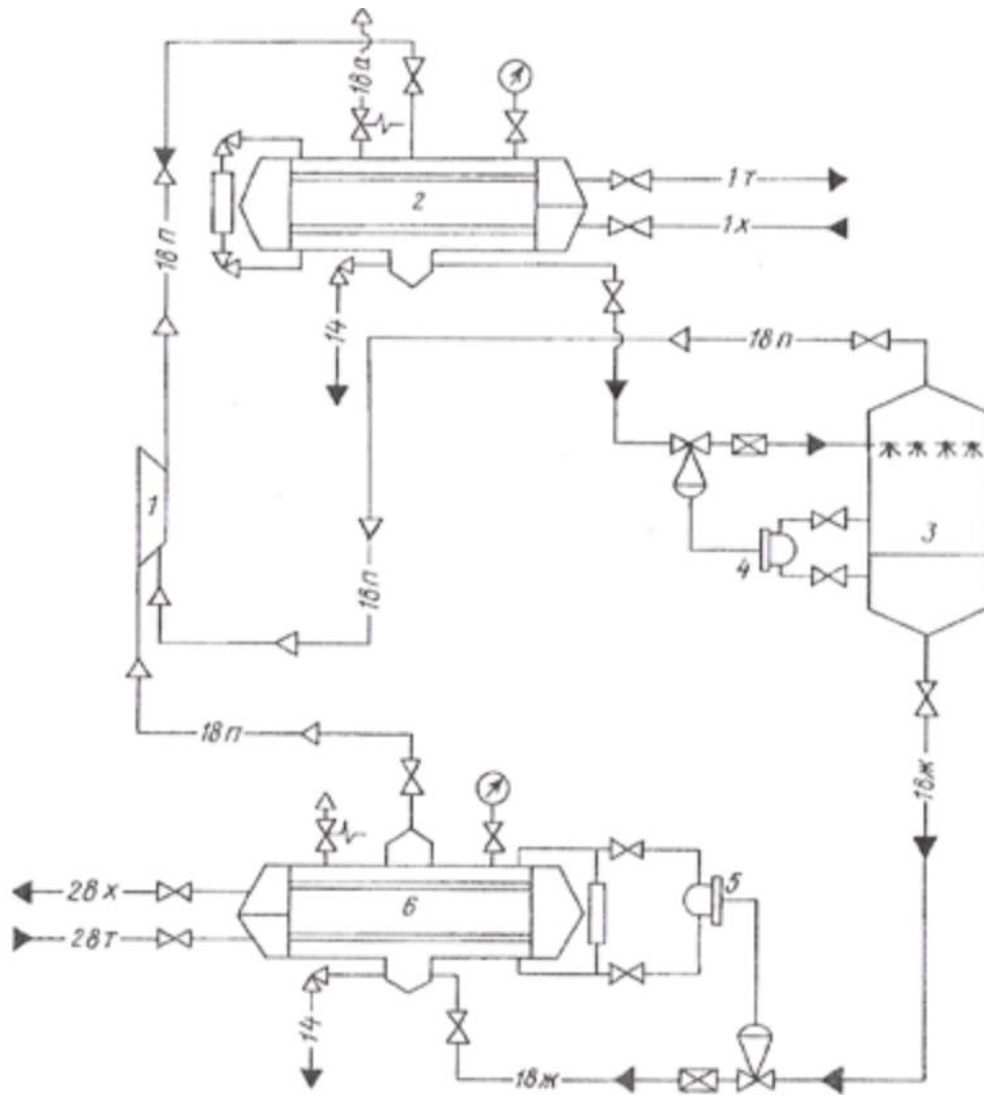


Рисунок 6.6. – Проєкт включення відцентрового компресора з двоступеневим дроселюванням: 1 - відцентровий компресор; 2 - конденсатор; 3 - елімінатор рідини; 4, 5 - поплавкові регулятори рівня; 6 – випарник

На (рис. 6.6) наведена схема з двоступеневим дроселюванням. Рідина з конденсатора 2 надходить на перше дроселювання через поплавковий регулятор непрямої дії 4 в елімінатор рідини 3. Рідина, що поступила дроселюється вдруге в поплавковому регуляторі непрямої дії 5, після чого направляється у випарник 6. Пар, що утворився при першому дроселюванні всмоктується в порожнину середнього колеса відцентрового компресора 1 і, змішуючись з перегрітою парою, що виходить з попереднього колеса, здійснює проміжне охолодження, що також вигідно, оскільки зменшує роботу, яка затратилась на стиск пари в наступних класах. Порівняльні розрахунки показують, що збільшення числа ступенів дроселювання більше трьох не викликає істотного додаткового поліпшення енергетичних показників циклу турбокомпресорної холодильної машини

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. За яким циклом працює холодильна машина, якщо теплота від навколишнього середовища передається джерелу з більш високою температурою T_d ?
2. Охарактеризуйте термодинамічні процеси та зворотний цикл.
3. Яким коефіцієнтом характеризується термодинамічна ефективність?
4. Розновити холодильних циклів у $T-s$ діаграмі.
5. В основі якого циклу лежить принцип дії холодильних машин
6. Залежно від якого способу розрізняють холодильні машини.
7. Назвіть основні елементи компресорних холодильних машин.
8. Опишіть роль одноступеневих компресорних машин в системі виробництва холоду.
9. Яку величину називають питомою масовою холодопродуктивністю?
10. Охарактеризуйте цикл процесу ізентропного розширення в детандері при проектуванні холодильних систем.
11. Поясніть явище при якому в компресорі відбувається гідравлічний удар. Запропонуйте свій варіант пристрою захисту від гідравлічного удару.
12. Назвіть основні способи скорочення необоротних втрат пов'язаних зі стисканням робочої речовини в компресорах.
13. Охарактеризуйте причини переходу до багатоступеневого стискання при проектуванні холодильних систем.
14. Охарактеризуйте ті параметри, за рахунок яких починають проектування і розрахунок холодильних машин.
15. Поясніть суть зворотного циклу Карно.
16. За рахунок якої роботи парового компресора здійснюється робочий цикл.
17. Чому найбільш поширеним типом компресорних машин є одноступеневі холодильні машини?
18. Вкажіть інтервал температур, в яких працюють одноступеневі холодильні машини.
19. Яка головна риса одноступеневих холодильних машин?
20. В чому полягає різниця між теоретичним циклом парової холодильної машини і реальної?
21. Чому енергетичні показники схеми з проміжними судинами нижче показників схеми з проміжним судинами без змійовика?

Тести:

Тест 1. У холодильній практиці широко застосовують поверхневі повітроохолодники – це: а) апарати, в трубах яких кипить холодоагент; б) апарати з проміжним холодоносієм; в) апарати з охолодженою поверхнею, повітря безпосередньо стикається з холодоносієм; г) апарати змішаного типу, в середині трубок яких кипить холодоагент.

Тест 2. Живлення багатосекційних випарників з верхньою подачею холодоагента здійснюють за допомогою: а) рідинного трубопроводу і теплообмінника; б) ТРВ із зовнішнім вирівнюванням та розподільником;

в) випарника і всмоктувального трубопроводу; г) розподільників та секції випарників.

Тест 3. Випарник рециркуляційний – це: а) затоплений випарник, який має сепаратор для відділення парів від рідини; б) апарат в якому невиварений холодоагент повертається на вхід у випарник; в) апарат в якому холодоагент за рахунок сили тяжіння або за допомогою насоса, або ежектора повертається на вхід системи; г) випарник подібний до конструкції пластинчатого.

Тест 4. Цикл термодинамічний – це: а) цикл зміни станів процесів охолодження; б) цикл зміни станів холодопостачання; в) термодинамічний процес в якому, кінцевий стан системи співпадає з початковим, г) ваша відповідь.

Тест 5. У гвинтовому компресорі, на відміну від поршневого, процес стиснення розподілений: а) по довжині гвинта; б) при фіксованому тиску; в) по корпусу компресора; г) ваша відповідь.

Тема 7. Основи проектування торгівельного та технологічного холодильного обладнання супермаркетингу

7.1. Характеристики холодильного обладнання

Торговельним холодильним обладнанням називають малі охолоджувальні пристрої, що призначаються для короткотермінового зберігання, демонстрації і продажу швидкопсувних товарів. До них належать збірні холодильні камери, холодильні шафи, охолоджувальні вітрини закритого та відкритого типу, холодильні прилавки, прилавки-вітрини, гірки, бонети. В кожному супермаркетингу є холодильні камери для мяса великої рогатої худоби для виробництва продукції на власних технологічних лінійях (супермаркетинги АТБ).

Однією з найважливіших груп обладнання будь-якого торговельного магазину, супермаркету чи закладу громадського харчування є холодильні камери, призначені для зберігання товарного запасу

Торговельне холодильне обладнання класифікують:

- за способом охолодження — з машинним, льодосоляним, сухольодовим охолодженням;

- за температурним режимом — середньотемпературне (для охолодження продуктів) з температурою в охолоджуваному об'ємі від 0 до 8°C; низькотемпературне (для заморожених продуктів) з температурою в охолоджуваному об'ємі не вище ніж -18°C;

- за кліматичними зонами використання — для південного (температура навколишнього повітря 16—43°C) і помірного клімату (температура навколишнього середовища 16—32°C);

- за методами використання — для підприємств з продавцями, для магазинів самообслуговування, для торговельних автоматів;

- за розміщенням агрегату — з вбудованим холодильним агрегатом, з відокремленим холодильним агрегатом, з централізованим холодопостачанням.

Важливим чинником, що впливає на ефективність роботи компресорного холодильного обладнання, є його енергоефективність. Оцінка енергоефективності холодильної системи за основною ознакою, тобто зниження енерговитрат, проводиться або методом емпіричних залежностей (наприклад, шляхом порівняння реальних холодильних коефіцієнтів), або із залученням сторонніх експертів.

Для досягнення енергоефективності проєктованих або діючих холодильних установок супермаркетингів необхідно обов'язкове проведення

експертної оцінки компресорного обладнання і його компонування для забезпечення оптимальності співвідношення холодопродуктивності і енерговитратності (основних експлуатаційних характеристик).

Обладнанню, в залежності від рівня споживання енергії, присвоюється клас енергетичної ефективності. Існують «Правила визначення виробниками та імпортерами класу енергетичної ефективності товару та іншої інформації про його енергетичну ефективність». Згідно з цими правилами, встановлені класи і характеристики для холодильного обладнання. Найбільшою енергетичною ефективністю володіють прилади класу А + і А ++.

EER – індекс енергетичної ефективності при роботі на охолодження. Вказує на відношення холодопродуктивності (Q_x) при найвищому навантаженні до використовуваної потужності ($N_{\text{спож.}}$). Визначається формулою:

$$\text{EER} = Q_x / N_{\text{спож.}} \quad (7.1)$$

Існуючі показники енергоефективності холодильного обладнання, що визначають при сертифікаційних випробуваннях обладнання, не можуть характеризувати енергоефективність всієї системи холодозабезпечення для конкретного об'єкта (з урахуванням профілю теплового навантаження та інших особливостей).

Енергоефективність системи холодопостачання пропонується оцінювати показником річної енергоефективності EP, що розраховується за формулою:

$$\text{EP} = (Q_x + Q_T) / Q_{\text{сл.}} \quad (7.2)$$

У світовій практиці виробники торговельного холодильного обладнання позначають буквенно-цифровою індексацією. Початкові букви становлять назву обладнання ПХС (П — прилавок, Х — холодильний, С — середньотемпературний), перша цифра після тире — розміщення агрегату (1 — вбудований агрегат, 2 — винесений агрегат), наступні цифри — номінальний внутрішній об'єм, м³; південне використання — Ю, середньотемпературне — С, низькотемпературне — Н. Наприклад, КХС-2-6 — камера холодильна середньотемпературна з окремо розміщеним холодильним агрегатом, номінальним внутрішнім об'ємом 6 м³ для районів з помірним кліматом. Розглянемо більш детально загальні характеристики збірно-розбірних холодильних камер, принципи їх розміщення в закладах торгівлі та громадського харчування.

Камера КХС-6 (рис. 7.1) має одне відділення. Камеру КХС-12 промисловість випускає в двох варіантах: з двома однаковими відділеннями, розділеними глухою перегородкою (кожне відділення має свої двері), і з одним відділенням (без перегородки) і одними дверима. Охолоджувальні камери, мають випарник по обидва боки камери або в середині її. Камера КХС-18Б складається з двох відділень, розділених глухою перегородкою, і у кожного відділення є свої двері.

Камери обладнані стелажми з решітчастими знімними полицями для розміщення дрібних продуктів, вішалками для м'ясних туш і напольними ґратами для розміщення продуктів у тарі. Кожна камера охолоджується окремими компресорно-конденсаторними агрегатами. Випаровувачі холодильної машини розміщують у камері над полицями. Під випаровувачами встановлюють піддони для збору конденсату.

Камера-склад може бути облаштована системою сигналізації: пожежною, аварійною і "людина в камері".

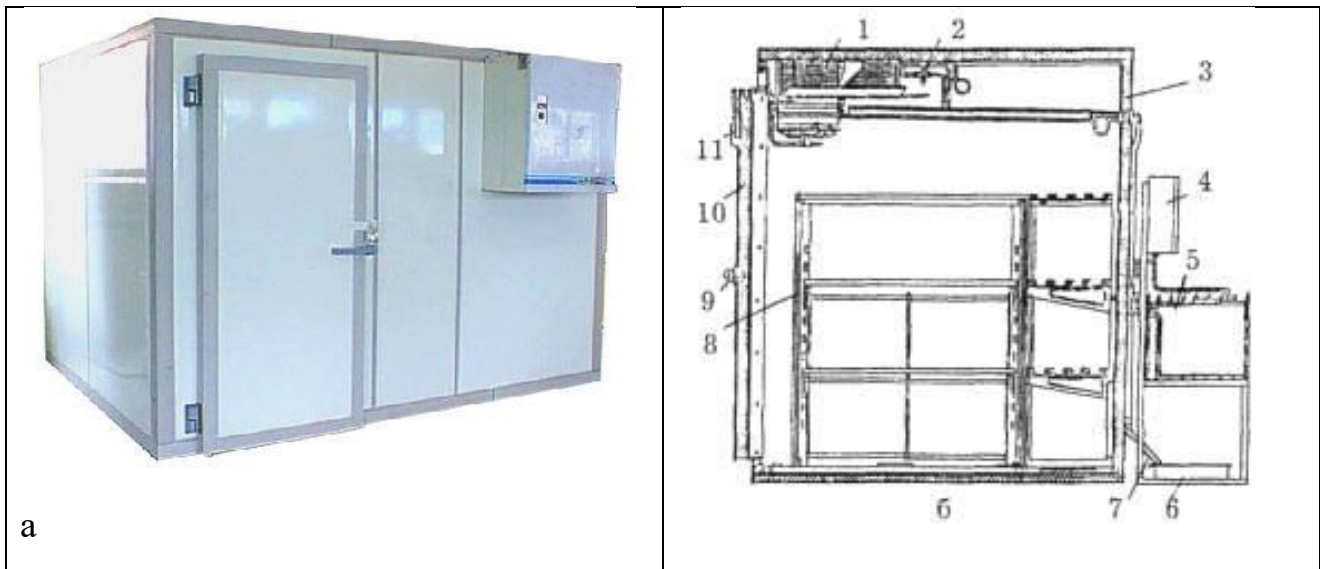


Рисунок 7.1 - Середньотемпературна камера КХС-2-6М

а — загальний вигляд; б — розріз; 1 — повітроохолоджувач;
 2 — терморегулюючий вентиль; 3 — панель огороження;
 4 — шафа електрообладнання; 5 — холодильний агрегат; 6 — посудина для збору талої води; 7 — трубка для відведення талої води; 8 — стелаж для харчових продуктів; 9 — замок дверей; 10 — двері; 11 — пульт керування

Основними складовими холодильного обладнання, що забезпечують функціонування холодильної камери є холодильний агрегат і повітряохолоджувач (теплообмінник). Як правило, агрегат адаптований до умов помірного клімату, має продуману систему обслуговуючої сервісної і запірної арматури, що дозволяє грамотно обслуговувати холодильну установку.

На окремо змонтованих камерах-складах застосовується центральна система холодопостачання з безпосереднім кипінням холодоагенту в пристроях охолодження. Це дозволяє значно збільшити тривалість експлуатації компресорів і значно знизити споживання електроенергії.

Збірні камери КХС-6Ю і КХС-12Ю призначені для роботи в південних районах. Їх пристрій не відрізняється від пристрою камер КХС-6 і КХС-12, але вони укомплектовані більш потужними агрегатами. На відміну від інших камери КХС-2-6М, КХС-12Б і КХС-18Б мають фанерну обшивку зовнішньої поверхні щитів.

Збірна низькотемпературна камера КХН-1-8,0К призначена для зберігання заморожених продуктів. За конструкцією камера КХН-1-8,0К аналогічна камері КХС-1-8,0К. Відмінність полягає в тому, що на стелі розміщені дві холодильні машини МХНК-630, що працюють на R502. Холодильні агрегати встановлюють поза збірно-розбірними камер в безпосередній близькості від них.

Камера КХН-2-6См складається з охолоджуваного обсягу і машинного відділення. Охолоджуваний обсяг утворений панелями, що являють собою дерев'яні рами, облицьовані з обох сторін металевими листами. Простір між облицьовками заповнено теплоізоляційним матеріалом — пінопластом ПСБ-С -

теплоізоляція типу «Сендвіч». Для доступу в камеру передбачена двері, обладнані запором та замком.

Стационарні холодильні камери підприємств торгівлі і громадського харчування можуть розташовуватися в підвалах або на першому поверсі у вигляді окремого блоку. Вхід в камери здійснюється з тамбура, що дозволяє зменшувати притоки, що вносяться з повітрям при відкриванні дверей в камеру. Поряд з камерами розташовується машинне відділення»

Середньотемпературні камери і склади забезпечують зберігання продуктів при температурах від + 10°C до -5°C.

Холодильні камери для фруктів та овочів Камери тривалого зберігання фруктів та овочів. При проектуванні холодильних камер враховуються особливості приміщень, призначених для установки камер, даються необхідні рекомендації.

Низькотемпературні камери і склади забезпечують зберігання продуктів при температурах від -5°C до - 25°C.

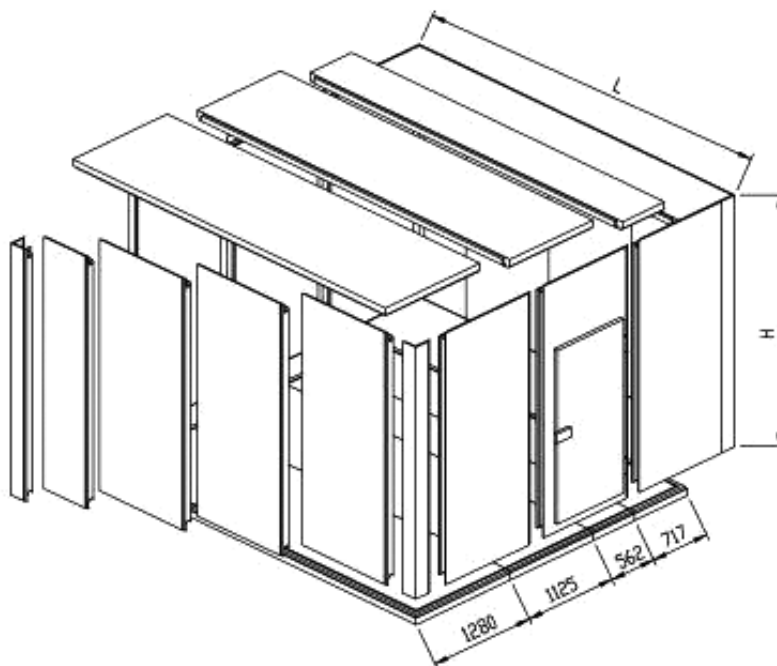


Рисунок 7.2. – Збірна холодильна камера

Швидкокомтовані збірні холодильні камери стандартного ряду (Рис. 7.2) з товщиною ізоляції 100 мм призначені для зберігання продуктів при низьких (від -18 ° С до -24 ° С) температурах.

Камери об'ємом від 1,9 м³ і висотою від 2,24 м збираються з готових замкових панелей за профілем «шип-паз» з кріпленням між собою стяжними замками, вмонтованими в ізоляцію.

Модульна конструкція дозволяє змінювати обсяг і форму камери шляхом додавання стандартних панелей з кроком 562 та 1125 мм. Кути камер утворюються за допомогою кутових елементів зі сторонами 175 мм.

До низькотемпературних камер належать наступні: КХН-6, КХН-9, КХН-12, КХН-18, КХН-24

За призначенням виділяють наступні низькотемпературні холодильні камери: камери-тунелі шокового заморожування; холодильні камери для продуктів харчування

Камери-тунелі шокового заморожування забезпечують швидке консервування продуктів при температурі до - 40°C.

Камери-тунелі шокового заморожування продуктів харчування призначені для швидкого заморожування: м'яса; м'яса пташиного; риби і рибного філе; субпродуктів; овочів, фруктів, грибів; різноманітних напівфабрикатів (пельмені, вареники, сардельки, млинці, пиріжки та ін.); морозива.

Продуктивність таких камер може бути від 200 до 1200 кг/год., в залежності від виду продукції, що заморожується і потужності холодильного обладнання.

В камерах шокового заморожування продуктів харчування використовують спеціальні повітроохолоджувачі "підлогового" типу, які забезпечують рівномірне обдування продукту охолодженим повітряним по всіх ярусах стелажа. Для більш інтенсивного процесу заморожування в камерах додатково використовують стельові повітроохолоджувачі.

7.2. Основи конструювання холодильних шаф.

Найважливішим видом торговельного холодильного обладнання є торговельні холодильні шафи, призначені для зберігання, демонстрації і продажу швидкопсувних товарів. Основні проєктні процедури при проєктуванні конструкції холодильних шаф полягають у визначенні концептуальних рішень щодо вибору марки шаф, типу та їх розміру.

Щодо робочих характеристик окремих модифікацій шаф головними ознаками є їх корисний об'єм, температурний режим, матеріал і конструкція дверей, кількість полиць і наявність підсвічування і вентиляторів в охолоджуваному обсязі.

Більшість пропонованих шаф з вбудованими холодильними агрегатами мають об'єм 160-1400 л.

На світовому ринку в основному пропонуються два види охолоджуваних шаф: середньо-і низькотемпературні.і демонструються - острівний варіант).

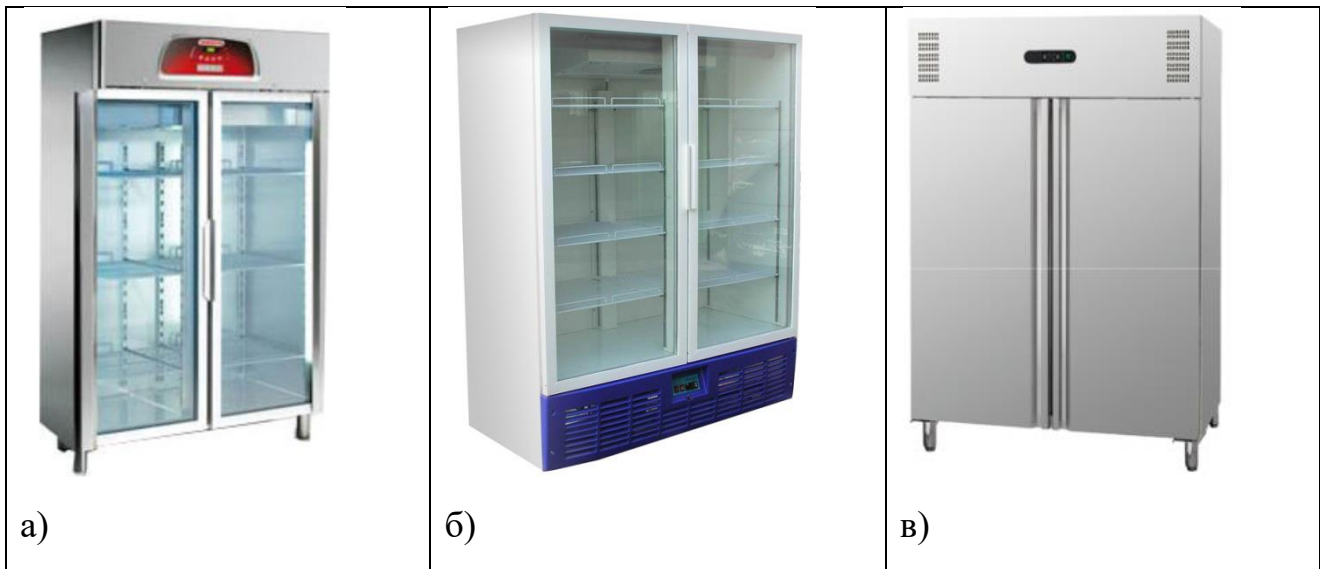


Рисунок 7.3. - Холодильна шафа

- а) з верхнім розташуванням агрегата, зі розпашними скляними (прозорими) дверима; б) з нижнім розташуванням агрегата, розсувними скляними (прозорими) дверима; в) з верхнім агрегатом; з глухими (непрозорими) металевими дверима.

У більшості шаф випарник конструктивно розташований під стелею шафи. Холодне повітря, маючи велику щільність, опускається до нижньої полиці шафи, охолоджуючи на своєму шляху продукти, які зберігаються в шафі. При такій природній циркуляції повітря в окремих моделях шаф перепад температур по висоті може доходити до декількох градусів. У маркуванні цих моделей шаф іноді використовуються літери St, що означає "природне охолодження".

Рівномірності охолодження по всьому об'єму шафи можна також досягти, застосовуючи особливу конструкцію полиць, ребрами жорсткості яких є трубки випарника. Недоліки цієї конструкції - жорсткість кріплення полиць і неможливість зміни відстані між ними».

За місцем розташування компресорно - конденсаторного агрегату розрізняють два варіанти: верхнє і нижнє. Не надаючи будь-якого впливу на температурний режим, місцерозташування агрегату зумовлює зручність обслуговування і ремонту, а також в деякій мірі довговічність і надійність.

Сучасні холодильні вітрини є необхідним елементом будь-якого магазину, кафе, бару. Вітчизняні та зарубіжні фірми поставляють на ринок різноманітне холодильне обладнання, яке відрізняється один від одного формою, розмірами, зовнішнім оздобленням. Часто зразки різних фірм схожі зовні, однак мають різну ціну, від прийнятною до вельми високою.

Ці моделі, як правило, функціонують за принципом природної циркуляції охолодженого повітря. "Шар" холоду (повітряний потік) в таких вітринах лежить на рівні випарника або трохи нижче, тобто вище на 10-20 см від поверхні лотків для викладення продуктів.

Перейдемо до аналізу конструкцій холодильних прилавоків і прилавки – вітрини

Холодильні прилавки використовують для короткочасного зберігання, демонстрації і продажу розфасованих та упакованих охолоджених і заморожених продуктів перед їх продажем.

Режими зберігання можуть бути ті ж, що і в холодильних шафах. Вони можуть бути з вбудованим або комплектуватися окремо вмонтовуваним холодильним агрегатом, а також підключатися до системи централізованого холодопостачання.



Рисунок 7.4. - Холодильный прилавок відкритого типу,+4...+8



Рисунок 7.5. - Холодильный прилавок відкритого типу,+4...+8

Холодильні прилавки можуть складатися з декількох секцій, що з'єднуються торцевими сторонами на місці установки. Зовні кожна секція облицьована сталевими листами, покритими білою емаллю, всередині – алюмінієвими. Між облицюваннями покладений пінопласт, що виконує роль теплоізоляції.

Холодильні прилавки - вітрини - це комплексне обладнання, яке складається з прилавка, в якому зберігається запас продуктів, і вітрини, встановленої на прилавку і служить для демонстрації і продажу продуктів. Холодильні прилавки - вітрини займають значний сегмент всього ринку торгового холодильного обладнання.

Холодильне обладнання з виносним агрегатом зручно використовувати для великих супермаркетів, оскільки до одного такого агрегату можна підключити декілька одиниць обладнання, що дозволяє скоротити енергоспоживання. Однак при централізованому холодопостачанні у разі виходу агрегату з ладу перестане працювати все обладнання, приєднане до нього. Таке обладнання не вигідно купувати невеликим магазинам або супермаркетам, для яких більш зручні прилавки - вітрини з вбудованим агрегатом.

Середньотемпературні прилавки - вітрини бувають з природною і примусовою вентиляцією охолодженого повітря. В останніх вентилятор рівномірно розподіляє повітря по всьому об'єму.



Рисунок 7.6. - Холодильний прилавок - вітрина

Вивчемо конструктивні можливості холодильні ларів

З урахуванням основних параметрів (об'єм, температурний режим, конструкція кришки) ларя умовно поділяються на два типи: морозильні та холодильні. Морозильні ларі призначені для зберігання заморожених продуктів та морозива, холодильні - для охолодження напоїв.

Типові моделі холодильних ларів показані на рис. 7.7.



Рисунок 7.7. - Холодильні ларі

Важливими деталями ларів є їх комплектуючі та аксесуари:

Холодильні гірки також є оптимальним рішенням для магазинів самообслуговування, але відмінно впишуться і в інтер'єр торгової точки великої площі. Дозволяють розміщувати велику кількість товарів, забезпечують легкий доступ. Випускаються в чотирьох модифікаціях: фруктові, м'ясні, гастрономічні і гірки для пресерв.

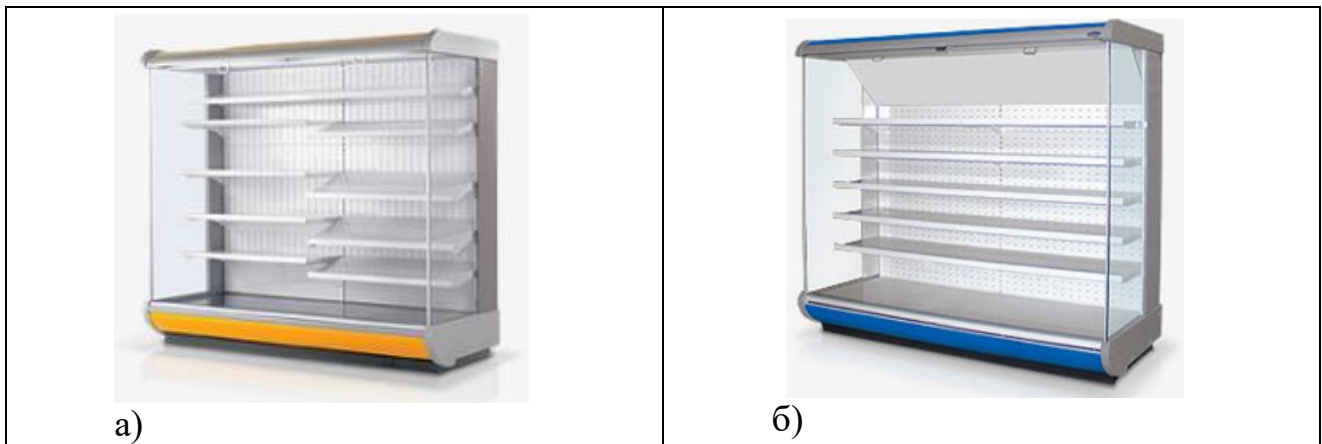


Рисунок 7.8. - Гірка гастрономічна/фруктова

7.3. Технологічне обладнання з системами холодозабезпечення процесів охолодження продуктів

До них віднесимо дефростаційні камери, які оснащені логічним управлінням. Дефростаційні камери, що використовують потоки повітря, теплову та холодильну техніку, дозволяють розморожувати і заморозувати упаковане м'ясо, рибу та інші продукти харчування в оптимальному і високо економічному режимі. Тільки цей метод дозволяє уникнути втрат у разі розмороження м'яса. Принцип виконання процесу дефростації постійно контролюється датчиками температури в м'ясі, на поверхні продукту, а також у камері.(див. рис.7., 6.21.)

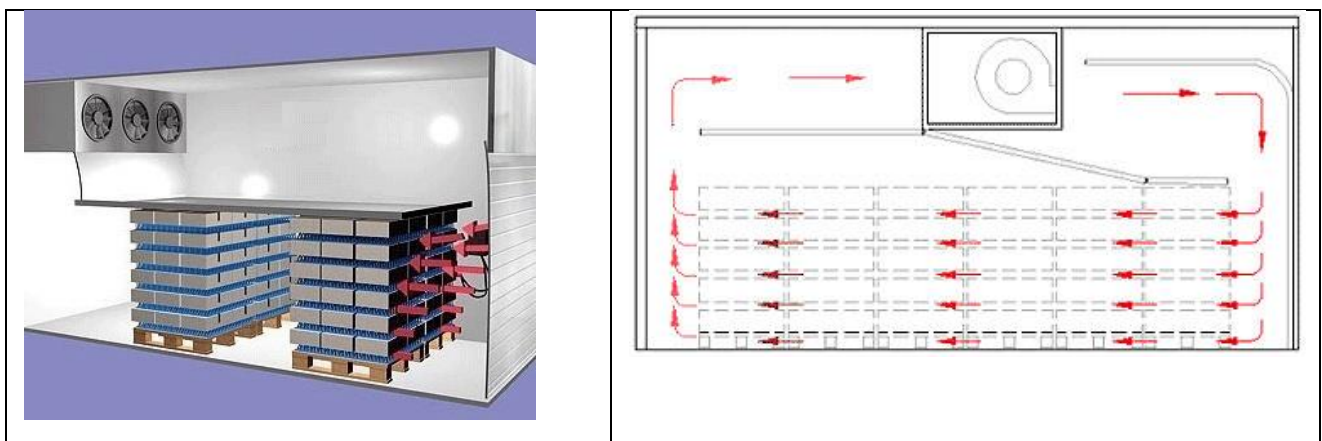


Рисунок 7.9. - Дефростаційно – морозильна камера з горизонтальною подачею потоку повітря.

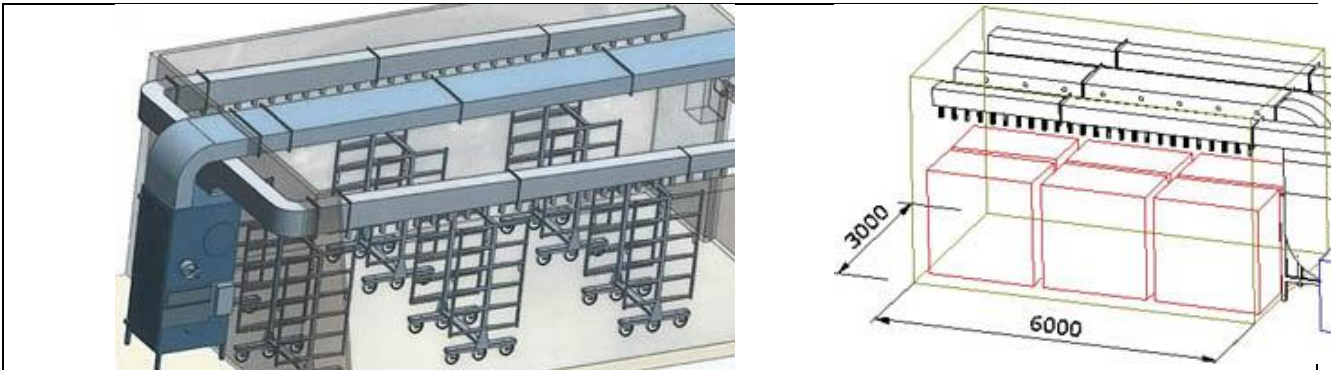


Рисунок 7.10.

Охолоджувач напоїв типу ВІН (рис. 7.11) складається з прозорих ємкостей (ОН-30-2 — дві ємкості по 15л; ОН-30-3 — три ємкості, одна на 15 л і дві по 7,5л) із знімними кришками для різних напоїв, кранів для їх видачі, машинного відділення і підставки для склянок (каплезбірника).

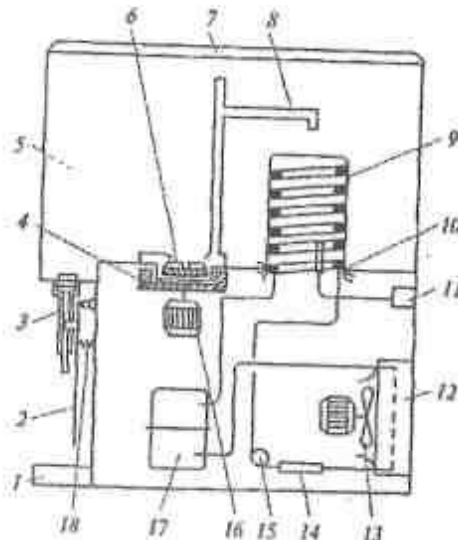


Рисунок 7.11 - Схема охолоджувача напоїв ОН-30-2:

1 — каплезбірник; 2 — важіль крана; 3 — трубка видачі напою;
 4 — магнітна муфта; 5 — ємкість; 6 — відцентровий насос; 7— кришка ємкості; 8 — трубка подачі напою; 9 — випарник; 10 — манжета; 11 — реле температури; 12 — конденсатор холодильної машини; 13 — вентилятор;
 14 — фільтр-осушувач; 15 — капілярна трубка; 16 — електродвигун насоса;
 17 — компресор; 18 — пружина.

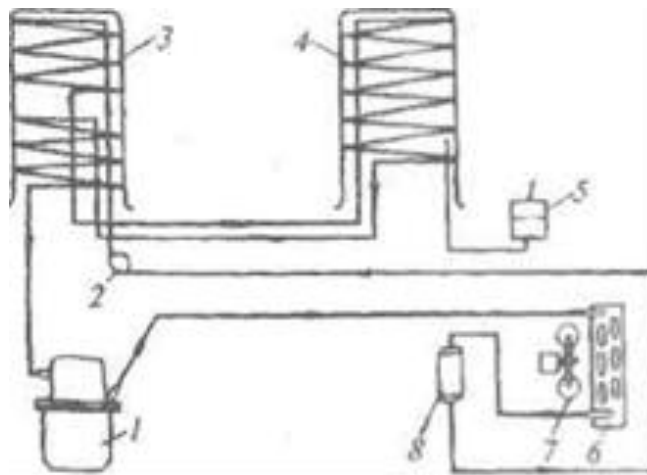


Рисунок 7.12 - Схема холодильної машини охолоджувача напоїв ВШ-30-2:

- 1 — компресор; 2 — капілярна трубка; 3,4 — випарники;
 5 — реле температури; 6 — конденсатор; 7 — вентилятор;
 8 — переохолоджувач

У машинному відділенні розміщена холодильна машина (рис. 7.12), що працює на хладоні, з герметичним однофазним компресором 1 і повітряним конденсатором 6, що обдувається за допомогою вентилятора 7. З конденсатора рідкий хладон проходить через фільтр-осушувач і, дроселює (пониження температури і тиску) в капілярній трубці 2, заповнює змієвик випарника 3, 4, який припаяний до циліндра. Поглинаючи теплоту соку, хладагент кипить, і його пара відсмоктується компресором. Всі з'єднання холодильної машини виконані паянням. При охолодженні соку в посудині до заданої температури термореле 5 термобалон який притиснутий до випарників 3 і 4, вимикає компресор, і електродвигун вентилятора конденсатора.

Охолоджувач соків та інших напоїв активаторного типу (рис. 7.13) складається з 3 прозорих ємкостей кожна з яких має місткість 5 л із знімними кришками для різних соків, кранів для видачі соків, машинного відділення і підставки для склянок.

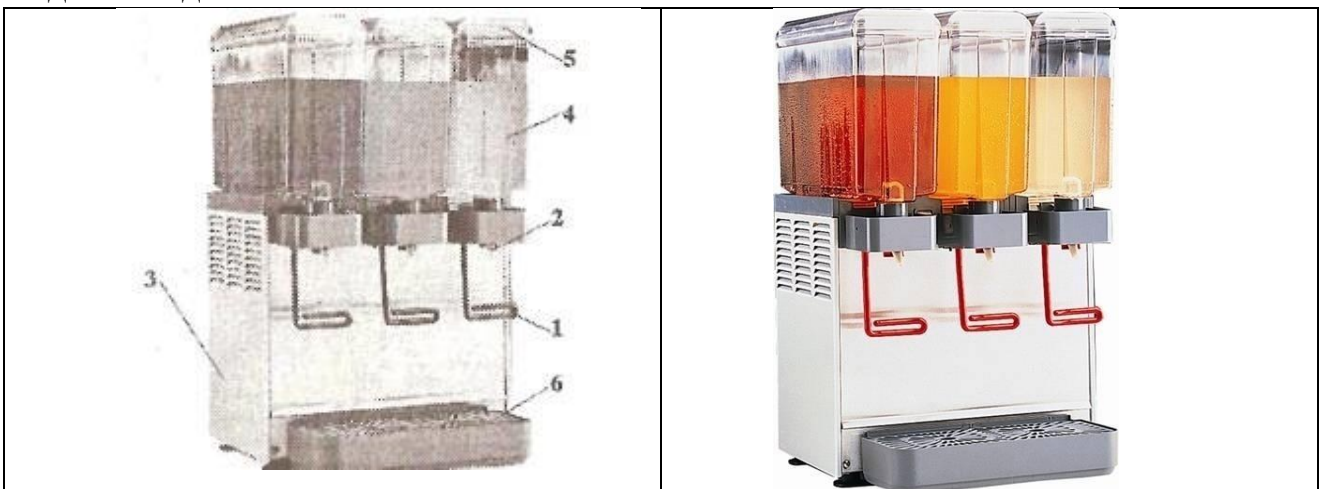


Рисунок 7.13 - Охолоджувач соків активаторного типу:

- 1.— важіль крана для видачі соку; 2 — трубка зливу соку; 3 — машинне відділення; 4 — ємкості для соку; 5 — кришка ємкості; 6 — підставка.

Льодогенератори. Льодогенератори призначені для виготовлення харчового льоду і підрозділяються на ті, що виробляють лускатий (безформний) лід, і ті, що формовані (кубиками, циліндрами, усіченими конусами). веде до поломок.

Льодогенератор ЛТ-50 (рис. 7.14) складається з двох блоків - відділень: для приготування льоду і машинного. В відділенні для виготовлення льоду у вигляді циліндриків поступає у ванну 13, а готовий лід зберігається в теплоізольованому бункері 14. У лівій частині ванни встановлений насос 3, частково занурений у ванну з водою. Над ванною 13 під ґратами 10 розміщена зрошувальна трубка з форсунками, яка з'єднує з нагнітальним патрубком насоса трубкою. Щоб запобігти попаданню у бункер води, що виходить з форсунок зрошувальної трубки у вигляді фонтанчиків, передбачена захисна шторка.

Над зрошувальною трубкою встановлений випарник 9 у вигляді прямокутної пластмасової ванни, в яку вставлені 56 порожнистих мідних пальців, з'єднаних між собою послідовно мідними калачами; всередині кожного пальця є вертикальна перетинка. Під випарником установлені похилі ґрати, 10, за якими лід скочується у бункер 14. Корпус відділення для приготування льоду теплоізольований. У машинному відділенні розміщені холодильний агрегат з теплообмінником 15 і електрощит.

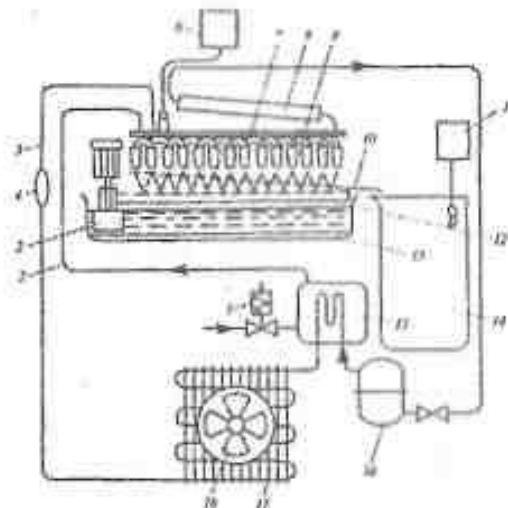


Рисунок 7.14 - Схема льодогенератора ЛТ-50:

- 1 — електромагнітний вентиль; 2 — трубка подачі води; 3 — водяний насос;
- 4 — фільтр-осушувач; 5 — капілярна трубка; 6 — реле температури випарника;
- 7 — ванни випарника; 8 — віддільника рідкого хладагенту; 9 — випарник;
- 10 — ґрати; 11 — реле температури бункера; 12 — колектор з форсунками;
- 13 — ванна водяного насоса; 14 — бункер для льоду; 15-тсплообменник;
- 16 — компресор; 17— конденсатор; 18 — вентилятор.

Таким чином, в цій частині посібника детально розглянуто експлуатаційні характеристики торговельного холодильного обладнання, що дає змогу при виконанні проектних робіт виокремити їх основні чинники, які впливають на холодопродуктивність компресорних установок, а також значно покращити їх робочі характеристики в умовах обмеження потужності енергосистеми.

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. Яку холодильну систему називають агрегатом?
2. Принцип дії герметичних холодильних агрегатів
3. Принципи проектування без сальникових холодильних агрегатів
4. Вкажіть інтервал температур в яких працюють гвинтові холодильні машини.
5. Яка головна риса блокових холодильних систем?
6. Який діапазон холодопродуктивності забезпечують компресорно-ресиверні холодильні агрегати на базі полугерметичних компресорів фірми Bitzer, що використовують холодоагент R22 або R404A?
7. Навести загальні характеристики збірно-розбірних холодильних камер, принципи їх розміщення в закладах торгівлі та громадського харчування.
8. В яких межах (температурних режимах) *низькотемпературні камери* і склади забезпечують зберігання продуктів харчування ?
9. Для яких цілей використовують холодильні прилавки в супермаркетингу.
10. Наведіть алгоритм роботи холодильної машини охолоджувача напоїв ВШ-30-2
11. Назвіть основні принципи проектування *охолоджувачів соків та інших напоїв* активаторного типу.
12. Сфери використання льодогенераторів в харчовій промисловості.

Тести:

Тест 1. Острівний прилавок ПХМ – 2 – 2 складається із: а) теплоізоляційної огорожі і вентилятора; б) одного випарника і теплоізоляційного піддону; в) полиці для продуктів; г) розподільних гротів, полиці світильника та реле температури.

Тест 2. Льодогенератори виробляють такі види харчового льоду: а) лише блочний, трубчасто – блочний і сніжно – блочний; б) плитний та трубчасто – плитний; в) малогабаритний - подрібнений, кусковий та пластинчастий; г) трубчастий, шарклубчастий, брикетний, кубовидний, розсипний – роздрібнений на малі частинки (подрібнений до снігоподібної маси або гранули) лускоподібний, сніговий.

Тест 3. Система холодопостачання ларів – це: а) частина загальної інженерної системи об'єктів цивільного і промислового призначення; б) холодопостачання – системи акумуляції холоду; в) системи постачання холоду і тепла одночасно; г) методи охолодження офісів, цехів, ресторанів.

Тест 4. За рахунок яких методів системи холодопостачання холодильних прилавоків є найбільш економічними: а) використання в системі холодопостачання і кондиціонування баків холодоакумуляторів; б) регулятори – системи економії електроенергії; в) акумулятори холоду; г) принцип зглаження виробництва холоду.

Тест 5. Холодильна установка охолоджувача соків– це комплекс до складу якого входять: а) холодильні машини, трансформатори, компресори, торгівельне обладнання з метою використання штучного холоду в

технологічних процесах харчової промисловості; б) ряд технічних пристроїв, які виробляють холод і, які використовують для акумулювання, транспортування та зберігання вторинних енергоресурсів; в) холодильний ланцюг, ланки якого забезпечують необхідні температурно – вологові режими для холодильної обробки, зберігання, транспортування і реалізації продуктів харчування; г) холодильні машини, апарати та споруди, призначені для одержання, транспортування та використання штучного холоду в технологічних процесах харчової, хімічної, металургійної, гірничої, медичної та інших галузей промисловості;

Тест 6. Система охолодження продуктів харчування - це: а) та частина холодильної установки, яка розміщена між регулювальним вентилем та всмоктувальним патрубком компресора; б) та частина холодильної установки, яка забезпечує розподіл робочої речовини; в) та частина холодильної установки, яка слугує для надійного підтримання заданого технологічного режиму; г) та частина холодильної установки, яка забезпечує безпеку експлуатації.

Тест 7. Джерело холоду – це: а) речовина або середовище, яке поглинає тепло; б) у термодинамічному сенсі: тіло з більшнижчою ніж навколишнє середовище, температурою; в) холодильна установка, яка виробляє холод; г) морозильник, який забезпечує холодом підприємство.

Частина 4. Проектування енергоефективних технологій виробництва холоду

Тема 8. Проектування сучасних холодоносіїв

8.1. Сучасні холодоагенти промислових холодильників

Спочатку розглянемо принципи оцінки проектних рішень при переведенні холодильного обладнання на сучасні холодоагенти. Для цього виконаємо вибір безпечного холодильного агента на основі аналізу процесу прийняття рішення, щодо мінімізації впливу холодильних агентів на довкілля [9,10,20].

Широкі можливості при прийнятті рішення з урахуванням ієрархічності екологічних цілей, а також змінних пріоритетів дозволяє використати адитивні функції і апріорно-апостеріорні процедури. Переваги використання адитивних функцій пов'язані з можливістю притягнення результатів експертизи, що є одним з ефективних методів зняття невизначеності, пов'язаною з незіставленістю альтернатив за різними показниками екологічної небезпеки. З іншого боку, адитивні функції допускають рішення, основане на формальній моделі задачі, яке не залежить від відсутніх в цій моделі факторів [9,10,11,20]. Частковим випадком адитивної функції є принцип рівномірної оптимальності:

$$U(r) = \sum_{i=1}^n (u_i(r) - u_i^{\min}) / (u_i^{\max} - u_i^{\min}) = \sum_{i=1}^n \lambda_i u_i(r) - \sum_{i=1}^n \lambda_i u_i^{\min}, \quad (8.1)$$

де $U(r)$ – узагальнена оцінка небезпеки, $u_i(r)$ – частковий критерій екологічної небезпеки, який відображує i -й фактор ризику; $\lambda_i = \frac{1}{u_i^{\max} - u_i^{\min}}$ – шкалуєча константа.

Для урахування змінювання пріоритетів у процесі прийняття рішення функцію небезпеки можна надати в більш повному вигляді, шляхом формування додаткових компонент $v(u) = \sum_{i=1}^n v_i(u_i)$ функції небезпеки.

Урахувати значущість окремих показників при оцінці небезпеки холодоагентів можливо шляхом представлення компоненти функції небезпеки у вигляді вагових коефіцієнтів $v(u^P) = \sum_{i \in P} \lambda_i$. Одним з методів визначення λ_i є ранжирування профілів функції небезпеки, для чого необхідний попередній аналіз пріоритетів. Вагові коефіцієнти λ_i критеріїв небезпеки у загальному випадку залежать від екологічних цілей і визначаються в залежності від їх умовних вагових функцій

$$\lambda_i = \lambda (\{P_2\}/P_1) \lambda 2\lambda 1(P_2), \text{ де } P_1 \text{ і } P_2 \quad (8.2)$$

– екологічні цілі різних ієрархічних рівнів. Ранг цілі встановлюється на підставі існуючих міжнародних угод, нормативних актів, державних стандартів. Широко використовуються також експертні оцінки.

У якості оціночного функціоналу, який дозволяє здійснити ранжирування екологічних цілей, може бути використаний критерій Байєса $W_i = \sum_{j=1}^n \zeta_{ij} \xi_j$, де ζ_j

– ступінь переваги j -ї речовини з точки зору екологічних наслідків, які відповідають i -й цілі, що оцінюється рангом ζ_{ij} .

Значення ζ_j визначаються за умови максимуму ентропії Шеннона

$$H = -\sum_{j=1}^m \zeta_j \ln \zeta_j \rightarrow \max_{\zeta_i} \quad \text{або} \quad \text{функції} \quad \text{невизначеності} \quad \text{другого} \quad \text{роду}$$

$$H_2(\zeta) = \prod_{j=1}^f \zeta_j^{(m-j+1)k_j} \rightarrow \max_{\zeta_i} \quad (8.3)$$

за умови $\sum_{j=1}^f k_j \zeta_j = 1$, де k_j – вагові коефіцієнти критеріїв екологічної небезпеки

визначаються за відношенням величин, зворотних критерію Байеса.

Зіставлення результатів розрахунку за різними моделями показало незначну різницю між значеннями як λ_j так і ζ_j . Отже, одержані результати можна вважати статистично стійкими.

Сумісний облік прямих і посередніх екологічних наслідків можна здійснити на підставі поняття екологічної досконалості холодильного агенту:

$$\eta_{eco} = d_{i0} / d_i = a_q q_1 / \left(\sum_{i=1}^n a_i \chi_i + \sum_{i=1}^n a_i \psi_i + (\beta + l_{ad}) \sum_{i=1}^n a_i \zeta_i \right),$$

$$\eta_{es} = \eta_e / [b_1 + 1 / (b_2 \cdot \varepsilon_s + \varepsilon / \varepsilon_s)], \quad (8.4)$$

де η_{eco} , η_{es} – ступінь екологічної досконалості одноступеневого теоретичного і ускладненого циклів з даним холодоагентом; d_{i0} , d_i – питомі екологічні наслідки зразкового генератора холоду та такого, що працює по теоретичному одноступеневому циклу; l_{ad} – питома адіабатна робота стиску; q_1 – питоме відпрацьоване тепло екологічно зразкового аналогу; ε , ε_s – холодильний коефіцієнт теоретичного і ускладненого циклів; a_q , a_i – функції відгуку на теплове забруднення та на емісію i -ї небезпечної речовини; i – прямі скиди тепла і небезпечних речовин; ψ_i – приведені посередні скиди i -ї небезпечної речовини при виробництві витрачених матеріалів та енергії; η_e – приведені питомі витрати енергії на виробництво витрачених матеріалів; n – розрахункове число каналів впливу на природне середовище;

$$b_1 = 1 / \left[1 + \left(\beta \sum_{i=1}^n a_i \zeta_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n a_i \psi_i \right) + \left(q_0 \sum_{i=1}^n a_i \zeta_i \right) \cdot \left(\varepsilon \sum_{i=1}^n a_i \psi_i \right) \right], \quad b_2 = \left[\beta + \left(\sum_{i=1}^n a_i \psi_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n a_i \zeta_i \right) \right] / q_0$$

– коефіцієнти.

Порівняльний аналіз екологічного ризику для j -го холодоагенту з урахуванням часткових ризиків, пов'язаних з прямими та посередніми наслідками глобального і локального характеру може виконуватися на підставі критерію

$$R_j = \left\{ \sum_{i=1}^n a_i \chi_i + a_i \psi_i + (\beta + l) \sum_{i=1}^n a_i \zeta_i \right\} / \left\{ \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n a_i \chi_i + a_i \psi_i + (\beta + l) \sum_{i=1}^n a_i \zeta_i \right] \right\},$$

де m – кількість холодоагентів у виборці, j – номер холодоагенту.

Запропоновані методи, які передбачають можливість використання експериментальних даних та даних про випробування холодильного

обладнання при роботі на різних робочих тілах, дозволяють визначити як екологічну небезпеку і ризик, пов'язаний з використанням холодоагентів, так і екологічну досконалість систем охолодження при переведенні на нові холодоагенти. Сукупність наведених показників достатньо повно характеризує екологічні наслідки заміни холодоагентів і забезпечує достатньо обґрунтований вибір безпечної речовини.

Для промисловості виконано ряд проектних рішень щодо безпечності холодильних агентів холодильних систем великої потужності, які забезпечують мінімізацію впливу на навколишнє середовище

Розглянемо детальніше особливості експлуатації фреонових установок, що працюють на фреоні R22, обумовлюються специфічними властивостями фреонів.

Фреони мають велику плинність, здатністю, проникати через найменші нещільності і не має запаху. Обслуговуючий персонал повинен уважно стежити за герметичністю системи і своєчасно виявляти і усувати витіки.

Пари фреону добре розчиняються в мастилі, що призводить до зниження в'язкості масла з підвищеною в'язкістю. Мастило циркулює в системі разом з холодильним агентом і безперервно повертається в картер компресора. Для повернення мастила в установках з кожухотрубними випарниками з випарників відсмоктують злегка зволожений пар.

Разом з рідиною в теплообмінник поступає і розчинене в ній мастило.

У регенеративної теплообміннику за випарником фреон підсушується і перегрівається за рахунок теплоти холодильного агента, що проходить через змішувач з конденсатора.

Особливістю холодильної фреонової установки є також залежність холодопродуктивності і економічності роботи фреонового компресора від перегріву всмоктуваного ним пару. При малих перегрівах всмоктування пару холодопродуктивність компресора різко знижується, а питомі витрати електроенергії на 1000 ккал холоду зростають. Для забезпечення необхідного перегріву, для всмоктування компресором пари фреоніві холодильні установки оснащують теплообмінниками, в яких пар підігрівається за рахунок теплоти рідкого холодильного агента, що надходить з конденсатора у випарник.

Вода, що потрапила в систему, не розчиняється у фреоні і порушує роботу установки. Вона викликає корозію деталей компресора і при низьких температурах замерзає в регулюючому вентилі.

Видалення вологи, що потрапила в систему, виконується через осушувач, включений в рідинний трубопровід після конденсатора. В якості поглинача вологи використовують дрібнопористий силікагель з зернами розміром 3,6 - 6 мм, який потрібно зберігати в герметичній тарі. Силікагель поглинає до 40% вологи по відношенню до власної ваги.

Фреони є хорошими розчинниками і швидко змивають з поверхонь різні забруднення, які можуть потрапити в циліндри компресора і прилади автоматичного регулювання.

При експлуатації фреонової холодильної установки вживають необхідних заходів, щодо ревізії компресорів та приладів автоматики, а також при додаванні фреону і мастила в систему не попадали забруднення.

Фреонові холодильні установки на відміну від аміачних в більшості випадків повністю автоматизовані, а тому можуть не перебувати під постійним наглядом.

У процесі експлуатації великої фреонової автоматизованої холодильної установки необхідно виконати ряд ручних операцій (перемикання вентилів, наповнення систем фреоном і маслом, вмикати або вимикати фільтрів, осушувачів і т.д.). Якщо установка повністю автоматизована, то при виконанні усіх цих операцій потрібно пускові пристрої компресорів переводити на ручне управління, так як в цьому випадку автоматичний пуск компресора може привести до аварії.

Велика автоматизована холодильна установка вимагає тільки однозмінного обслуговування, причому експлуатаційний персонал проводить також періодичний огляд і при необхідності профілактичне обслуговування. Профілактичне обслуговування полягає в підтримці в працездатному стані холодильних систем та попередження передчасного зносу устаткування.

Автоматичний захист холодильної установки включає: реле від мінімального тиску на вході в компресор CAS136 марки Danfoss діапазоном від 0 до 10 Bar. Реле від максимального тиску на виході з компресора CAS145 марки Danfos діапазоном від 4 до 40 Bar. Автоматичне регулювання холодильної установки включає: регулювання конденсатора - встановлений регулятор тиску KVR 35 марки Danfoss діапазоном від 5 до 17,5 Bar. Регулювання охолоджувача мастила - встановлений регулятор температури AVTB марки Danfoss діапазоном від 30 до 100 C. Регулювання випарника (повітроохолоджувача) - встановлений регулятор подачі холодоагенту KVC 15 марки Danfoss діапазоном від 0,2 до 6 Bar за допомогою електронного РВ.

8.2. Проектні рішення щодо оптимізації екологічних характеристик холодильних агентів

При виборі холодоагенту керуються його термодинамічними, теплофізичними, фізико-хімічними та фізіологічними властивостями. Важливе значення має також його вартість і доступність. Холодоагенти не повинні бути отруйні, не повинні викликати задухи і подразнення слизових оболонок очей, носа і дихальних шляхів людини [9,10,11,20]..

Було встановлено, що хлоровмісні холодоагенти, досягаючи стратосфери, розкладаються там ультрафіолетовими променями і вивільняють хлор, що швидко реагує з озоном, руйнуючи таким чином озоновий шар.

До небезпечних груп були віднесені хладони R-11, R-12, R-113, R-114, R-115, R-12 B1, R-13 B1, R-114 B2, R-502.

На підприємствах – холодильниках в даний час використовуються холодильні машини, що працюють на холодоагентах R600a, R22, R134a. У нашому випадку при проектуванні холодильного устаткування та систем автоматики промислових холодильників будемо використовувати R717 (аміаку).

Крім цього перспективним холодоносієм є R600a (C₄H₁₀)- ізобутан. У порівнянні з іншими холодоагентами R600a має переваги:

ODP = 0; GWP = 0,001.

При цьому проєктанти звертають увагу на наступні ознаки: 1.Маса холодоагенту, циркулюючого в системі, при використанні ізобутану скорочується на 30 %; 2.Питома маса ізобутану в два рази більше маси повітря, тому він стелиться по землі, добре розчиняється в маслі, горючий, легко запалюється, вибухонебезпечний при з'єднанні з повітрям з об'ємною часткою R600 1,3 ÷ 8,5 ° C; 3.Температура займання 460 °C; 4.Холодильники, що працюють на R600a характеризуються меншим рівнем шуму; 5.Для переналадження холодильного обладнання на R600a необхідна заміна компресора на компресор з більшою продуктивністю; 6.За питомої об'ємної холодопродуктивності цей холодоагент майже в два рази менше R12. Розглянемо характеристики інших холодоносіїв, саме: 1.R22 (CHF₂Cl) - безбарвний газ, який має позитивні фізико-хімічні, фізіологічні та ін. властивості.

Коефіцієнт тепловіддачі R-22 на 30% вище, ніж R12. При заміні R12 на R22 холодопродуктивність компресора при тому ж температурному режимі збільшується на 60%, а питома витрата електроенергії зменшується на 6% завдяки меншим дросельним втратам у компресорі. Широко застосовується R22 у низькотемпературних холодильних установках і установках кондиціонування повітря.

2.R134a (CF₃CFH₂) - нетоксичний і невогнебезпечний, але при зіткненні з полум'ям і гарячими поверхнями розкладається з утворенням високотоксичних продуктів. У цілому R134a за енергетичними характеристиками програє R-12. Зважаючи на значне значення потенціалу глобального потепління, R134a рекомендується застосовувати в герметичних холодильних системах. У той же час озонозберігаючий потенціал R134a близький до 0. Застосування R134a замість R22 зажадає істотних змін у розмірах устаткування (великий діаметр труб теплообмінних пристроїв, збільшення розмірів компресора). Все це повинне привести до значного збільшення вартості холодильного устаткування.

Таким чином, для проєктантів дедалі важким стає раціональний добір холодоагенту стосовно конкретного об'єкта. Тому проблема використання як холодоагентів природних речовин, і в першу чергу аміаку, найбільш актуальна у проєктантів холодильного устаткування.

3.R 717 (NH₃ - аміак) використовується вже багато років в великих промислових холодильних установках. Аміак не має озоноруйнівної здатності і не збільшує парниковий ефект. Енергетична ефективність використання R717 у холодильному устаткуванні така ж висока, як і при застосуванні R22. Крім того, R717 має низьку вартість, виробництво його доступне, проблеми його займистості й токсичності сьогодні вирішувані, що робить його привабливим для виробників холодильного устаткування.

4.CO₂ (R 744) - в рідкому і твердому вигляді -Діоксид Вуглецю, який застосовується як холодоагент.

При звичайній температурі і тиску діоксид вуглецю - безбарвний газ, що володіє злегка кислуватим смаком і запахом. CO_2 - малоактивне з'єднання. При розчиненні у воді утворює слабку вугільну кислоту, яка фарбує лакмусовий папірець у червоний колір. Вугільна кислота покращує смакові якості газованих напоїв і запобігає зростання бактерій. Реагуючи з лужними і лужноземельними металами, а також з аміаком, CO_2 утворює карбонати і бікарбонати. При підвищенні тиску і охолодженні діоксид вуглецю легко зріджується і знаходиться в рідкому стані при температурах від $+31$ до -57 °C (залежно від тиску). Нижче -57 °C переходить у твердий стан (сухий лід). Тиск, необхідний для скраплення, залежить від температури: при $+21$ °C воно становить 60 атм, а при -18 °C всього 20 атм. Рідкий CO_2 зберігають у герметичних ємностях під тиском. При переході в атмосферу частина його перетворюється в газ, а деяка кількість - в сухий лід, при цьому його температура знижується до -84 °C.

Діоксид вуглецю (R744) не отримав широкого застосування в якості холодоагенту в парорідинному холодильному циклі через низьке значення критичної температури ($t_k = 31,03$ °C), що не дозволяє в ряді географічних районів країни здійснити в теплу пору року процес конденсації стисненого компресором пара. У таких умовах можливе використання закритичного циклу, де процес конденсації замінений охолодженням перегрітої пари, що знаходиться при тиску вище критичного ($P_n > = 7,4$ МПа). При цьому щільність теплового потоку в охолоджувачі пара помітно менше, ніж при конденсації, що призводить до збільшення металоємності холодильної установки.

Діоксид вуглецю в основному застосовують при виробництві сухого льоду і рідкої вуглекислоти, а також в якості холодоагенту нижньої гілки каскадної холодильної установки. Останнім часом для забезпечення низьких температур охолоджуваних об'єктів застосовують каскадні холодильні установки, в нижній гілці яких, як холодоагент, використовується діоксид вуглецю (R744), а у верхній гілці - аміак (R717). Таке рішення дозволяє істотно скоротити амміакоємність холодильної системи, так як аміак не подається до технологічних апаратів, а знаходиться лише в верхній гілці каскаду, відвід же теплоти від охолоджуваних об'єктів і технологічних апаратів здійснюється киплячим діоксидом вуглецю.

Розглянемо технологію використання діоксиду вуглецю CO_2 в холодильних технологіях виробництва штучного холоду [9,10,11].

У холодильних технологіях знаходять все більше застосування природні холодоагенти, такі як вуглеводні, діоксид вуглецю та аміак. Аміак є одним з кращих холодильних агентів і в даний час широко використовується у великих холодильних установках. Проте головний недолік - токсичність і вибухопожежонебезпечність неможливо усунути. Вуглеводні ще більш вибухопожежонебезпечні, ніж аміак, тому їх доцільно використовувати тільки в дуже малих холодильних машинах або на спеціальних нафтохімічних виробництвах.

На цьому фоні, підвищений інтерес до діоксиду вуглецю стає цілком зрозумілим.

Діоксид вуглецю володіє наступними перевагами: має високу об'ємну холодопродуктивність, не токсичний і безпечний, інертний до матеріалів, дешевий і доступний. У табл. 8.1 представлені властивості діоксиду вуглецю в порівнянні з іншими холодоагентами. Діоксид вуглецю має високу питому об'ємну холодопродуктивність (при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $q = 22600\text{ кДж/м}^3$), яка в порівнянні з іншими холодоагентами (у аміаку $q = 4360\text{ кДж/м}^3$ при тих же умовах, а у R22 - 2052 кДж/м^3 при $15\text{ }^{\circ}\text{C}$) дозволяє істотно зменшити габарити компресора, скоротити кількість холодоагента в установці, використовувати трубопроводи меншого перетину і в цілому помітно підвищити компактність всієї холодильної системи (рис. 8.1). Наприклад, для систем рівної холодопродуктивності аміачний компресор в 10 разів більше, ніж компресор на двооксид вуглецю, а його продуктивність в 10 разів менше.

Таблиця 8.1. Порівняльні властивості діоксиду вуглецю в порівнянні з іншими холодоагентами

Тип	НFC	Вуглеводні		NH ₃	CO ₂
Холодоагент	R134a	R290	R600a	R717	R744
Загальноприйнята назва		Пропан	Ізобутан	Аміак	Діоксид вуглероду
Природа холодоагенту	штучний	природний	природний	природний	природний
Потенціал руйнування озонового шару	0	0	0	0	0
Потенціал глобального потепління	3200	3	3	0	1
Критична температура, $^{\circ}\text{C}$	101,2	97	135	132,4	31,1
Критичний тиск	4,1	4,2	3,6	11,3	7,4
Горючість	-	+	+	+	-
Токсичність	-	-	-	+	-
Відносна об'ємна холодопродуктивність	1	1,4	0,6	1,7	8,4

Застосування діоксиду вуглецю призводить до зниження витрат на теплообмінні апарати, системи розведення трубопроводів та їх теплоізоляцію, зменшує енергетичні та експлуатаційні витрати і т.д. Слід зазначити, що CO₂ завідомо дешевше всіх відомих фреонів: ціна 1 кг CO₂ в 15 разів нижче, ніж 1 кг R22, в 20 разів - R134a і в 30 разів - R404A.

На користь діоксиду вуглецю говорять як незначна величина відносин тисків у випарнику і конденсаторі (у порівнянні з традиційними циклами), так і високі значення коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні та конденсації. Діоксид вуглецю сумісний з більшістю конструкційних матеріалів, що використовуються в системах холодопостачання, і доступний в промисловому виробництві.

Відсутність руйнівного впливу на озоновий шар Землі ($ODP = 0$) і парникового впливу на клімат ($GWP = 1$) робить його найбільш перспективним щодо використання в промисловості, так як він не підпадає під міжнародні заборони Монреальського та Кіотського протоколів.

Недоліком діоксиду вуглецю при використанні його в холодильній техніці є високий робочий тиск (5,5.. 34,9 бар при температурі конденсації відповідно - 55.. 0°C), що передбачає застосування більш міцних компресорів, теплообмінників, периферійної арматури і інших компонентів холодильної системи.

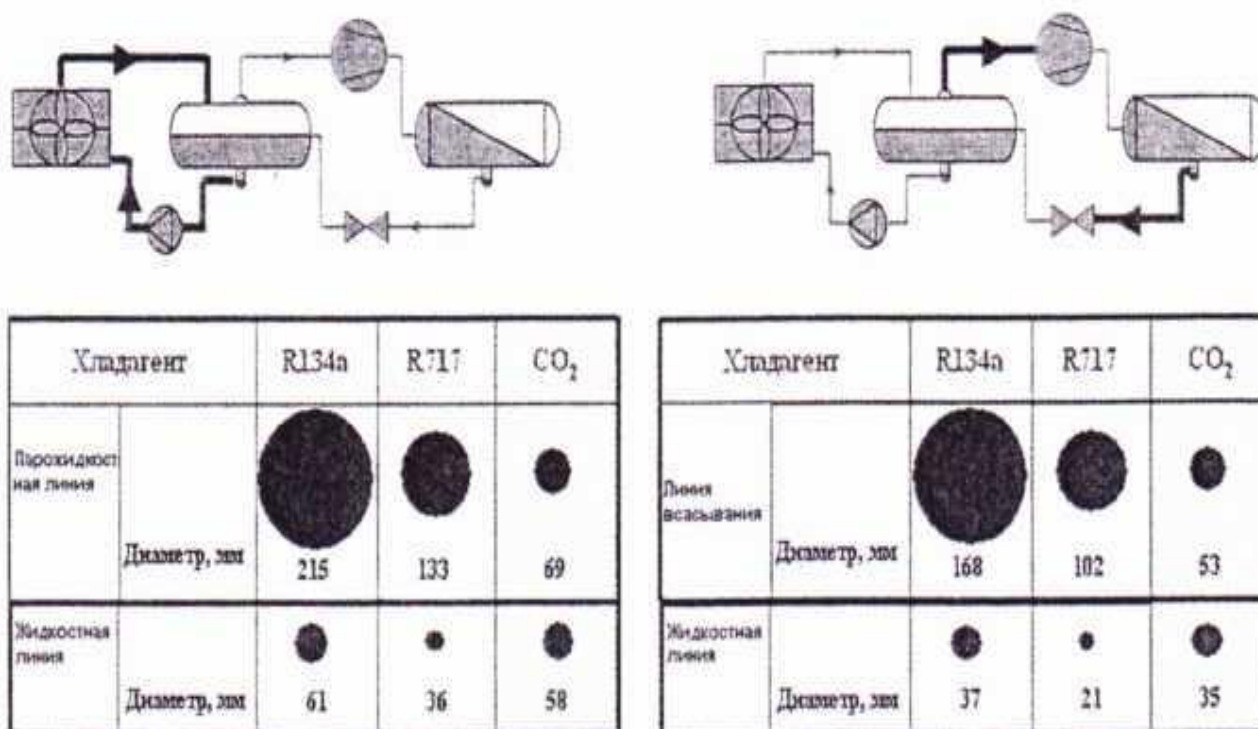


Рисунок 8.1. - Переваги застосування CO₂ з точки зору розміру трубопроводів

Витиснення кисню з приміщення при витоках CO₂ вимагає встановлення пристроїв контролю за його концентрацією в повітрі. Освіта вугільної кислоти в разі потрапляння води і карбонатів в систему при взаємодії з аміаком чинить негативний вплив на її елементи, тому необхідна надійна герметизація.

Значне зростання тиску в період зупинки і відтайки системи вимагає наявності невеликої додаткової холодильної машини для підтримки низької температури в установці, а також скорочення витрати електроенергії на електропідігрів повітроохолоджувачів.

Перераховані вище обставини змушують деяких проєктантів сумніватися в доцільності використання діоксиду вуглецю в техніці помірною холоду.

В цілому каскадні системи холодопостачання з діоксидом вуглецю за первинними витратами дещо дорожче звичайних аміачних або хладонових установок безпосереднього охолодження через більшу сумарну кількість компресорів [9,10,11, 20].. Як показує практика, додаткові витрати на каскадні холодильні установки з CO_2 окупаються через 2-3 роки, а потім по експлуатаційним витратам вони виявляються значно вигідніші в порівнянні з аміачними або фреоновими холодильними системами безпосереднього охолодження, але максимальний вигравш проявляється в порівнянні з системами з проміжним холодоносієм.

У каскадних системах CO_2 як холодоносієм може працювати в зоні знижених (нижче -15°C) температур. При цьому поліпшується теплопередача і знижується гідроопір. Так, при температурі холодоносія -30°C гідроопір діоксиду вуглецю в 2 рази нижче, ніж у пропіленгліколю.

Основним недоліком діоксиду вуглецю є низька критична температура і високий робочий тиск в області робочих температур, в силу чого пред'являються спеціальні вимоги до обладнання. Однак високий тиск визначає і переваги в порівнянні з іншими холодоагентами:

- холодопродуктивність компресора із заданою об'ємною продуктивністю при роботі на вуглекислому газі вище внаслідок високої щільності газу;
- так як крива фазового переходу більш полого в порівнянні з іншими холодоагентами, то втрати тиску в випарники слабо позначаються на зміні температури кипіння. Це дозволяє збільшити масову витрату холодоагенту через випарник і підвищити ефективність тепловіддачі.

Фазова діаграма води

Ця діаграма показана на рис. 8.2. Області фазової діаграми, що обмежені кривими, відповідають тим умовам (температур і тисків), при яких стійка тільки одна фаза речовини. Наприклад, при будь-яких значеннях температури і тиску, які відповідають точкам діаграми, що обмежені кривими ВТ та ТС, вода існує в рідкому стані. За будь-якої температури і тиску, відповідних точкам діаграми, які розташовані нижче кривих АТ і ТС, вода існує в пароподібному стані.

Криві фазової діаграми відповідають умовам, за яких будь-які дві фази знаходяться в рівновазі один з одним. Наприклад, при температурах і тиску, відповідних точкам кривої ТС, вода і її пара знаходяться в рівновазі. Це і є крива тиску пари води. На цій кривій рідка вода і пара знаходяться в рівновазі при температурі 373 K (100°C) і тиску 1 атм ($101,325\text{ кПа}$); точка Х являє собою точку кипіння води при тиску 1 атм .

Крива АТ є кривою тиску пари льоду; таку криву зазвичай називають кривою сублімації.

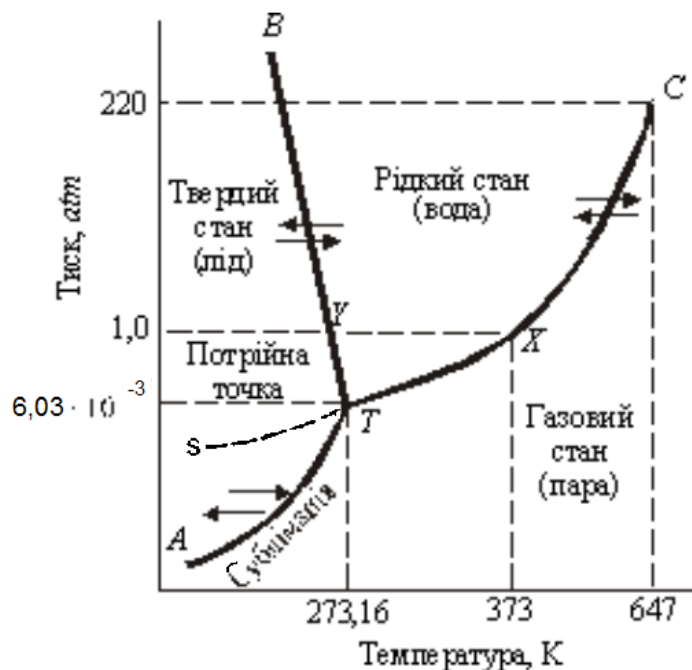


Рисунок 8.2. - Фазова діаграма води [9,10,11, 20].

Крива ВТ являє собою криву плавлення. Вона показує, як тиск впливає на температуру плавлення льоду: якщо тиск зростає, температура плавлення трохи зменшується. Така залежність температури плавлення від тиску зустрічається рідко. Зазвичай зростання тиску сприяє утворенню твердої речовини, як ми переконаємося на прикладі аналізованої далі фазової діаграми діоксиду вуглецю. У разі води підвищення тиску призводить до руйнування водневих зв'язків, які в кристалі льоду пов'язують між собою молекули води, змушуючи їх утворювати громіздку структуру. У результаті руйнування водневих зв'язків відбувається утворення більш щільної рідкої фази.

У точці У на кривій ВТ лід знаходиться в рівновазі з водою при температурі 273 К (0°C) і тиску 1 атм. Вона являє собою точку замерзання води при тиску 1 атм.

Крива СТ показує тиск пари води при температурах нижче її точки замерзання. Оскільки вода в нормальних умовах не існує у вигляді рідини при температурах нижче її точки замерзання, кожна точка на цій кривій відповідає воді, що у метастабільному стані. Це означає, що при відповідних температурі і тиску вода знаходиться не в своєму найбільш стійкому (стабільному) стані. Явище, яке відповідає існуванню води в метастабільному стані, що описується точками цієї кривої, називається переохолодженням.

На фазовій діаграмі є дві точки, що представляють особливий інтерес. Насамперед відзначимо, що крива тиску пари води закінчується крапкою С. Вона називається критичною точкою води. При температурах і тиску вище цієї точки пари води не можуть бути перетворені в рідку воду ніяким підвищенням тиску. Іншими словами, вище цієї точки парова і рідка форми води перестають бути помітними. Критична температура води дорівнює 647 К, а критичний тиск становить 220 атм.

Точка Т фазової діаграми називається потрійною точкою. У цій точці лід, рідка вода і пари води знаходяться в рівновазі один з одним. Цій точці відповідають температура 273,16 К і тиск $6,03 \cdot 10^{-3}$ атм. Лише при зазначених значеннях температури і тиску всі три фази води можуть існувати разом, перебуваючи в рівновазі один з одним.

Іній може утворюватися двома способами: з роси або безпосередньо з вологого повітря.

Утворення інею з роси. Роса- це вода, що утворюється при охолодженні вологого повітря, коли його температура знижується, перетинаючи (при атмосферному тиску) криву ТС на рис. 8.2. Іній утворюється в результаті замерзання роси, коли температура знижується настільки, що перетинає криву ВТ.

Утворення інею безпосередньо з вологого повітря. Іній утворюється з роси тільки в тому випадку, якщо тиск пари води перевищує тиск потрійної точки Т, тобто більше $6,03 \cdot 10^{-3}$ атм. Якщо ж тиск парів води менше цього значення, іній утворюється безпосередньо з вологого повітря, без попереднього утворення роси. У такому випадку він з'являється, коли температура, що знижується перетинає криву АТ на рис. 8.2. У цих умовах утворюється сухий іній. Перейдемо до аналізу фазової діаграми діоксиду вуглецю

Ця фазова діаграма показана на рис. 8.3.

Вона подібна фазовій діаграмі води, але відрізняється від неї двома важливими особливостями.

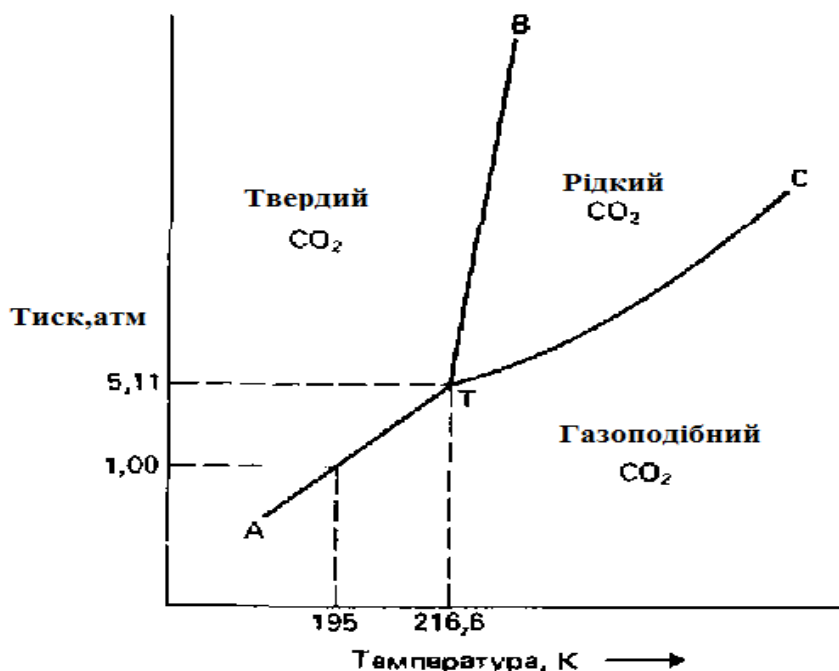


Рисунок 8.3. - Фазова діаграма діоксиду вуглецю [9,10,11, 20].

По-перше, потрійна точка діоксиду вуглецю знаходиться при тиску, що набагато перевищує 1 атм, а саме при 5,11 атм. Отже, за будь-яких тисках нижче цього значення діоксид вуглецю не може існувати у формі рідини. Якщо твердий діоксид вуглецю (сухий лід) нагрівати при тиску 1 атм, він сублимує при температурі 159 К (-78°C). Це означає, що твердий діоксид вуглецю при

зазначених умовах переходить безпосередньо в газову фазу, минаючи рідкий стан.

По-друге, відмінність від фазової діаграми води полягає в тому, що крива ВТ має нахил вправо, а не вліво. Молекули діоксиду вуглецю у твердій фазі упаковані більш щільно, ніж в рідкій фазі. Отже, на відміну від води твердий діоксид вуглецю має більшу щільність, ніж рідкий. Така особливість типова для більшості відомих речовин. Таким чином, підвищення зовнішнього тиску сприяє утворенню твердого діоксиду вуглецю. Внаслідок цього підвищення тиску призводить до того, що температура плавлення теж підвищується.

Вуглекислий газ CO_2 (вуглекислота, двоокис вуглецю, діоксид вуглецю, вугільний ангідрид) залежно від тиску і температури може знаходитися в газоподібному, рідкому або твердому стані.

У газоподібному стані діоксид вуглецю це безбарвний газ з трохи кислуватим смаком і запахом. В атмосфері Землі міститься близько 0,04 % вуглекислого газу. За нормальних умов його щільність становить 1,98 г/л - приблизно в 1,5 рази більше щільності повітря. При кімнатній температурі вона існує тільки при тиску понад 5850 кПа. Щільність рідкої вуглекислоти сильно залежить від температури. Наприклад, при температурі нижче +11 °C рідка вуглекислота важче води, при температурі вище +11 °C - легше. У результаті випаровування 1 кг рідкої вуглекислоти при нормальних умовах утворюється приблизно 509 л газу.

При температурі близько -56,6 °C і тиску близько 519 кПа рідка вуглекислота перетворюється у тверду речовину - «сухий лід».

Перейдемо до оцінки екологічної безпеки CO_2 як холодоагенту, використовуючи матеріали джерел[7,10,22,24].

Монреальський протокол поставив заперет на використанні хлорфторвуглеців як холодоагентів, які представляли загрозу озоновому шару Землі. На зміну їм прийшли гідрохлорфторвуглецеві, але вони теж мають свої недоліки. Парникові властивості гідрохлорфторвуглеців в 2100 разів перевершують CO_2 .

У порівнянні з штучно створеними холодоагентами, CO_2 завдяки своєму низькому потенціалу до створення парникового ефекту вважається особливо екологічно безпечним. Двоокис вуглецю використовується в якості холодоагенту ще з 1850 року і має багату історію застосування в холодильній техніці. Більш свідоме ставлення до навколишнього середовища і пов'язані з цим дбайливе поводження з природними ресурсами і захист природного середовища проживання привели до повторного відкриття позитивних якостей так званих «природних холодоагентів». Таким чином, були заново відкриті і численні переваги CO_2 в експлуатації холодильних установок.[9,10,11,16,17.,23,25,26]

В установках на основі CO_2 можуть застосовуватися менші за обсягами компоненти холодильної установки. Ці компоненти мають невисоку ціну покупки і добре доступні на ринку. Оскільки CO_2 , як природний холодоагент, не забруднює навколишнє середовище, то його утилізація і вторинне

використання не встановлені законодавством.

CO₂ володіє дуже позитивними властивостями для холодильної техніки, які можна оптимально використовувати для підвищення ефективності холодильної установки:

висока холодопродуктивність по об'ємній витраті (в 5-7 разів вище, ніж у аміаку), як наслідок, невеликий робочий об'єм компресора і невеликі діаметри труб;

високий теоретичний холодильний коефіцієнт (COP) при температурах конденсації нижче критичної температури CO₂;

низька в'язкість і пов'язані з цим малі втрати тиску, які призводять тільки до незначних падінь температури в теплообміннику;

низьке співвідношення тиску між ступенями низького і високого тиску холодильної установки і, отже, дуже високий відносний ККД компресора;

високий коефіцієнт теплопередачі при випаровуванні та конденсації (на 60% вище, ніж у HFKW);

хороша сумісність матеріалів з широко використовуваними матеріалами і рефрижераторними маслами.

Екологічна безпека та фізичні властивості: дуже низький парниковий потенціал (потенціал глобального потепління (GWP)=1); не руйнує озоновий шар (ODP) екологічно безпечний і надійний в малих концентраціях нетоксичний; не горючий (CO₂ використовується як засоби пожежогасіння).

Холодоносії - спеціальні рідини – використовують для переносу холоду із джерела його одержання (випарника) до охолоджуваного об'єкта: камери, апарата і ін.

При однакових «зовнішніх» умовах - однаковій температурі повітря в охолоджуваному об'єкті і тепловому навантаженні - енергоспоживання в системі з холодоносієм буде вище, ніж у системі безпосереднього охолодження, коли холодоагент кипить в апараті, що перебуває в охолоджуваному об'єкті. Це пояснюється тим, що в системі з холодоносієм для його охолодження температура кипіння холодоагенту повинна бути на 5-8°C нижче, ніж у системі з безпосереднім охолодженням. Крім того, необхідна додаткова витрата енергії на роботу насосів, що здійснюють циркуляцію холодоносія.

Однак, незважаючи на більше енергоспоживання, систему з холодоносієм доводиться застосовувати в ряді випадків:

- коли використання системи безпосереднього охолодження неприпустимо через токсичність холодоагенту (аміак);
- при великій кількості споживачів холоду з різними температурами, розташованими на значній відстані друг від друга;
- внаслідок спеціальних технологічних вимог до апаратів і умов зберігання харчових продуктів (молокозаводи, підприємства пивоварної і виноробної промисловості).

Якщо не потрібні негативні температури, найбільш кращим холодоносієм є вода. Вона найбільш доступна і дешева, має високу питому теплоємність, низьку в'язкість і малу корозійну активність, нетоксична і негорюча. Воду, як холодоносій, використовують у центральних системах кондиціонування повітря,

а також для охолодження молока і різних напоїв. Особливо зручна вода в системах з акумуляцією холоду, коли в періоди малого теплового навантаження можливо часткове її наморожування на холодній поверхні випарника з наступним використанням акумульованого в такий спосіб холоду під час підвищеного теплового навантаження за рахунок танення льоду.

Очевидно, вода не може бути використана, якщо холодоносії повинен мати температуру нижче 0°C . У цьому випадку використовують водяні розчини солей - *розсоли*.

Розсіл з «критичною» концентрацією солі називають евтектичним розчином. При підвищенні або зниженні концентрації солі температура його замерзання буде підвищуватися.

У холодильній техніці найбільше застосування знаходять два види розсолу. Це водяні розчини хлористого натрію (NaCl) і хлористого кальцію (CaCl_2).

Крім розсолів, як холодоносії використовують і інші рідини з низькою температурою замерзання і слабкою корозійною активністю, що в ряді випадків є вирішальним при їхньому виборі, незважаючи на більше високу вартість.

До таких холодоносіїв належать *антифризи*: етиленгліколь, пропіленгліколь, метанол (метиловий спирт) і гліцерин.

Крім температури замерзання, важливими властивостями холодоносія є:

- *нормальна температура кипіння* $t_{\text{он}}^{\circ}\text{C}$, від значення якої залежить летючість (випар) холодоносія при навколишній температурі;
- *динамічна в'язкість* $\mu \times 10^4$, $\text{Па}\cdot\text{с}$, від величини якої залежить витрата енергії приводом насоса;
- *питома об'ємна теплоємність* $c_{\text{рр}}$, $\text{кДж}/(\text{м}^3\cdot\text{K})$ визначає необхідну об'ємну витрату холодоносія для забезпечення заданої холодопродуктивності.

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. Назвіть властивості застосування робочих речовин у холодильних машинах різноманітного призначення й умови виконання термодинамічних циклів.
2. Назвіть і охарактеризуйте термодинамічні та теплофізичні властивості холодоагентів.
3. Назвіть і охарактеризуйте фізико-хімічні та фізіологічні властивості холодоагентів.
4. За якими параметрами класифікують робочі речовини?.
5. Опишіть сучасні уявлення про природу впливу холодоносіїв на довкілля.
6. Назвіть і охарактеризуйте сучасні холодильні агенти.
7. Чому вода є кращим холодоносієм ?
8. Чому метанол і етиленгліколь не використовують в якості холодоносіїв при виробництві харчових продуктів?.
9. В яких випадках використовують холодильний агент R22, R290 ?10. Чому на підприємствах харчової промисловості використовують водні розчини пропіленгліколю?
10. Чому CO_2 володіє позитивними властивостями для холодильної техніки?

Тести

Тест 1. Методи зменшення негативних екологічних наслідків експлуатації холодопостачання які ви знаєте це: а) зниження споживання і використання електроенергії завдяки використанню баку холодоакумулятора; б) зменшення викидів вуглекислого і парникових газів; в) зменшення експлуатаційних витрат; г) експлуатація системи холодопостачання в нічний період.

Тест 2. У холодильній практиці широко застосовують поверхневі повітроохолодники - це: а) апарати, в трубах яких кипить холодоагент; б) апарати з проміжним холодоносієм; в) апарати з охолодженою поверхнею, повітря безпосередньо стикається з холодоносієм; г) апарати змішаного типу всередині трубок яких кипить холодоагент.

Тест 3. Живлення багатосекційних випарників з верхньою подачею холодоагента здійснюється за допомогою: а) рідинного трубопроводу і теплообмінника; б) ТРВ із зовнішнім вирівнюванням та розподільником; в) випарника і всмоктувального трубопроводу; г) розподільників та секцій випарників.

Тест 4. Випарник рециркуляційний – це: а) затоплений випарник, який має сепаратор для виділення парів від рідини; б) апарат в якому невиварений холодоагент повертається на вхід у випарник; в) в якому холодоагент за рахунок сили тяжіння або за допомогою насоса або ежектора повертається на вхід системи; г) випарник подібний до конструкції пластинчатого.

Тест 5. Діоксид вуглецю в основному застосовують: а) при виробництві сухого льоду і рідкої вуглекислоти, б) в якості холодоагенту нижньої гілки каскадної холодильної установки; в) при виробництві напоїв; г) ваша відповідь.

Тест 6. Додаткові витрати на каскадні холодильні установки з CO₂ окупаються: а) через 2-3 роки; б) через один рік; в) через чотири роки; г) ваша відповідь.

Тест 7. Рідкий CO₂ зберігають: а) у спеціальному посуді; б) у герметичних ємностях під тиском; в) лише під тиском; г) ваша відповідь.

Тема 9. Проектні рішення в системі узгодженого управління електроспоживанням комплексу підприємство-промисловий холодильник

9.1. Причинно-наслідкова модель управління електроспоживанням промислового холодильника

Метою теми є розв'язання актуального проектного завдання: автоматизованого управління траєкторією електроспоживання комплексу підприємство харчової промисловості – промисловий холодильник – підприємство-споживач замороженої/охолодженої продукції у періоди обмежень потужності енергосистеми.

Вперше поставлене проектне завдання: досягти зменшення витрат електрики та впливу збурень вхідних характеристик продукції на параметри електроспоживання комплексу за рахунок розробки системи інтелектуального керування комплексом і прогнозування витрат активної і реактивної потужностей електроприводів холодильних машин з постійним контролем геометрії внутрішньо камерного завантаження (в період термічного оброблення продуктів (вантажів), які супроводжуються відведенням теплоти від продуктів технологічними процесами охолодження, заморожування, доморожування).

Для реалізації означеної мети сформульовано такі проектні задачі:

- дослідити процес електроспоживання харчового комплексу як об'єкту траєкторного управління активною та реактивною потужностями;
- побудувати інтегровану інтелектуальну систему управління електроспоживанням підприємств-холодильників;
- синтезувати управління траєкторією електроспоживання комплексу виробництва харчів та їх заморожування або охолодження в залежності від ринкового тарифу на електроенергію.

Корпоративні підприємства харчової промисловості Придніпровського регіону (м'ясокомбінати, молокозаводи, рибокомбінат, підприємства з переробки плодоовочевої продукції, промислові холодильники), об'єднані в єдиний комплекс з виробництва смарт-продуктів харчування з навантаженням від 200 до 1000 МВт і відносяться до великих споживачів електрики. Більшість технологічних виробництв електропостачання цих підприємств згідно ПУЕ відносяться до I, II категорій електроприймачів [45].

Необхідність економії електроенергії на підприємствах харчової галузі України на усіх стадіях виробництва замороженої продукції харчування (ЗПХ) також обумовлено зростанням у 2023 році цін на електроенергію.

У той же час, зростання її частки у собівартості продукції енергоємних технологій охолодження, заморожування складає до 20-25 %, а отже потребує виконання проектних рішень щодо узгодженого керування електрообладнанням комплексу в періоди обмежень потужності енергосистеми [64, 65, 80].

Особливістю сучасного управління електроспоживанням підприємствами харчової галузі є впровадження систем енергоменеджменту і автоматизованих систем контролю і обліку електроенергії (АСКОЕ). Усі підприємства харчової галузі та холодильні підприємства – підприємства споживачі (супермаркети) Придніпровського регіону розраховуються з ПАТ «ДТЕК

ДНПРООБЛЕНЕРГО» Україна за спожиту електроенергію за ринковим тарифом [73, 74,]. Перехід на цей тариф стимулює енергоменеджмент підприємств харчової галузі та холодильних підприємств до виокремлення деяких цехів (фабрик) в якості енергоспоживачів - регуляторів, диференційованих за категоріями й часу їх роботи впродовж доби.

Наприклад, допоміжні цехи підприємств з виробництва харчів і холодокомбінатів можуть стати в періоди максимального навантаження енергосистеми споживачами – електрорегуляторами (СЕР), компресорне господарство стає не лише електрорегулятором, але й компенсатором реактивної потужності, що дозволяє знизити вартість електроенергії на 5-10% від лімітних.

Іншою особливістю підприємств харчової галузі є те, що в якості електроприводів найбільш енергоємних технологічних процесів виробництва холоду використовуються синхронні двигуни (СД) поршневих компресорів потужністю від 25 кВт до 600 кВт, асинхронні двигуни гвинтових компресорів потужністю від 25 кВт до 600 кВт і двигуни змінного струму насосів конденсаторів, вентиляторів потужністю від 3 до 35 кВт – тиристорні перетворювачі частоти (ТПЧ), конденсаторні батареї тощо.

З метою аналізу й оптимізації електроспоживання на підприємствах харчової галузі структуру електричної мережі представимо у вигляді множини $J=[j]$, $j=1,2\dots n$ – рівнів ієрархії, до яких відносяться: вхідні фідери на підприємстві; трансформаторні підстанції; силові трансформатори; групи електроприймачів, що розподілені на значній території комплексу (підприємств виробників смарт-продукції – підприємство-промисловий холодильник – підприємство споживач замороженої та охолодженої продукції транспортних цехів, холодильних камер). Тобто групи електроприймачів, які задіяні від однієї секції шин та групи електроприймачів або, які задіяні від одного фідера найбільш енергоємні споживачі (поршневі компресори із типовим синхронним електроприводом (СД) потужністю $P_{QM}=250-500$ кВт й більше, гвинтові компресори з асинхронними електроприводами потужністю до 350кВт, конденсатори, вентилятори, насоси тощо). В системах виробництва холоду будемо використовувати холодильні машини з інтелектуальними системами керування потенціалом енергозбереження до 20 відсотків за рахунок автоматизованого контролю продуктивності двоступеневого стиснення (поршневий компресор з синхронним електродвигуном – перший каскад) і гвинтовий компресор з АД - ТПЧ та одержання температурних режимів заморожування м'ясних продуктів ВРХ, риби, птиці, напівфабрикатів з м'ясом, фруктів, ягід, молочних продуктів тощо.

В цілому електричне господарство (ЕГ) такого комплексу підприємств та траєкторію електроспоживання можливо описати системою залежностей виду:

$$EG = \{ P_{\max} \cdot K_{\text{ПОП}} \cdot T \cdot D \cdot P_{\text{сер}} \cdot A_{\text{П}} \cdot A_{\text{ЕП}} \}, \quad (9.1)$$

де P_{\max} – півгодинний максимум навантаження підприємства;

$K_{\text{ПОП}}$ – коефіцієнт попиту;

T – річне число годин використання максимального навантаження T_{max} (год);

D – кількість встановлених електродвигунів (шт);

$P_{\text{сер}}$ – активна потужність двигунів, умовних електродвигунів, кВт;

$A_{\text{П}}$ – електроозброєність праці (МВт·год/люд);

$A_{\text{ЕП}}$ – продуктивність праці електротехнічного персоналу (МВт·год/люд).

Оптимізація процесів електропостачання підприємств-холодильників харчової галузі виконується шляхом управління траєкторією електроспоживання комплексу на основі причинно-наслідкової моделі, розробленої авторами роботи.

На рис. 9.1 наведено причинно-наслідкову модель управління електроспоживанням комплексу групи підприємств з виробництва смарт-продуктів харчування – промисловий холодильник (ПРХ) – споживачі, який відрізняється деталізацією впливів груп чинників на траєкторію електроспоживання комплексу (електричне господарство промислового комплексу, управління електроспоживанням, збурення траєкторії електроспоживання холодильних машин (ХМ), електроспоживання компресорних установок та енергоефективність холодильних камер промислового холодильника.

Траєкторію електроспоживання промислового холодильника $E_{\text{ПРХ}}$ визначають параметри E_1, E_2, E_3, E_4 (рис. 9.1).

У той же час траєкторію оптимального електроспоживання комплексу ПВ – ПРХ – ПС E_1 визначають чинники $P_{\text{к}}, Q_{\text{к}}, E_{\text{к}}, X_1, P_{\text{ХМ}}, K_{\text{Е}}, X_2$.

Відхилення траєкторії електроспоживання холодильних машин (поршневих компресорів-випарників – конденсаторів – інших приладів охолодження) оцінюють за допомогою наступних технологічних чинників: $X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$.



Рисунок 9.1. – Причинно-наслідкова модель управління електроспоживанням комплексу: підприємств-виробників (ПВ) – промислового холодильника (ПРХ) – підприємств-споживачів (ПС)

Звернемо увагу на те, що ці технологічні параметри мають тісні кореляційні зв'язки з параметрами активної та реактивної потужностей, коефіцієнта потужності $\cos\varphi$, що споживається електроприймачами ЕП1, ЕП2 із мережі 6-10 кВт.

Для ХМ з поршневым компресором і синхронним приводом:

$$P_{\text{Х.М.}} = S_{\text{Х.М.}} \cos\varphi, \quad (9.2)$$

де $S_{\text{Х.М.}}$ – повна потужність холодильної машини з поршневым компресором і синхронним двигуном; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності споживання.

Збільшення споживання реактивної потужності $Q_{\text{Х.М.}}$, пов'язане з технологічними параметрами асинхронних двигунів насосів, конденсаторів, вентиляторів, тощо, призводить до зростання струму в провідниках дільниці електропостачання компресорних холодильних машин.

На ділянках електропостачання холодильних машин, де споживання реактивної потужності збільшується, втрати активної потужності теж збільшуються, а напруга $UT1, UT2 \dots$ знижується. Отже, індикатором оптимального електроспоживання дільниці холодильних машин з СД є зростання коефіцієнта потужності $\cos\varphi \rightarrow 1$ або зменшення споживання реактивної потужності елементами системи електроспоживання цієї дільниці, зниження втрат активної потужності $P_{\text{Х.М.}}$ та підвищення напруги. Таким чином, оптимізуючи технологічні параметри $X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$ система ЦПУЕ з ЦСУ корегує роботу регуляторів збудників СД (МКЛ 1, МКЛ 2 і т. д.).

Відхилення траєкторії електроспоживання двоступеневих систем стиснення, які працюють по схемі компресор поршневий з синхронним приводом і компресор гвинтовий (друга ступінь стиснення) з АД-ТПЧ також залежать від технологічних параметрів, а саме $E_3 = f(X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12})$.

У цьому випадку одержання температур нижче -40°C для заморожування туш великої рогатої худоби (ВРХ), наприклад, в холодильній камері ХКМ1 виконано за технологією двоступеневого стиснення з АД-ТПЧ гвинтового компресора. Такі проєктні рішення значно збільшують холодопродуктивність ХМ за рахунок впровадження адаптивних регуляторів швидкості гвинтового компресора.

При цьому регулювання швидкості можливо виконати як за допомогою АД-ТПЧ, так і за допомогою системи золотникового регулювання.

На рис. 9.2 наведено залежність спожитої потужності гвинтового компресора від холодопродуктивності із якої слідує, що ці методи представляють інтерес для проєктантів щодо економії енергоресурсів з очікуваним потенціалом енергозбереження до 15-20% за рахунок стабілізації тиску всмоктування та контролю масової продуктивності, що проходить через компресор другої ступені в одиницю часу.

Оптимальна активна споживана потужність каскадом буде опосередковано свідчити про ефективну роботу ХМ щодо холодозабезпечення холодильної камери ХКМ1 великої рогатої худоби за рахунок:

- використання САР продуктивності гвинтового компресора згідно з показниками датчиків тиску АКС33, які вмонтовані в лінію всмоктування [10, 23];
- використання САР продуктивності конденсатора-випарника за допомогою тиристорного частотного перетворювача ТПЧ-АД насосів льодяної та оборотної води та регулятора тиску [50, 56].

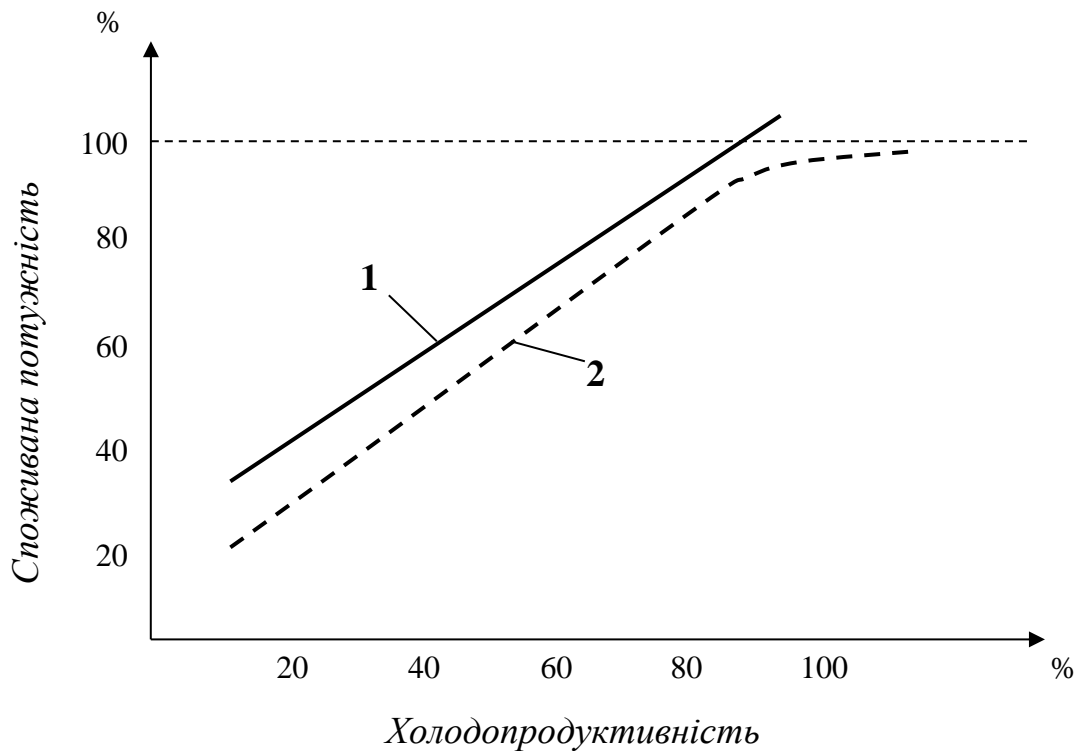


Рисунок 9.2 – Залежність споживаної потужності електроприводу від холодопродуктивності ХМ:

- 1 – контроль потужності за допомогою повзуна;
- 2 – контроль потужності за допомогою ТПЧ-АД

9.2. Принципи побудови оптимальних за критерієм енергоспоживання промислових холодильників

Процеси заморожування характеризуються наступними робочими характеристиками:

- тривалістю заморожування, параметрами середньої кінцевої температури продукту, кількістю відведеної теплоти, вологовмісту продукту, густини охолодженого продукту, геометрії розміру шматка (тіла) продукту;
- тривалістю холодильного зберігання різних продуктів харчування та підтримування стабільної низької температури в холодильних камерах ПРХ допомагають сповільнити зміни у продуктах, що є наслідками фізичних, хімічних та біологічних процесів і призводять до втрати маси, зміни зовнішнього вигляду, хімічного складу, консистенції.

- усиханням продуктів тобто оцінка втрати маси через випарювання вологи, що призводить до втрати маси та погіршення якості продуктів;
- рівнем вологи, що випаровується з поверхні продукту і яка конденсується на поверхні охолоджувальних пристроїв у вигляді снігової шуби;
- шар снігу створює додатковий термічний опір, що змушує систему інтелектуального керування знижувати температуру та тиск кипіння холодоагенту, а отже потрібно в реальному масштабі часу (РМЧ) контролювати витрати електроенергії;
- окислення продуктів харчування (сало, масло, жирні породи риб тощо), що призводить до зміни смаку і кольору продуктів.

Експерти з питань заморожування та охолодження продуктів харчування [29,30,45,46,47,50] вважають, що технологічні чинники, наведені в моделі на рис. 9.1. визначають енергетичну ефективність X_1 , кількісні параметри електроенергії за період роботи холодильних установок ПРХ, а загальний коефіцієнт енергоефективності, коефіцієнт теплопровідності, потужність компресорних установок тісно корелюють з питомими затратами електрики на одну тону замороженої продукції харчування.

Експерти з енергетичного аудиту [24,27,41] вважають, що на відхилення траєкторії електроспоживання ХМ ПРХ (поршневі компресорів, гвинтових компресорів, випарників-конденсаторів, насосів, приладів охолодження тощо) впливають як технологічні, так і енергетичні заходи. Поєднання цих двох методів дозволяє знизити енергоємність процесу виробництва холоду. Розглянемо ці заходи більш детально, звернувшись до рис. 9.1.

Наведена методика аналізу електричного господарства ПРХ дозволяє автоматизувати процес управління траєкторією електроспоживання підприємства харчової галузі на єдиній інформаційній платформі SCADA-систем, АСКОЕ, автоматизованих систем управління електроспоживанням (АСУЕ). В свою чергу траєкторія електроспоживання підприємств, в умовах обмежень потужності енергосистеми, визначає траєкторію оптимального виробництва продукції за допомогою автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП) [2,3].

Звідси слідує, що інтегровану автоматизовану систему управління підприємства, можливо представити у вигляді трьох взаємозв'язаних рівнів управління. Нижній рівень утворюють:

- АСУТП цехів з виробництва м'ясних продуктів, транспортування сировини – туш великої рогатої худоби (ВРХ), переробні цеха підприємства, цеха із заморожування м'ясної продукції.
- АСУЕ технологічних операцій й цехів пов'язаних між собою за допомогою SCADA – систем й автоматизованих систем управління збудниками СД, СЕР та джерелами реактивної потужності (ДРП).

Середній рівень утворюють MES (Manufacturing Execution System) системи [2,50], які орієнтовані на інформатизацію задач оперативного планування і управління виробництвом охолодженої або замороженої продукції, оптимізацію виробничими процесами та втрат електроенергії, газу, води,

мастильних матеріалів, дизельного палива, контролю й диспетчеризації використання планів і портфеля замовлень супермаркетів і диспетчеризації електропостачання.

Верхній рівень автоматизованого управління підприємством (АСУП) утворюють ERP-системи, які забезпечують рішення стратегічних задач виконання портфеля замовлень виробництва продукції, управління ресурсами, інвестиціями та забезпечують підтримку бізнес-процесів підприємства в цілому [26]. Цей рівень управління підприємством харчового комплексу міста також зв'язаний з підсистемами інформаційного забезпечення, програмного забезпечення(ПЗ), прийняття стратегічних рішень, ситуаційного управління, Промислового Інтернету-речей (ІоТ) та утворює з Центром ситуаційного управління підприємств (ЦСУ) виробників продуктів харчування підприємства-холодильника цифрову платформу «ХОЛОД».

На рис. 9.3 представлено структуру інтегрованої інтелектуальної системи, яка забезпечує оптимізацію виробництва портфеля замовлень споживачів(підприємств торгівлі) в періоди обмежень електроенергії за допомогою експертних систем (ЕС) шляхом побудови бази даних (БД), бази знань (БЗ), динамічної бази оперативних технологічних даних, динамічної бази оперативного стану енергосистеми та бази правил (БП).

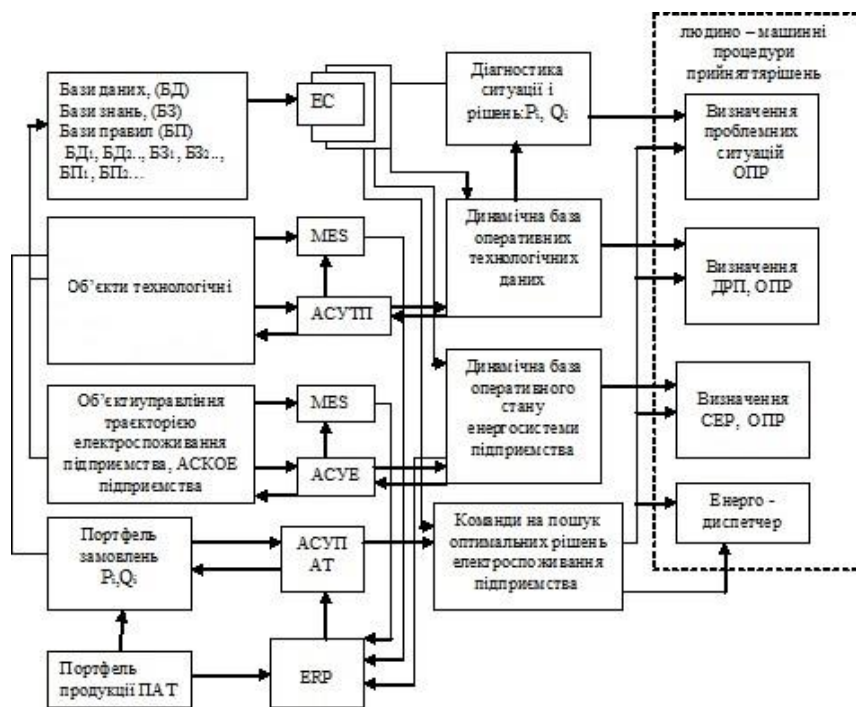


Рисунок 9.3. – Структура інтегрованої інтелектуальної системи управління електроспоживанням підприємства

Особливістю розробленої системи є:

по-перше, інтегрованість ЕС з АСУП – MES – ERP системами, Ситуаційним Центром (СЦ) комплексу, Промисловим Інтернетом-речей (ІоТ), цифровою платформою «ХОЛОД»;

по-друге, з експертною оцінкою в реальному масштабі часу параметрів холодопродуктивності холодильних камер, геометрії їх завантаження, температурних режимів, вологопотоків, вологості, якості продукції тощо;

по-третє, холодильні машини, до складу яких входять поршневі компресори великої продуктивності, гвинтові компресори, конденсатори-випарники, системи контролю і регулювання холодопродуктивності та холодопостачання холодильних камер.

Такий підхід забезпечує: узгоджену роботу управлінської та інформаційної підсистем АСУ підприємства; діагностику проблемних ситуацій й оцінку технологічно-енергетичних ситуацій; прийняття рішень щодо параметрів P_i , Q_i ; пошук оптимальних рішень щодо визначення СЕП і ДРП.

Нижній рівень (АСУТП, АСУЕ) найбільш інтенсивний за об'ємом інформації. Він також обмежений у часі щодо реакції на збурення, як в енергетичній системі так і в технологічній системі виробництва продукції.

В АСУТП, АСУЕ, SCADA-системах накопичується і обробляється велика кількість технологічних, енергетичних параметрів та створюється інформативна база вихідних даних для MES-систем, цифрової платформи «ІЖА»

В свою чергу, накопичена в SCADA-системах інформація утворює базу даних (БД) для прогнозування як технологічних параметрів виробництва продукції, так і прогнозування параметрів P_i , Q_i . Для прогнозування P_i , Q_i в темпі з процесом, у роботі використані штучні нейромережеві моделі (ШНМ) [43].

На рис. 9.4. наведені навчання ШНМ: для прогнозування реактивної потужності підприємства Q_{Ep} (а) та активної потужності P_{Ep} (б).

ШНМ (див. рис. 9.4а) складається із трьох шарів мережі на вхід якої надходять Q_1, \dots, Q_k – сигнали. На виході системи одержуємо $Q_{Ep}(t+\tau^*)$ – вихідні сигнали мережі з ваговими коефіцієнтами w_{ij}^1, w_{ij}^2 .

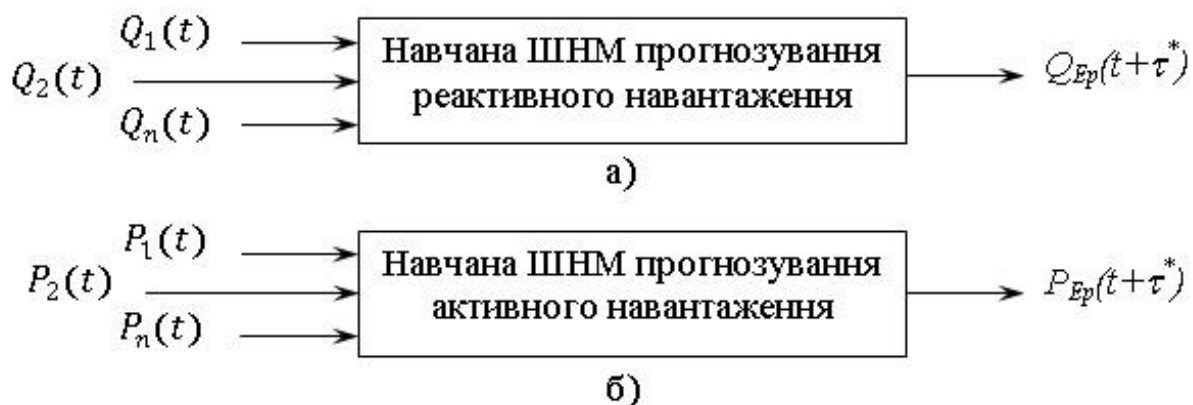


Рисунок 9.4. – Навчені ШНМ для прогнозування:
а) реактивної потужності Q_{Ep} ; б) активної потужності P_{Ep} .

Конфігурація мережі для прогнозування реактивного навантаження представляє структуру, у вхідному шарі якої знаходиться 4 нейрони, в

середньому 3, а вихідному 1 нейрон: ШНМ зі структурою 4-3-1. Навчання мережі проведено за допомогою комбінованого методу, послідовність навчання складає 150 вибірок, час навчання 10с при числі ітерації (кроків) навчання 450-500.

Час навчання ШНМ (див. рис. 9.4б), для прогнозування активних навантажень P_{Ep} підприємства при навчанні мережі по алгоритму зворотного розповсюдження помилки, складає 5 с при 50-250 ітераціях навчання, а по комбінованому алгоритму – 12-16 с при 1000 ітераціях навчання мережі. Після виконання прогнозу модель видає рекомендації щодо вибору числа ДРП на вводах електричної енергії та керує збудниками СД поршневих компресорів, СД насосів холодопостачання, СД – ексгаустерів фабрики з виробництва ковбас, заморожуваних продуктів тощо.

9.3. Управління траєкторією електроспоживання ПРХ

Розглянемо більш детально управління траєкторією електроспоживання ПРХ в залежності від технологічних режимів роботи холодильних камер.

На рис. 9.5. наведено схему автоматизованої системи управління електроспоживанням холодильних машин N холодильних камер промислового холодильника підприємства. Система електроспоживання кожної з N компресорних станцій ПРХ адаптована до нестационарних технологічних режимів роботи обладнання і характеризується інваріантністю до типу продуктів, які надходять на заморожування [9,10,11]. Траєкторії електроспоживання холодильного підприємства (холодильного комбінату) в момент T_i відповідає своя траєкторія виробництва холоду з робочими параметрами і технологічними параметрами, які визначають геометрію внутрішньо камерного завантаження продуктами харчування першої, другої, третьої і т.д. холодильних камер відповідно $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ та холодопродуктивності холодильних машин.

Температурні параметри холодильних камер характеризуються також технологічними параметрами, які визначають енергоефективність процесу заморожування. Серед них: масова холодопродуктивність, кДж/кг холодильних машин $Q_{1c}^{(XKM1)}, Q_{1c}^{(XKM2)}, Q_{2c}^{(XKM3)}, Q_{3c}^{(XKM4)}$ та відповідно продуктивність холодильників (т/год) – першої, другої й третьої холодильних камер; витрати вологи, що надходить до холодильних камер $W_B^{(XKM1)}, W_B^{(XKM2)}$, та інші технологічні параметри, що контролюються датчиками Д1, Д2, ..., Д20.

Роботу холодильного комплексу оцінюють за вихідними показниками: наприклад, $Q_{\text{мяс}}^{\phi}$ – фактична продуктивність підприємства за видами замороженої м'ясної продукції; $Q_{\text{риб}}^{\phi}$ – фактична продуктивність промислового холодильника по виробництву заморожуваних рибних продуктів харчування тощо по кожній із N камер промислового холодильника і параметрами холодопродуктивності та якості продукції ($\alpha_{\text{якв}}$) тощо.

ЦПУЕ – центральний нейропроцесор управління електроспоживання ПРХ; ЦСУ – центр ситуаційного управління; МКП – монітор корпоративної продуктивності; АСКОЕ – автоматизована система контролю й обліку електроенергії; АСУЕ – автоматизована система управління

електроспоживання промислового холодильника; ХМК1, ХМК2, ХМК3, ..., ХМК N – холодильні камери 1, 2, ..., N промислового холодильника; МКЛ – мікроконтролер; АД1 – асинхронний двигун з ТПЧ (тиристорним перетворювачем частоти); СД1, СД2, СД N – синхронні двигуни; УТ1, УТ2 УТ N – напруга електроприймачів синхронних двигунів поршневих компресорів та асинхронних двигунів гвинтових компресорів; U31, U32, U3 N – напруга збудників СД; ЕП1, ЕП2 – електроприймачі холодильних установок; БП1, БП2, ..., БП N – блоки-електроприймачі електроприводів компресорних установок; $Q_1^{ХМК_1}$, $Q_2^{ХМК_2}$, $Q_3^{ХМК_3}$, $Q_N^{ХМК_N}$ – вантажомісткість холодильних камер.

У цьому випадку важливим питанням узгодженого управління траєкторією електроспоживання є:

- розробка способу керування збудженням синхронних двигунів електроприводу поршневих компресорів ХКМ1, ХКМ2, ХКМ3, ХКМ4 тощо з метою зниження плати за перетоки реактивної потужності [31,32,33,34,35,36,44];
- розробка алгоритму енергетичної ефективності компенсації реактивної енергії за допомогою синхронних двигунів поршневих компресорів
- розробка методів корегування адаптивних регуляторів збудників синхронних двигунів поршневих компресорів.

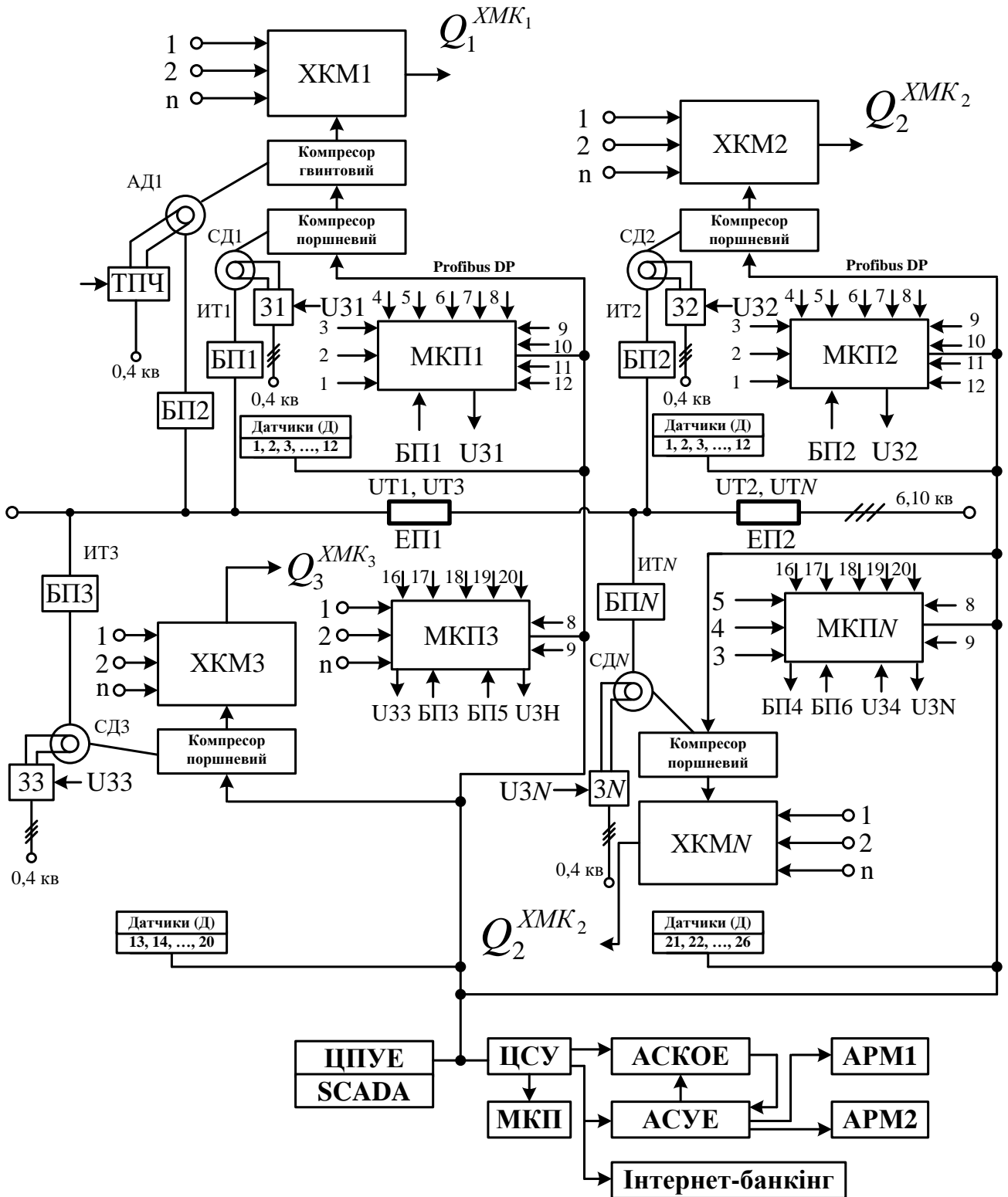


Рисунок 9.5. – Автоматизована система управління електроспоживанням промислового холодильника

9.4. Розробка проєкту керування холодопродуктивністю комплексу: поршневий компресор – гвинтовий компресор з АД-ТПЧ

Для одержання температур вище -40°C . будемо використовувати багатоступеневі компресорні холодильні машини, в яких поршневий компресор працює з електроприводом синхронний двигун СД, а гвинтовий компресор з приводом асинхронний двигун АД-ТПЧ.

Перейдемо до обговорення результатів інтелектуального управління енергоспоживанням харчового комплексу регіону з промисловим холодильником.

Вплив коливання якісних властивостей характеристик замороженої продукції на активну потужність електроприводу компресорів конденсаторів-випарників досліджено [45,46]. Такий підхід дозволяє опосередковано оцінити витрати електроенергії на виробництво запланованих технологічних параметрів: $Q_{\text{м'яс}}^{\Phi}$, $Q_{\text{риб}}^{\Phi}$, β , α . При зміні характеристик м'ясних продуктів змінюються і параметри питомих витрат електрики на нормовані параметри холодопродуктивності [23,24,25]. Тоді розрахункові витрати електрики будемо оцінювати по формулі:

$$W_K = Q_{\text{max}}^{\Phi} \cdot K_{\text{ср}} \cdot (\beta_{\text{темп1}}^K - \beta_{\text{темп2}}^{\text{с.р.}}) \cdot e_{\text{пит}}^{\Phi}, \quad (9.3)$$

де $K_{\text{ср}}$ – коефіцієнт, що відображає залежність температурних режимів тіла замороженого продукту від холодопродуктивності, що надходить на заморожування;

$(\beta_{\text{темп1}}^K - \beta_{\text{темп2}}^{\text{с.р.}}) = \Delta_{\text{темп}}$ – приріст температури в тілі продукту в процесах охолодження, заморожування і доморожування;

$e_{\text{пит}}^{\Phi}$ – питомі витрати електрики на виробництво однієї тонни замороженого продукту харчування із заданими параметрами якості $\beta_{\text{як}}$, $\alpha_{\text{як}}$ і вологи $B_{\text{зад}} < 10\%$.

Якщо енергосистема встановила підприємству ліміт електрики в періоди обмежень потужності, тоді

$$\max \left[\sum_{j=1}^n \int_0^{t+30} P(t) dt \right] \leq \sum_{j=1}^n P_{\text{лім}} = K_{\text{поп}} \cdot P_{\text{ном}}, \quad (9.4)$$

де $P(t)$ – активна максимальна потужність підприємства в періоди обмеження потужності енергосистеми;

$P_{\text{лім}}$ – розрахункова лімітна потужність;

$P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність;

N – кількість технологічних холодильних камер ПРХ;

$t_0 < t \leq t_{t-30}$.

Розрахована реактивна та повна потужності дорівнюють:

$$Q_p = P_{\text{лім}} \cdot \tan \varphi, \quad S_p = \sqrt{P_{\text{лім}}^2 + Q_p^2}. \quad (9.5)$$

Значенням E_k , $P(t)$, $P_{\text{ЛЛМ}}$, Q_p , S_p в кожний з періодів прогнозування t_1 , t_2 , t_3 будуть відповідати експертні значення холодопродуктивності $Q^{\Phi}_{\text{холод}1}$, $Q^{\Phi}_{\text{холод}2}$ і поточні значення параметрів φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 , $Q_{1c}^{\text{хкм}1}$, $Q_{1c}^{\text{хкм}2}$, $Q_{2c}^{\text{хкм}3}$, $Q_{3c}^{\text{хкм}4}$, $W_{\text{вх}}^{\text{хкм}1}$, $W_{\text{вх}}^{\text{хкм}2}$.

Перераховані вище параметри будемо вважати нечіткими множинами, для оцінки яких як і раніше, використаємо штучні нейронні мережі (ШНМ) [37,38.], по інформації датчиків Д1, Д2, ..., Д20. У автоматизованій системі управління електроспоживанням (АСУЕ) нейронні мережі можуть бути використаними також в задачах оброблення інформації, ідентифікації нелінійних систем, прогнозування, фільтрації, адаптованого управління, розпізнавання образів та діагностики.

В АСУЕ виконується автоматизований контроль параметрів витрат електрики по кожній із N технологічних холодильних камер. За допомогою системи АСКОЕ побудовано прогноуюча нейромережева модель і управлінська нейромережева модель: P_i – активної потужності; Q_i – реактивної потужності;

U_i – напруги.

Отже, в АСУЕ виконується моніторинг траєкторії електроспоживання ПРХ T_E^{Φ} по кожній із N технологічних холодильних камер:

$$\bar{T}_E^{\Phi} = \{\bar{T}_{E1}^1, \bar{T}_{E2}^2, \bar{T}_{E3}^3, \dots, \bar{T}_{EN}^N\}, \quad (9.6)$$

якій буде відповідати траєкторія $\bar{T}_{\beta}^{\Phi} = \{\bar{T}_{\beta K1}^1, \bar{T}_{\beta K2}^2, \bar{T}_{\beta K3}^3, \dots, \bar{T}_{\beta KN}^N\}$ виробництва заданої якості продукції заморожування. У випадку аварій в системі енергопостачання або зменшення ліміту $P_{\text{ЛЛМ}}$, та віялових відключень $\bar{T}_{\Delta Q}^{\Phi} = \{\bar{T}_{\Delta Q1}^1, \bar{T}_{\Delta Q2}^2, \bar{T}_{\Delta Q3}^3, \dots, \bar{T}_{\Delta QN}^N\}$ траєкторії виробництва продукції заморожування будуть відповідати ситуації невиконання портфеля замовлень підприємств України та країн ЄС.

Вище наведеним технологічним траєкторіям будуть відповідати технологічні, фінансові, економічні ризики [2,26]. Які обумовлені змінами характеристик заморожуваної продукції, що надходить на споживання, станом технологічного обладнання та електрообладнання і відповідно електропостачанням ПРХ. Таким чином, нормальній ситуації $\{\bar{S}_E^H\}$ буде відповідати своя траєкторія електроспоживання $\{\bar{T}_E^{\Phi}\}$, траєкторія виробництва заданої якості продукції заморожування $\{\bar{T}_{\beta}^{\Phi}\}$, траєкторія мінімізації втрати продукції $\{\bar{T}_{\Delta Q}^{\Phi}\}$ і мінімальні ризики не виконання планових показників щодо зниження прибутку $\bar{\Pi}_{\Phi}^H \rightarrow \bar{\Pi}_{\Phi}^H \text{ зад.зн.}$

У випадку проблемних, аномальних, аварійних і після аварійних ситуацій в енергосистемі АСУЕ діє таким чином. Видає рекомендації оперативному персоналу (АРМ начальнику зміни ПРХ, АРМ енергодиспетчера ПРХ). приймає рішення виведення електроспоживання на траєкторію $\{\bar{T}_E^{\Phi}\}$. Оптимізує

параметри: $P_1(t), P_2(t), \dots, Q_{1P}(t), Q_{2P}(t), Q_{3P}(t), \dots, Q_{1BX}(t), Q_{2BX}(t), \dots, Q^{\Phi}_{1\text{м'ясо}}, Q^{\Phi}_{2\text{риба}}$ по інформації датчиків як електричних так і технологічних змінних. Крім цього ряд параметрів, що визначають, наприклад чинники холодопостачання і характеристики термічної обробки продуктів, параметри геометрії внутрішньо камерного завантаження холодильних камер $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \dots, \varphi_N$ параметри заморожування та якості продукції будемо оцінювати за допомогою штучної п'ятишарової нейронної мережі, яка навчається за допомогою процедури зворотного розповсюдження [38].

Для прогнозування реактивного навантаження $Q_P(t)$ ПРХ у роботі використана трьохшарова ШНМ. У вхідному шарі знаходяться 4 нейрони, в середньому 3, а у вихідному 1 нейрон, тобто зі структурою 4-3-1. Для прогнозування активних навантажень $P_1(t), P_2(t), \dots$ в роботі використана архітектура 5-3-1 нейромережі ШНМ за допомогою алгоритму зворотного розповсюдження [2,3].

Виключення технологічного перевищення активної потужності підприємством $P_{ном}(t)$ в період $T_{обм}$ досягнуто контролем значення цієї потужності системою АСКОЕ через фіксовані проміжки часу t_1, t_2, t_3 і т. д.

Для забезпечення економічно вигідних режимів функціонування виробництва технологічних процесів заморожування(охолодження) енергосистема встановлює обмеження на рівень реактивної потужності споживачів електроенергії: максимальне і мінімальне значення реактивної потужності. Ці обмеження звичайно диференціюються в часі доби (є функціями поточного часу). Напруга на затискачах електроприймачів СД КМ УТ1, УТ2, УТ3, УТ4 при цьому не повинна виходити за допустимі межі: максимальне і мінімальне значення, які встановлені нормативними документами (коливання напруги на електроприймачах допустимо в межах $\pm 5\%$ або від -5% до $+10\%$ від номінальної напруги) [27,28,31,49].

Підтримання напруги в межах установлених норм дозволяє мінімізувати втрати активної потужності в асинхронних двигунах (АД) конденсаторів, випарників і насосних агрегатів холодопостачання, тобто зменшити додаткове споживання ними реактивної потужності. Це значення суттєво, так як при підвищенні напруги на 1% реактивна потужність, яку споживає АД, збільшується на 3% [27,31].

Такий підхід дозволяє підвищити ефективність керування багатоступеневими компресорними холодильними машинами щодо заморожування та доморожування м'ясних продуктів харчування шляхом вибору раціональних параметрів термічного оброблення, та відповідно використати СД поршневих компресорів для генерування реактивної потужності $Q_{2P}(t), Q_{3P}(t)$.

Ці функції в АСУЕ виконують мікропроцесори МКП 1, 2, 3, ..., N, інформація з яких надходить до центрального нейропроцесора управління електроспоживанням (ЦПУЕ) і відповідно систем АСКОЕ і АСУЕ, АРМ.

У проєктних рішеннях (рис. 9.5) це інтелектуальна система управління, в якій інформація з датчиків Д1-Дп стадії завантаження холодильних камер ХКМ1, ХКМ2, з датчиків технологічних параметрів поршневих та гвинтових

компресорів ХМ і холодопродуктивності $D_{13}^2 - D_{20}^2$, заморожування рибопродуктів ХКМ3, з датчиків $D_{21}^3 - D_{26}^3$ холодильних камер для зберігання ягід і фруктів ХКМ15, ХКМН з електроприладів (АД) технологічних апаратів, виконуючих механізмів через шину Р надходить в підсистему інформаційного забезпечення ЦСУ. Вони утворюють нижній рівень управління технологічним процесом і електроспоживанням поршневих і гвинтових компресорних установок (рівень управління контролерів).

Верхній рівень управління електроспоживанням ПРХ з ЦПУЕ і МКП моніторингу технології виробництва холоду та контролю енергетичної ефективності та холодопродуктивності з АСКОЕ і АСУЕ утворює рівень диспетчерського керування (АРМ1 – начальника зміни і АРМ2 – енергодиспетчера).

Основою диспетчерського керування є монітор корпоративної продуктивності (МКП), на якому виконується візуалізація не лише елементів системи електроспоживання ПРХ, технологічного процесу холодозабезпечення, але і їх взаємозв'язки та комунікації у динаміці. Все це створює умовну картину (схеми) енергетичного і технологічного процесу ПРХ. Крім цього АСУЕ ПРХ через інформаційні канали зв'язку MES і ERP утворюють інтелектуальну систему управління електроспоживанням підприємства (див. рис. 9.3). У таких інтелектуальних системах керування збурення від впливу характеристик харчових продуктів на параметри витрат електрики будемо також оцінювати за допомогою нейромереж [29,50].

Нейропроцесор ЦПУЕ виконує розпізнавання параметрів геометрії завантаження холодильних камер $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, і т. д. оцінює $\bar{U}_{T1}, \bar{U}_{T2}, \bar{U}_{T3}, \bar{U}_{T4}$ та визначає екстремум функції ЕК (економічного критерію) вигоди від генерування реактивної потужності синхронними двигунами електроприводів поршневих компресорів ПРХ.

$$EK = EP_Q - EPP_m = C_Q - C_{P_m} = f(\alpha_{opt}), \quad (9.7)$$

де EP_Q – економічний показник виробництва (споживання) реактивної потужності;

EPP_m – економічний показник витрат активної потужності;

C_Q – величина (ціна) сплати за генеровану потужність за час t ;

C_{P_m} – величина сплати за витрачену на це активну потужність.

Чинник ЕК функціонально залежить від α_{opt} – оптимального куту завантаження синхронного двигуна поршневого компресора по реактивній потужності. Йому відповідає оптимальний режим сплати за спожиту активну потужність, що витрачається на генерацію реактивної потужності на затискачах синхронних двигунів ХКМ1, ХКМ2, ХКМ3, ХКМ4, ХКМ5 (м'ясо ВРХ).

Тобто умовою отримання такого режиму буде прогнозування ЦПУЕ за технологічними параметрами стану електроспоживання кожною холодильною

камерою ПРХ $P_1, P_2, P_3, P_4, Q_{P1}, Q_{P2}, Q_{P3}, Q_{P4}$ при $\bar{U}_{T1}, \bar{U}_{T2}, \dots, \bar{U}_{T4} = const$ і $e^{\Phi}_{ПИТ} \rightarrow e^{\Phi}_{ПИТ\text{ зад}}$. За допомогою навчених НМ ЦПУЕ по параметрам:

$$\begin{aligned} \{\varphi_1, Q_{1C}^{KM1}(t), ЦН1\} &\rightarrow \text{оцінює } \alpha_{\text{ОПТ СД1}} \\ \{\varphi_2, Q_{2C}^{KM2}(t), ЦН2\} &\rightarrow \text{оцінює } \alpha_{\text{ОПТ СД2}} \\ \{\varphi_3, Q_{3C}^{KM3}(t), \beta^2\} &\rightarrow \text{оцінює } \alpha_{\text{ОПТ СД3}} \\ \{\varphi_3, Q_{4C}^{KM4}(t), \beta^3\} &\rightarrow \text{оцінює } \alpha_{\text{ОПТ СД4}}, \text{ і т. д.} \end{aligned}$$

Оптимальні уставки збудників СД поршневих компресорів визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} \bar{U}_{31}[n+1] &= \bar{U}_{31}[n] + K1(\bar{U}_{B\max} - \bar{U}_{B0}) e^{-\frac{t}{\tau_{B1}}} \\ \bar{U}_{32}[n+1] &= \bar{U}_{32}[n] + K2(\bar{U}_{B\max} - \bar{U}_{B0}) e^{-\frac{t}{\tau_{B2}}} \\ \bar{U}_{33}[n+1] &= \bar{U}_{33}[n] + K3(\bar{U}_{B\max} - \bar{U}_{B0}) e^{-\frac{t}{\tau_{B3}}} \\ \bar{U}_{34}[n+1] &= \bar{U}_{34}[n] + K4(\bar{U}_{B\max} - \bar{U}_{B0}) e^{-\frac{t}{\tau_{B4}}}, \text{ і т. д.} \end{aligned} \quad (9.8)$$

де $\bar{U}_{B\max}$ – максимальна напруга, яка підведена до обмотки збудника;

$\bar{U}_{31}, \bar{U}_{32}, \dots$ – напруга збудника у номінальному режимі;

$\tau_{B1}, \tau_{B2}, \tau_{B3}, \tau_{B4}$ – постійні часу збудників СД поршневих компресорів;

$K1, K2, K3, K4$ – коефіцієнти, які залежать від ступеню заповнення холодильних камер $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_N$.

Адаптивні системи управління збудниками синхронних двигунів поршневих компресорів побудовані за допомогою алгоритмів оптимального безпошукового керування [1,2,3,26]. Якщо підприємства комплексу працюють з споживачами-регуляторами використовуючи диференційований тариф, то ЦПУЕ, одержуючи прогнозні значення $P_1(t), P_2(t), P_3(t), \dots, P_N(t)$, оцінює траєкторію електропостачання ПРХ в моменти часу доби «ніч», У випадку відхилення $P_{\text{ФАКТ}}$ від $P_{\text{ЛИМ}}$ ЦПУЕ відпрацьовує підпрограму «збитки». Для цього в пам'ять ЦПУЕ внесена таблиця пріоритетів електроспоживачів ПРХ, диференційованих за категоріями «збитки», щодо виробництва найбільш низькотемпературних заморожуваних м'ясних продуктів $Q^{\Phi}_{\text{м'ясо}}$.

При цьому ЦСУ відпрацьовує наступне правило: якщо $P_{\text{ФАКТ}} \gg P_{\text{ЛИМ}}$, а β_e м'ясо $\rightarrow \beta_e$ зад, $Q^{\Phi}_{\text{м'ясо}}$ і $T^{\Phi}_{\Delta Q \text{ м'ясо}}$ відповідає заданому значенню, то необхідно відключити АД гвинтових компресорів другої ступені холодильних машин системи холодопостачання на період $t_{\text{ЛИМ}}$ від мережі та включити дизель-генератори щодо компенсації холодопродуктивності з метою стабілізації параметрів холодозабезпечення ХКМ1, ХКМ2 і т. д.

У цій ситуації, одночасно енергопотужність ПРХ буде зменшено на 10 %. По команді АСУЕ-АСУ технологічні апарати холодильних машин будуть

відпрацьовувати траєкторію виробництва холоду, забезпечуючи виконання планових показників виробництва продукції.

Для періоду «перевищення ліміту» розроблено наступне правило: якщо $P_{\text{ФАКТ}} \gg P_{\text{ЛІМ}}$, а $\beta_{\text{м'ясо}} \rightarrow \beta_{\text{зад}}$, $Q^{\Phi}_{\text{м'ясо}}$ і $T^{\Phi}_{\Delta Q_{\text{м'ясо}}}$ відповідає заданому значенню, то необхідно відключити лише ті регулятори, які не пов'язані з виробництвом продуктів харчування. У цьому випадку одночасно енергопотужність комплексу буде зменшена на 20 %. По команді АСУЕ-АСУ ПРХ технологічні холодильні апарати першої, другої та третьої і так далі холодильних камер м'ясної групи продукції для періоду обмежень потужності енергосистеми відпрацьовують за допомогою інтелектуальних технологій алгоритм мінімізації втрати якості замороженої (охолодженої) продукції.

Для періоду «ніч» розроблено наступне правило: якщо $P_{\text{ФАКТ}} = P_{\text{ЛІМ-НІЧ}}$, а $\beta_{\text{м'ясо-НІЧ}} \rightarrow \beta_{\text{зад}}$, $Q^{\Phi}_{\text{м'ясо}}$ і $T^{\Phi}_{\Delta Q_{\text{м'ясо-НІЧ}}}$ відповідає заданому значенню, то необхідно максимізувати виробництво холоду, шляхом постійного моніторингу чинників $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_N$ та $\alpha_{\text{як}}$ вихідного продукту.

У цьому випадку АСКОЕ-АСУЕ відпрацьовують задані значення траєкторії електроспоживання ПРХ T^{Φ}_E , максимізуючи чинники $Q^{\Phi}_{\text{м'ясо}}$ і максимізуючи $\alpha_{\text{якmax}}$ і відповідно $e^{\Phi}_{\text{ПІТ зад}} \rightarrow e^{\Phi}_{\text{ПІТ min}}$, а отже $\alpha_{\text{ОПТ СД1}}$, $\alpha_{\text{ОПТ СД2}}$, $\alpha_{\text{ОПТ СД3}}$, $\alpha_{\text{ОПТ СД4}}$ та відповідно мінімальні витрати електрики W_k .

Завдання ЕС АСУЕ – організувати своєчасне та повне використання обладнання, поточної інформації з метою визначення стану електроспоживання підприємства й надання необхідної інформації персоналу (ОПР) для прийняття рішення щодо виробництва продуктів харчування – ПРХ.

Отже, підвищення ефективності управління режимами електроспоживання підприємств харчової промисловості досягнуто за рахунок узгодженого автоматизованого управління технологічними процесами охолодження та заморожування м'ясної продукції, риби, птиці, молочних продуктів, фруктів тощо та АСУЕ процесів електроспоживання, шляхом побудови ЕС та людино-машинних систем прийняття рішень.

Таким чином, розроблено інтелектуальну систему узгодженого управління електроспоживанням холодильного комплексу групи підприємств виробників та підприємств споживачів харчів у періоди обмежень енергосистемою потужностей по активному і реактивному навантаженню. Вона дозволяє зменшити втрати виробництва продукції (продуктів харчування) в періоди обмежень потужності енергосистеми та максимізувати продуктивність комплексу в період «ніч», виконавши, «точно у термін» замовлення супермаркетів та підприємств споживачів продуктів харчування, а також виконати портфель замовлень переробних заводів України та країн ЄС.

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. Які величини характеризують електроспоживання холодильної машини
2. Які параметри необхідно визначити при побудові причинно-наслідкової моделі
3. Наведіть аналогії між витратами електрики та температурними характеристиками продукту заморожування.
4. Опишіть сучасні системи автоматизованого керування процесом електроспоживання промислового холодильника.
5. Яким чином проєктантами виокремлено енергоспоживачі – регулятори, компенсатори реактивної потужності для штучного вирівнювання графіків електронавантаження системи підприємства.
6. Особливості найбільш енергоємних споживачів електрики холодильної системи.
7. Яким чином проєктанти проєкту визначили виробничі ситуації щодо вибору раціональних режимів роботи холодильних камер промислового холодильника.
8. Назвіть чинники, які є важливими щодо розробки проєкту інтелектуальної системи узгодженого управління траєкторією електроспоживання промислового холодильника.

Тести

Тест1. Верхній рівень автоматизованого управління підприємством (АСУП) утворюють ERP-системи, які забезпечують рішення: а) стратегічних задач виконання портфеля замовлень електрики та виробництва штучного холоду; б) управління ресурсами, інвестиціями; в) оперативного планування; г) корекції витрат електрики.

Тест2. Час навчання ШНМ для прогнозування активних навантажень P_{Er} підприємства при навчанні мережі по алгоритму зворотного розповсюдження помилки, при 50-250 ітераціях навчання складає: а) 10с; б) 20с; в) 5с; г) 100с.

Тест 3. Роботу холодильного комплексу енергоменеджери оцінюють за вихідними показниками, а саме: а) $Q_{\text{мяс}}^{\Phi}$ – фактична продуктивність підприємства за видами замороженої м'ясної продукції; б) $Q_{\text{риб}}^{\Phi}$ – фактична продуктивність промислового холодильника по виробництву заморожуваних рибних продуктів харчування; в) по кожній із N камер промислового холодильника; г) за параметрами холодопродуктивності та якості продукції ($\alpha_{\text{якв}}$).

Тест 4. Основою диспетчерського керування є монітор корпоративної продуктивності (МКП), на якому виконуються операції: а) візуалізації не лише елементів системи електроспоживання ПРХ, технологічного процесу холодозабезпечення; б) дослідження їх взаємозв'язків та комунікацій у динаміці; в) планування витрат активної та реактивної потужностей; г) всі відповіді правильні

Тест 5. У результаті виконання проєкту підвищення ефективності управління режимами електроспоживання підприємств харчової промисловості досягнуто раціональні показники за рахунок: а) узгодженого автоматизованого управління технологічними процесами охолодження та заморожування м'ясної продукції, риби, птиці, молочних продуктів, фруктів тощо; б) АСУЕ процесів електроспоживання; в) побудови ЕС та людино-машинних систем прийняття рішень; г) всі відповіді правильні

Частина 5. Проєктування багаторівневих систем керування промисловими холодильниками

Тема 10. Принципи проєктування багаторівневих систем інтелектуального керування холодозабезпеченням промислових холодильників

10.1. Об'єкт проєктування: інтелектуальні системи керування промисловими холодильними підприємствами

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 [2,20,29,51] знаходять використання в системах управління складними технологічними процесами охолодження, заморожування 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.

Утім методи штучного інтелекту також перспективні в системах холодозабезпечення промислових холодильників з N видами продукції.

Метою навчальної теми є проєктування багаторівневих автоматизованих систем керування процесами холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника шляхом використання інтелектуальних технологій.

У матеріалах теми розглянуто методи інтелектуалізації складних технологічних процесів зберігання продукції, опис яких практично відсутній у відомих бібліографічних джерелах. Такі методи базуються на автоматизації управлінських функцій оператора-холодильщика і дозволяють забезпечити технології заморожування продуктів харчування з мінімізацією втрат їх якості.

Ідея використання інтелектуалізації в системі керування 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 (ЦІУ) (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 керування промисловим холодильником наведена на рис. 10.1.

Якщо для виробництва холоду проєктанти використовують парокомпресійні 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;
- 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 гідромодуля, 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 [1,16], задіяних на нижньому рівні керування холодильними машинами (компресорами, конденсаторами, випарниками).

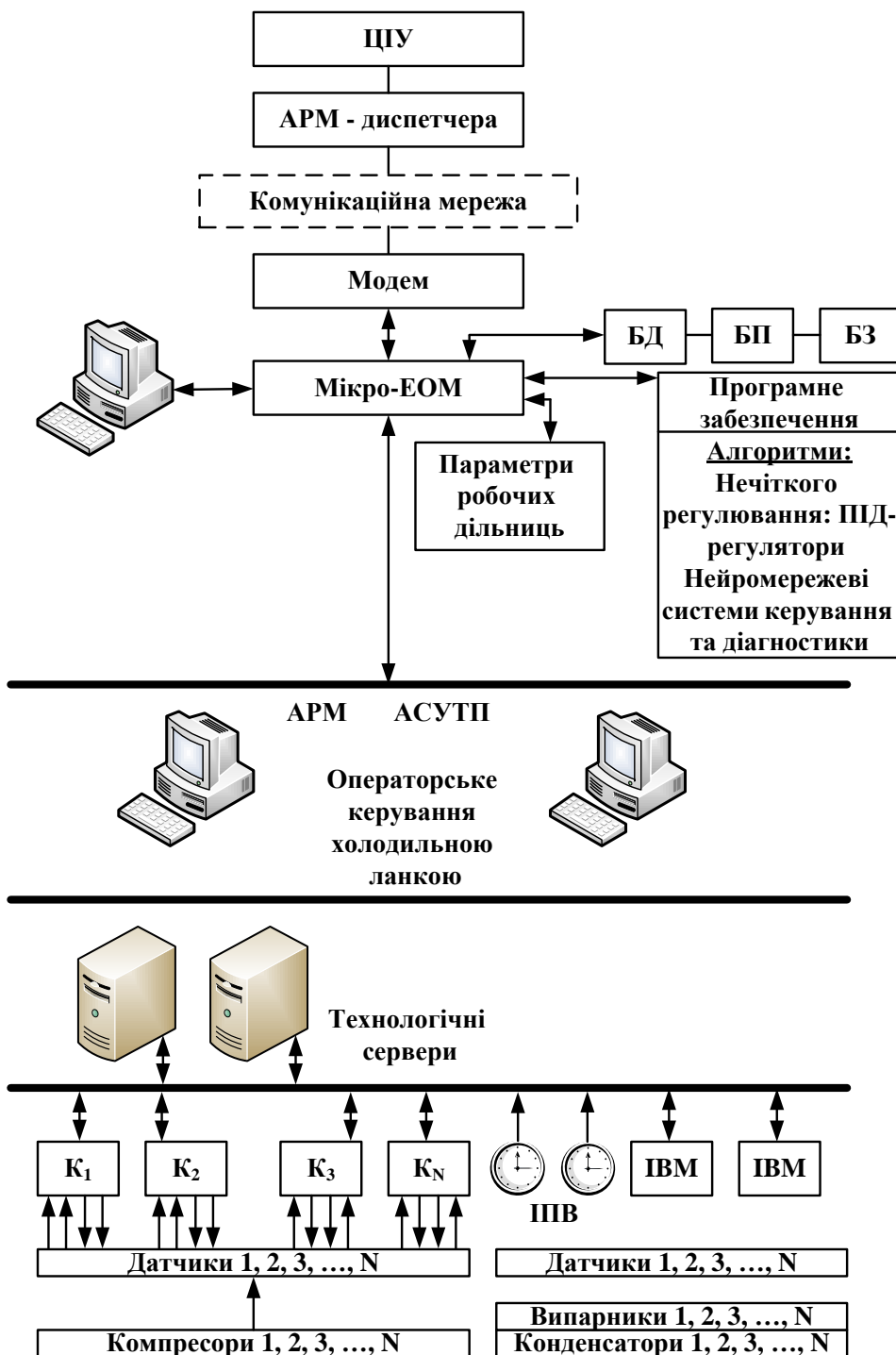


Рисунок 10.1. – Загальна функціональна схема автоматизації сучасного промислового холодильника (холодильної ланки):

ЦІУ – центр інтелектуального управління; ІВМ – інтелектуальні виконавчі механізми; ІПВ – інтелектуальні пристрої вимірювання

Схема автоматизованої системи холодопостачання представлена на рис. 10.2.

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.

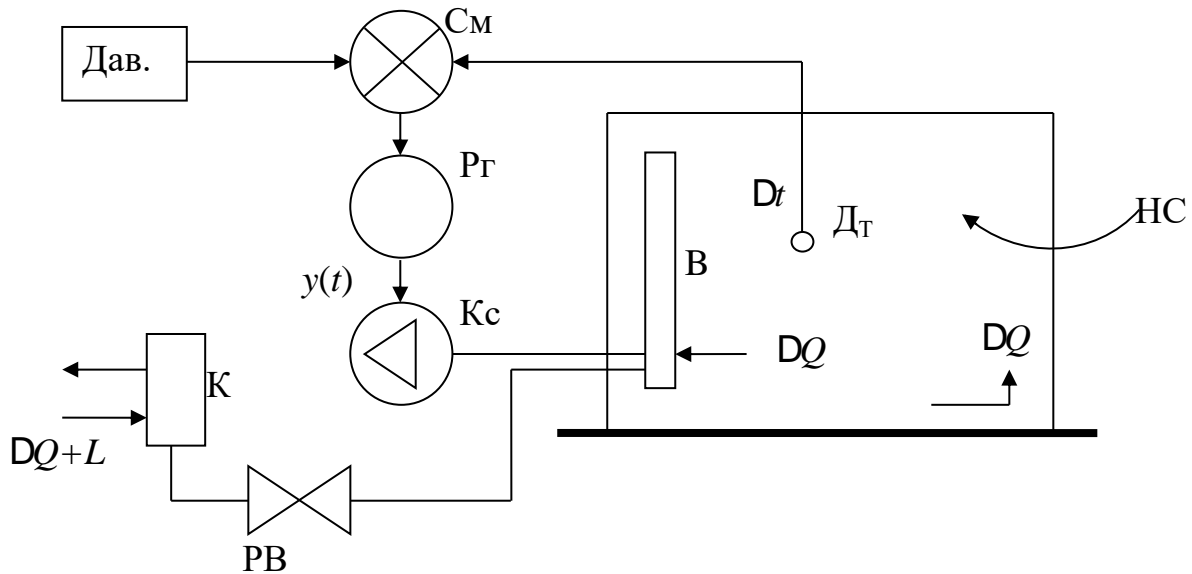


Рисунок 10.2. – Схема автоматизованої системи холодопостачання:

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 регульовальний вплив. Регульовальний 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 (33). Зворотний зв'язок в САР холодопостачання значно підвищує точність

керування холодопродуктивністю.

У процесі проектування 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 (рис. 10.1).

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;
- 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 ЦІУ 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

ЦІУ, 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 ЦІУ 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 ЦІУ 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 [47,49].

Звернемося знову до рисунку 10.2. Уявимо собі холодильну камеру ХМ, в якій є випарник. Якщо терморегулюючий вентиль 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 вентиля. 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.

Вище перелічені збурення можуть бути скомпенсовані за допомогою 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 проєктанти визначили оптимальним для харчової промисловості комп'ютер- SIMATIC Panel PC [3]. 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 [20].

10.2. Методи моніторингу оптимальної траєкторії процесу охолодження та заморожування харчових продуктів у холодильних камерах промислових холодильників

З метою побудови оптимальної траєкторії процесу охолодження та заморожування харчових продуктів в умовах обмеження 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 ОПР на ознаки виходу із ладу обладнання ХМ-холодопостачання-холодильних камер промислового холодильника. Тому в АСУТП промислового холодильника необхідно проєктувати системи діагностики холодильного обладнання на базі існуючих

систем інтелектуального керування, ПоТ та системи обладнання датчиків і станцій LoRaWAN [2].

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 направляєється 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 ПоТ, проєктуємо бездротову систему діагностики холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника. Серцем будь-якого проєкту Інтернету-речей (ІоТ) є його софтверна складова. Для проєкту системи моніторингу обладнання холодильних машин – це LoRaWAN Network Server, яка забезпечує спілкування між собою датчиків, актуаторів і базових станцій.

LNS також передає інформацію до ChirpStack LoRaWAN application-server (LAS), який відповідає за бізнес-логіку. Зв'язка LNS-LAS, як правило працює за MQTT протоколом, забезпечуючи таким чином універсальність обміну інформації з датчиками й системами контролю та ОПП.

Для передачі інформації з LAS Things Board PE далі в SCADA з підтримкою OPC UA (наприклад, Siemens Win CC Schneider Electric EcoStruxure або Open SCADA) використовується механізм інтеграції, який забезпечує різноспрямований обмін інформації OPC UA Server- LAS в мережі ПоТ холодозабезпечення промислового холодильника. LoRaWAN-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 ПоТ 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.

10.3.Методи проектування систем керування холодозабезпеченням холодильних камер смарт-промислових холодильників

У проєктах підвищення якості керування технологічним процесом холодозабезпечення холодильних камер будемо виконувати за рахунок розробки нейромережових регуляторів, інтелектуальних систем підтримки прийняття оперативних рішень та АСУТП промислових холодильників.

Технологічні процеси виробництва холоду за допомогою компресорних холодильних машин характеризуються великою кількістю циклічних, розділених і з'єднаних технологічних потоків, а також характеризуються множиною регулюємих і контролюємих параметрів. Вони залежать від: - некерованих стрибкоподібних змін навантаження; енергетичних втрат в магістралях холодопостачання і в обладнанні холодильних установок;

зміни властивостей і складу холодильного агенту і теплопередаючих поверхонь.

Крім цього, технологічні процеси виробництва холоду є енергоємними в силу фізичних закономірностей виробництва штучного холоду і відносяться до числа потенційно небезпечних, що обумовлено агресивними, ядовитими, вибухонебезпечними властивостями холодильних агентів [9, 10].

Загальна задача стратегічного оперативного управління промисловими холодильниками з сучасними компресорними холодильними машинами полягає в регулюванні холодопродуктивності ХМ при зміні теплового навантаження на об'єкт охолодження і стабілізації режимів роботи обладнання (компресора, конденсатора, випарника) за допомогою регуляторів, датчиків температури, вологи, тиску, мікропроцесорів та АСУТП [55,56] холодозабезпечення мікроклімату холодильних камер. На рис. 10.3 наведено загальну структуру взаємозв'язків, оцінених експертним шляхом, параметрів холодильної машини, холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника.

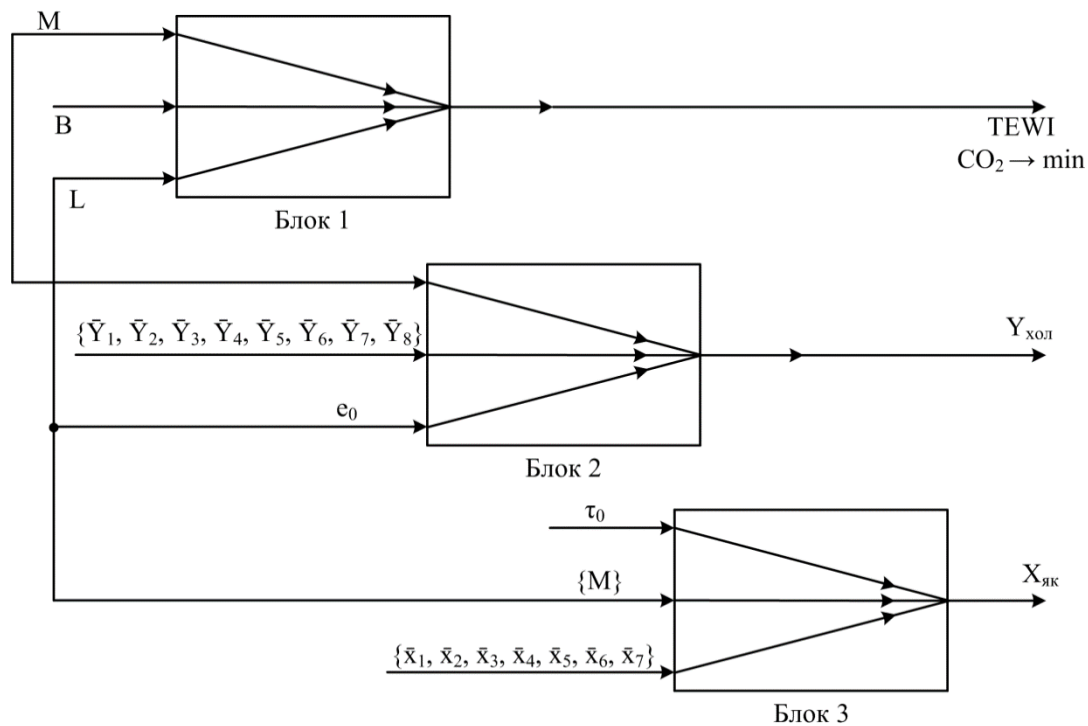


Рисунок 10.3. Загальна структура взаємозв'язків вхідних і вихідних параметрів холодильної машини (ХМ) холодозабезпечення холодильної камери (ХК) промислового холодильника

Практика забезпечення номінальних параметрів мікроклімату холодильної камери призведе, в свою чергу, до збереження корисних властивостей продукту заморожування (охолодження) і збільшує термін його збереження та якості.

У той же час, проєктанти повинні забезпечити оптимізацію витрат електроенергії (у період підтримування ефективної роботи холодильних машин), а за рахунок використання сучасних систем контролю викидів в атмосферу двоокису вуглецю забезпечити не лише мінімізацію викидів CO_2 в атмосферу, а, головне, вибрати найбільш небезпечні холодоагенти [2,3,4,5,7].

У світовій практиці для аналізу впливу холодильних агентів на зовнішнє середовище використовують параметр TEWI (Total Equivalent Warning Impact). Він носить назву сумарної еквівалентної теплової дії [7].

$$\text{TEWI} = \text{GWP} \cdot M + \alpha BL \quad (10.1)$$

де GWP – потенціал глобального потепління;

M – маса емісії холодильного агента в атмосферу;

α – коефіцієнт, що характеризує емісію двоокису вуглецю в атмосферу під час вироблення $1\text{кг CO}_2/1\text{кВт}\cdot\text{год}$ електроенергії;

B – кількість електроенергії, спожитої за період роботи холодильної установки, $\text{кВт}\cdot\text{год}$;

L – час роботи холодильної установки, год.

Звернемося до рис. 10.3, на якому наведена загальна структура взаємозв'язків вхідних і вихідних параметрів:

- зовнішнього середовища (блок 1) з мінімізацією викидів $\text{CO}_2 \rightarrow \text{min}$ в атмосферу;
- холодильної машини з мінімізацією питомих витрат енергії e_0 і чинників $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \bar{Y}_4, \bar{Y}_5, \bar{Y}_6, \bar{Y}_7, \bar{Y}_8, \bar{Y}_9\}$, які характеризують холодозабезпечення $\bar{Y}_{\text{хол}}$ та, відповідно, холодопродуктивність холодильних компресорних машин (блок 2);
- залежність втрат якості продукту заморожування $X_{\text{як}}$, тривалості заморожування τ_0 продукту і чинників $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5, \bar{x}_6, \bar{x}_7\}$, які визначають параметри якості заморожування продуктів та параметри мікроклімату $\{M_{\text{х.к.}}\}$ холодильної камери (блок 3) промислового холодильника.

Параметри мікроклімату $\{M_{\text{х.к.}}\}$ холодильної камери тісно пов'язані з параметрами $X_{\text{як}}$, $\bar{Y}_{\text{хол}}$, TEWI, τ_0 , e_0 і на них впливають різні управлінські та збурюючі фактори [2,5, 7]. Отже, холодильна камера промислового холодильника, як об'єкт керування є багатопараметричною системою з великою кількістю нечітких нелінійних зв'язків. Для покращення якості керування складним технологічним процесом заморожування харчових продуктів необхідно розробити інтелектуальну систему керування процесом холодозабезпечення із заданими параметрами мікроклімату $\{M_{\text{х.к.}}\}$, в основі якої буде покладено технології нечіткого оцінювання параметрів $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \dots, \bar{Y}_9\}$ і $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_7\}$ та технологій прийняття оптимальних рішень [3,4,5,6,7]. Суттєвою перевагою такого підходу з використанням інтелектуальних технологій є:

- відмова від високоточних систем контролю параметрів мікроклімату $\{M_{\text{х.к.}}\}$;
- скорочення часу (зменшення часу) вимірювання параметрів їх реєстрації та обробки;
- підвищення об'єктивності досліджень;
- можливість прогнозування параметрів TEWI, $X_{\text{як}}$, $\bar{Y}_{\text{хол}}$, в режимі реального часу.

Для побудови АСУТП холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника необхідно:

- визначити параметри, що їх необхідно контролювати, та управлінські впливи на регульовані параметри холодопродуктивності ХМ;
- розробити інтелектуальну систему підтримки прийняття операційних рішень (ІСППОР).

Для цього необхідно розробити критерії холодозабезпечення та якості заморожуваного продукту харчування.

У процесі визначення експертних знань [2] та побудови бази даних і бази знань із джерел [2, 3, 8, 9, 10,16, 19,20,21,45-49] використано ряд змінних, які визначають параметри холодозабезпечення, мікроклімат холодильних камер,

параметри CO_2 , емісію двоокису вуглицю в процесі роботи холодильної установки.

Експертним шляхом доведено, що критерій холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника $Y_{\text{хол}}$ залежить від наступних чинників: Y_1 – холодопродуктивності холодильних машин; Y_2 – витрати холодильного агента (кг/с) через компресор; Y_3 – температури кипіння холодоагенту; Y_4 – потужності, що споживається електродвигуном компресора холодильної машини; Y_5 – параметра TEWI (сумарної еквівалентної теплової дії) з мінімізацією емісії двоокису вуглецю; Y_6 – теплового балансу холодильної камери (приміщення охолодження); Y_7 – тиску холодоагенту у випарнику; Y_8 – швидкості заморожування продукту харчування; Y_9 – геометрії заповнення холодильної камери продуктом заморожування.

За експертними даними побудовано модель виду:

$$Y_{\text{хол}} = b_1 Y_1 + b_2 Y_2 + b_3 Y_3 + b_4 Y_4 + b_5 Y_5 + b_6 Y_6 + b_7 Y_7 + b_8 Y_8 + b_9 Y_9. \quad (10.2)$$

З коефіцієнтом множинної кореляції $R_M = 0,989$ модель можна використати в АСУТП для прогнозування параметрів $Y_{\text{хол}}$ та спроектувати нейромережевий регулятор для керування холодопродуктивністю холодильних машин промислового холодильника. На рис. 10.4 наведено структуру трьохканального нейромережевого регулятора керування: 1 – холодопродуктивністю двохступеневої компресорної машини; 2 – холодопродуктивністю конденсаторів; 3 – продуктивністю випарників.

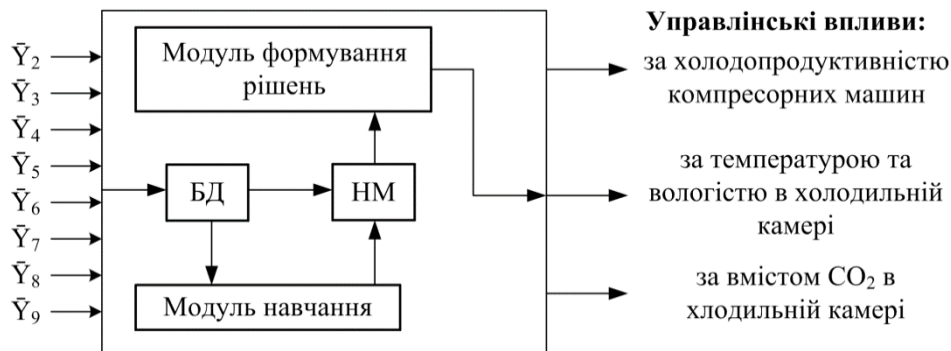


Рисунок 10.4. Структура нейромережевого регулятора холодильної машини

Нейромережевий регулятор складається із чотирьох блоків. Від підсистеми збору даних SCADA-системи інформація про параметри $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_9$ надходить до бази даних, яка передає параметри в модуль навчання, у якому нейромережа навчається. Разом із вхідними параметрами $\{\bar{Y}\}$ база даних передає в нейромережу також попередні дані про параметри $\{\bar{X}\}$ мікроклімату в холодильній камері, значення управлінських впливів та інформацію про вхідні параметри якості заморожуваного продукту.

Після цього навчена нейромережа за допомогою модуля формування рішень видає інформацію: 1 – на АРМ особи, яка приймає рішення; 2 – на виконавчі інтелектуальні механізми компресорів, конденсаторів-випарників, забезпечуючи холодопостачання холодильних камер для заморожування м'ясних продуктів промислового холодильника [16,21,24,25].

Відповідно, на виході нейромережевого регулятора на дисплей АРМ диспетчера подаються рекомендації щодо підтримування значень фізичних величин – управлінських впливів щодо температурних режимів, вологи та мікроклімату в холодильній камері.

У процесі вивчення оптимальних параметрів мікроклімату холодильних камер промислового холодильника експертним шляхом оцінюються такі нечіткі параметри:

x_1 – відносна вологість повітря в камері;

x_2 – температура в камері $t_{x.k.}$;

x_3 – температура замороженого продукту;

x_4 – витрати електроенергії поршневіми компресорами, конденсаторами для досягнення заданих параметрів мікроклімату холодильних камер;

x_5 – час роботи холодильної камери (годин) з номінальними параметрами заморожування продукту;

x_6 – витрати холодоагенту;

x_7 – параметри CO_2 в атмосфері.

На підставі цього одержимо такий критерій якості:

$$X_{як} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7. \quad (10.3)$$

де $X_{як}$ – параметр, що характеризує якість заморожуваного (охолодженого) продукту.

Проведене дослідження підтвердило експертний висновок, що параметри $X_{як}$ продукту залежать від багатьох зовнішніх факторів і від параметрів мікроклімату всередині холодильної камери, для яких можливо побудувати нечітке дерево рішень за методикою [2,3]. Адаптивне дерево рішень для $X_{як}$ (якості заморожування продукту харчування) наведено на рис. 10.5.

Дерево прийняття рішень – це дерево, в листі якого побудовані значення цільової функції, а в інших вузлах – умови переходу (наприклад, «Холод» ∈ «Процес заморожування»), які визначають, за яким із ребер необхідно пройти. Якщо для даного спостереження умова «дійсна», то має місце перехід по лівому ребру, якщо умова є «неправдою» – перехід здійснюється правим ребром. Зазвичай, кожний вузол включає перевірку однієї незалежної змінної. Якщо змінна, яка перетворюється у вузлі, приймає категоріальні значення, то кожному можливому значенню відповідає гілка, що виходить із цього вузла дерева. Якщо значенням змінної є число, то перевіряється, більше або менше це значення деякої константи. Для підвищення точності класифікації будемо використовувати нейрон-нечітке дерево рішень, яке має властивість адаптації параметрів за допомогою нейромережевого навчання [2,13, 19,28].

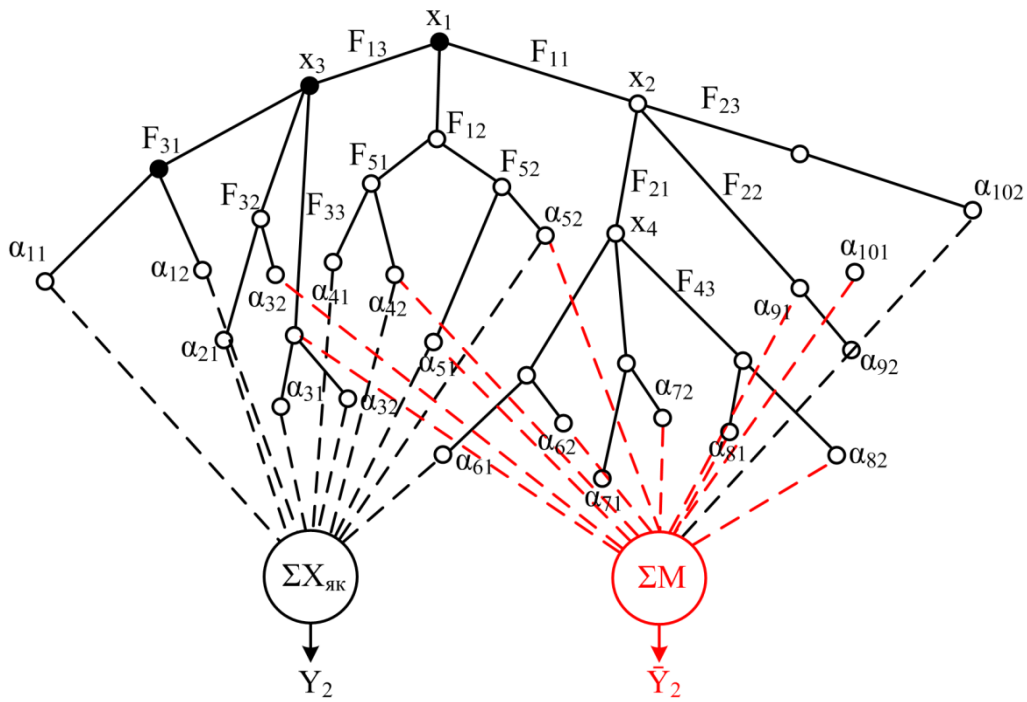


Рисунок 10.5. Дерево нечітких рішень

На рис. 10.5. наведено лише частину основного дерева рішень з двома інтегрованими вихідними вузлами. Ці вузли додані до дерева рішень, щоб сформувані виведення діагностуючих правил рішень: щодо забезпечення параметрів холоду, а, отже, і продуктивності ХМ, та транспортування холоду до холодильної камери ($\Sigma Q \rightarrow Y_1$); мікроклімату в холодильній камері ($\Sigma M \rightarrow Y_2$) та відповідно до ситуації, коли y_1 не відповідає заданим параметрам холодозабезпечення $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \dots, \bar{Y}_8\}$, холодопродуктивності Y_1 і параметрам $\bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \dots$, наведеним в моделі (10.3).

Тоді необхідно спрогнозувати також Y_2 – параметри мікроклімату холодильної камери $\{M\}$, які не забезпечують оптимальний режим заморожування $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_7\}$, тобто $\bar{y}_{\text{як.пот.}} \notin \bar{y}_{\text{як.зад.}}$.

Отже, будемо класифікувати два стани холодозабезпечення холодильних камер: $\bar{Y}_1 \in 1; \bar{Y}_1 \in 0$ та два стани мікроклімату: $\bar{Y}_2 \in 1; \bar{Y}_2 \in 0$. При цьому будемо використовувати неймережевий принцип навчання, який інтерпретує цикл зворотного зв'язку по ієрархічному нечіткому дереву рішень [35,79]. Адаптація параметрів Y_1 і \bar{Y}_1 , Y_2 і \bar{Y}_2 значно покращує точність класифікації дерева рішень без втрати інформації про якість заморожуваного продукту харчування, витрат енергії та діагностики параметрів холодопродуктивності та працездатності компресорів ХМ.

З метою обчислення, наприклад, Y_1 , з усіх листів вузла, які відповідають класу 1 («так») знайдені значення ваги α_{m1} підсумовуються. У даному випадку α_{m1} ($0 \leq \alpha_{m1} \leq 1$) можливо інтерпретувати як ступінь належності, що m -й шлях може класифікувати клас 1. Утім відзначимо, що у всіх листових вузлів, що

відповідають класу 0 «ні» знайдені значення ваги α_{m2} підсумовуються, щоб знайти \bar{Y}_1 . З метою довільного набору даних вагу класу l на m -листовому вузлі визначимо наступним чином:

$$\mu^i_{path_m} \times \alpha_{ml}, \quad (10.4)$$

де $\mu^i_{path_m}$ – ступінь належності $path_m$, яку обчислюють за формулою:

$$\mu^i_{path_m} = \prod_{j=1, \dots, 7} F_{jm}(S_j^l), \quad (10.5)$$

де F_{jm} – функція належності j -ї змінної, яку визначено на m -шляху.

Кожний m -й шлях ($m = 1, \dots, 7$) визначається на просторі вхідних шляхів у перетині від кореневого вузла до m -го листового вузла. Наприклад, $path_6$ на рис. 10.3 можна класифікувати як клас 1 («так») зі ступенем належності α_{62} [19,45-49].

Ступінь належності всіх листових вузлів, що відповідають класу l , підсумовуються щодо розрахунку прогнозних значень належності:

Y_l^i ($l = 1, 2$) i -го набору при проходженні через дерево рішень;

$$Y_l^i = \sum_{m=1}^7 \mu^i_{path_m} \times \alpha_{ml}, \quad (10.6)$$

де $0 \leq Y_l^i \leq 1$.

Після завершення процесу класифікації формуються класи від найбільшого ступеня належності l_0

$$l_0 = \arg \max \{Y_l^i\}. \quad (10.7)$$

$i = 1, 2$

У випадку оцінки параметрів мікроклімату холодильної камери $\{M\}$ за параметрами $X_{як} = f(x_1, x_2, \dots, x_7)$ оцінка «так» відповідає класу оптимального заморожування, проте оцінка «ні» відповідає класу неоптимального заморожування продукту харчування.

На основі побудованого нейро-нечіткого дерева рішень (рис. 10.3), для ОПР (диспетчер-оператор, технолог), розробимо інтелектуальну систему підтримки прийняття оперативних рішень (ІСППОР). Для цього запишемо основні нечіткі правила класифікації:

- оптимального мікроклімату холодильної камери $\{M\}(x_{\kappa_1}, x_{\kappa_2}, \dots, x_{\kappa_N})$ та якості заморожуваного продукту;
- ефективності параметрів холодозабезпечення (енергоефективності) холодильних камер промислового холодильника.

Для оцінки мікроклімату $\{M\}$ холодильної камери запишемо наступні правила:

$IF(x_1 \text{ is } F_{11} \wedge x_2 \text{ is } F_{21}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{11}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{11})$
 $IF(x_1 \text{ is } F_{11} \wedge x_3 \text{ is } F_{31}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{21}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{22})$
 $IF(x_2 \text{ is } F_{11} \wedge x_4 \text{ is } F_{41}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{31}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{32})$
 $IF(x_1 \text{ is } F_{12} \wedge x_5 \text{ is } F_{51}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{41}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{42})$
 $IF(x_1 \text{ is } F_{12} \wedge x_5 \text{ is } F_{52}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{51}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{52})$
 $IF(x_1 \text{ is } F_{13} \wedge x_2 \text{ is } F_{21} \wedge x_3 \text{ is } F_{31}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{61}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{62})$
 $IF(x_1 \text{ is } F_{13} \wedge x_2 \text{ is } F_{21} \wedge x_4 \text{ is } F_{41}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{71}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{72})$
 $IF(x_1 \text{ is } F_{13} \wedge x_2 \text{ is } F_{21} \wedge x_5 \text{ is } F_{51}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{81}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{82})$
 $IF(x_1 \text{ is } F_{13} \wedge x_6 \text{ is } F_{61} \wedge x_7 \text{ is } F_{71}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{91}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{92})$
 $IF(x_1 \text{ is } F_{13} \wedge x_4 \text{ is } F_{41} \wedge x_6 \text{ is } F_{61} \wedge x_7 \text{ is } F_{71}) \text{ THEN } x_{zr} = \text{YES}(\alpha_{101}) \text{ and } x_{zr} = \text{NO}(\alpha_{102})$

Для холодозабезпечення холодильних камер запишемо наступні нечіткі правила роботи компресорних машин і холодильних апаратів промислового холодильника:

$IF(Y_1 \text{ is } K_{11} \wedge Y_2 \text{ is } K_{21}) \text{ THEN } Y_{\text{хол}} = \text{YES}(\alpha_{11}) \text{ and } Y_{\text{хол}} = \text{NO}(\alpha_{11})$
 $IF(Y_1 \text{ is } K_{11} \wedge Y_3 \text{ is } K_{31}) \text{ THEN } Y_{\text{хол}} = \text{YES}(\alpha_{21}) \text{ and } Y_{\text{хол}} = \text{NO}(\alpha_{22})$
 $IF(Y_1 \text{ is } K_{12} \wedge Y_3 \wedge Y_4 \text{ is } K_{43}) \text{ THEN } Y_{\text{хол}} = \text{YES}(\alpha_{43}) \text{ and } Y_{\text{хол}} = \text{NO}(\alpha_{43})$

 $IF(Y_5 \text{ is } K_{51} \wedge Y_6 \wedge Y_7 \wedge Y_8 \wedge Y_9 \text{ is } K_{89}) \text{ THEN } Y_{\text{хол}} = \text{YES}(\alpha_{89}) \text{ and } Y_{\text{хол}} = \text{NO}(\alpha_{90})$

На основі розроблених нечітких правил, нечіткого регулятора і АСУТП промислового холодильника [19,26,28] запропонуємо інтелектуальну систему керування. На рис. 10.6 наведено схему такої системи у вигляді функціональних блоків: АРМ-диспетчера; АРМ-оператора (технолога); ІВМ – інтелектуальних виконавчих механізмів; МКП – монітору корпоративної продуктивності; ПЗ – програмного забезпечення; серверів, MES, ERP, Промислового Інтернету-речей (ІІоТ), цифрової платформи «Іжа». А також з системами керування параметрами мікроклімату холодильної камери ПРХ, виконаними в SCADA-системі Trace Mode [16] і системи цифрових датчиків температури, вібрацій, продуктивності, потужності, геометрії продукту заморожування, вологи тощо [15- 19]. Система забезпечує завдяки МКП коректну візуалізацію технологічного процесу, передачу даних про хід технологічного процесу в режимі реального часу (SCADA-система Trace Mode, інтеграція контролерів виконана за допомогою системи OS-9 і мови програмування стандартів ІЕС 1131.3).

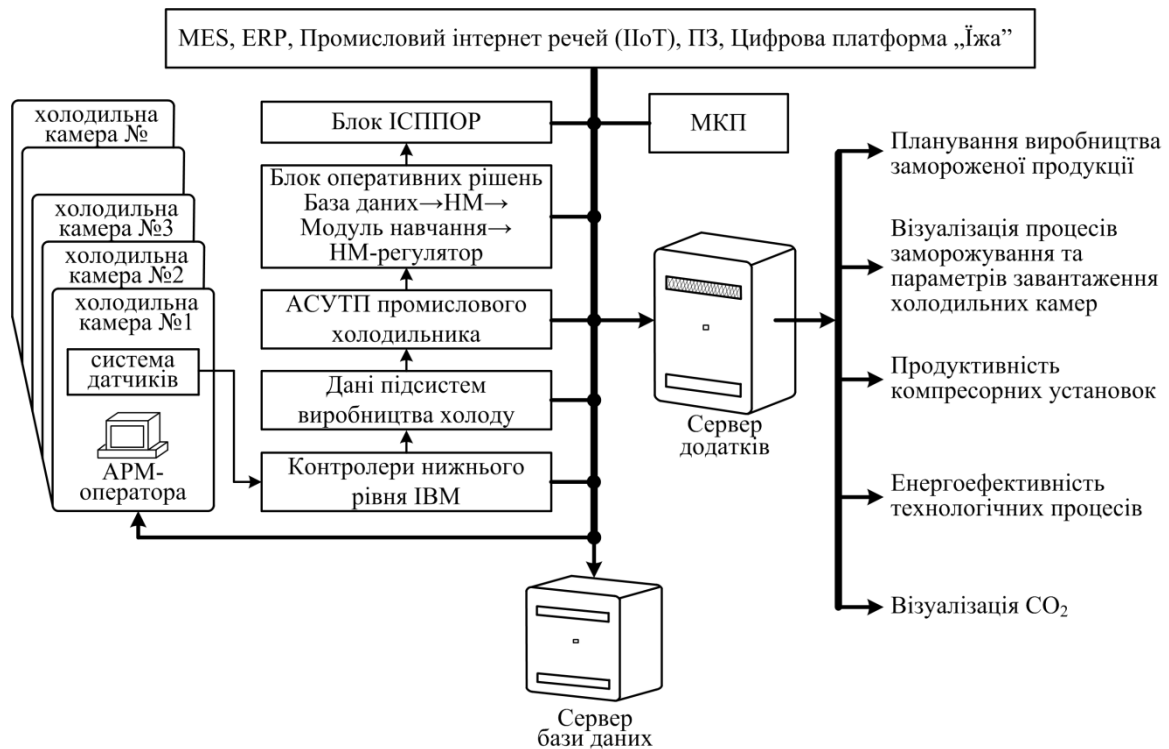


Рисунок 10.6. Функціональні блоки системи керування промисловим холодильником

Результати імітаційних досліджень на спеціальному лабораторному стенді холодильної камери показали, що розроблена система:

- забезпечує вимоги до якості цифрового управління холодопродуктивністю компресорних машин (перерегулювання цифрової системи складає 5%, що забезпечує показники якості заморожування продукції);
- є адаптивною по відношенню до умов виконання технологічного процесу щодо заморожування продуктів харчування зі змінними структурами продукту;
- забезпечує мінімізацію викидів CO_2 та запобігає втраті смакових властивостей заморожуваного продукту.

Таким чином, розроблено технічні рішення щодо реалізації системи інтелектуального керування процесами заморожування продуктів харчування зі змінними характеристиками якості. За умови нечіткої інформації розроблено моделі холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника й побудовано дерево нечітких рішень. Спроектовано нейронечіткий регулятор з інтелектуальними виконавчими механізмами керування холодопродуктивністю компресорів, конденсаторів-випарників в АСУТП смарт-холодильника, забезпечуючи задані параметри мікроклімату холодильних камер із заданими параметрами якості продукції та мінімізацією викидів CO_2 .

Імітаційне моделювання системи інтелектуального керування технологічним процесом заморожування продуктів харчування в умовах лабораторного полігонного стенду підтвердило: показники якості цифрового керування процесом; система забезпечує коректну візуалізацію технологічного процесу та запобігає втрачання смакових властивостей заморожуваного продукту.

10.4. Проєктування систем контролю та керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильників

У процесі виконання проєктних рішень цих елементів системи 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 [2,13, 17]. Такий підхід формування інтегрального зображення туші ВРХ за допомогою нейромережових технологій дозволяє:

- одержати інтегральні інформаційні параметри зображень туші ВРХ при формуванні сигналів з ультразвукових чутливих елементів та інших систем візуалізації;

- система дозволяє визначити геометрію, топологію і колір туші ВРХ для порівняльних сигналів зображення і зміни положення туші, її кольору тощо;

- 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, ділянок холодильної камер, що постійно аналізуються. При цьому перехід до типу зображення виконується на основі обчислення адаптивного коефіцієнту (експертного навченого зображення) і того дійсного зображення туші ВРХ, яка є в холодильній камері;

- система може розпізнавати ділянку території за допомогою нейромережових технологій, що дозволяє оператору-технологу (холодильщику) аналізувати кількість туш ВРХ та можливість додаткового дозавантаження холодильної камери.

На рис. 10.7. наведена схема інтелектуальної системи керування холодозабезпеченням холодильної камери. В холодильній камері для заморожування м'яса у вигляді туші, представленої на рис. 10.7, наведено схему положення туші ВРХ з системою одноканального розподілення повітря та систему датчиків розпізнавання геометричних розмірів (ВК1, ВК2, МС1, МС2), а також відеокамера ВК3 в системі розпізнавання стану випарника.

Розпочнемо проєктування цієї системи (рис. 10.7) з вивчення принципу дії інтегрованих датчиків контролю геометрії тіла ВРХ. У системі, як уже вказано, використано також матричний сенсор з ультразвуковим чутливим елементом.

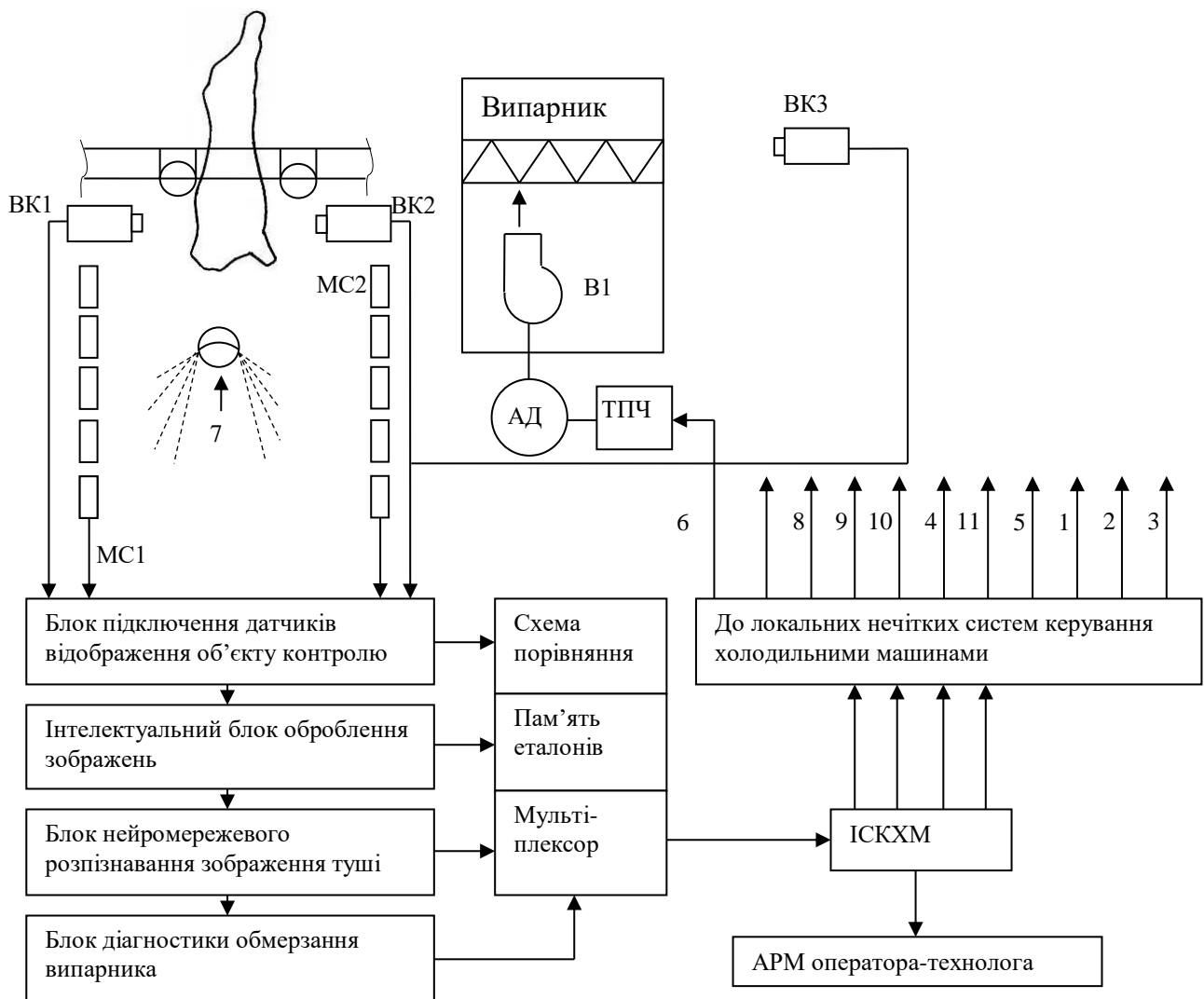


Рисунок 10.7. Інтелектуальна система керування холодозабезпеченням холодильної камери

Звернемся до рисунку 10.7, де наведено інтелектуальну систему керування холодозабезпеченням холодильної камери. Відеокамери ВК1, ВК2, ВК3 призначені для відображення розмірів туші та стану обмерзання випарника(В1). 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 нейромережевого розпізнавання зображень туші окремими входними 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 проєкті виконано за рахунок оцінки зображень різних розмірностей і кольору та обчислення оцінки:

$$\bar{v} = \text{arc extr}\xi[F_1(\lambda), R_1(\lambda, v)], \quad (10.8)$$

де ξ – міра наближення поточного зображення (відеосигнали з ВК1, ВК2, МС1, МС2) і еталонного зображення з параметрами R (R – еталонний розмір туші ВРХ);

$F_1(\lambda), R_1(\lambda, \nu)$ – функції, які описують геометричні розміри (геометрію) дійсної туші і еталонної відповідно.

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 об'єкт контролю.

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 матричні сенсори, дія яких основана на п'єзоефекті [2]. В цих датчиках в основному використовуються гнучкі полімерні п'єзоплівки. Схема матричного датчика на основі п'єзоелектричної плівки (полівінілфториду) представлена на рис. 10.9. Мініатюризація електричних елементів і нові технології їх виготовлення дозволили створити багат шарові інтегровані структури, які об'єднуються в одному модулі. Чутливий елемент і електронні пристрої повинні виконувати первинне оброблення сигналів.

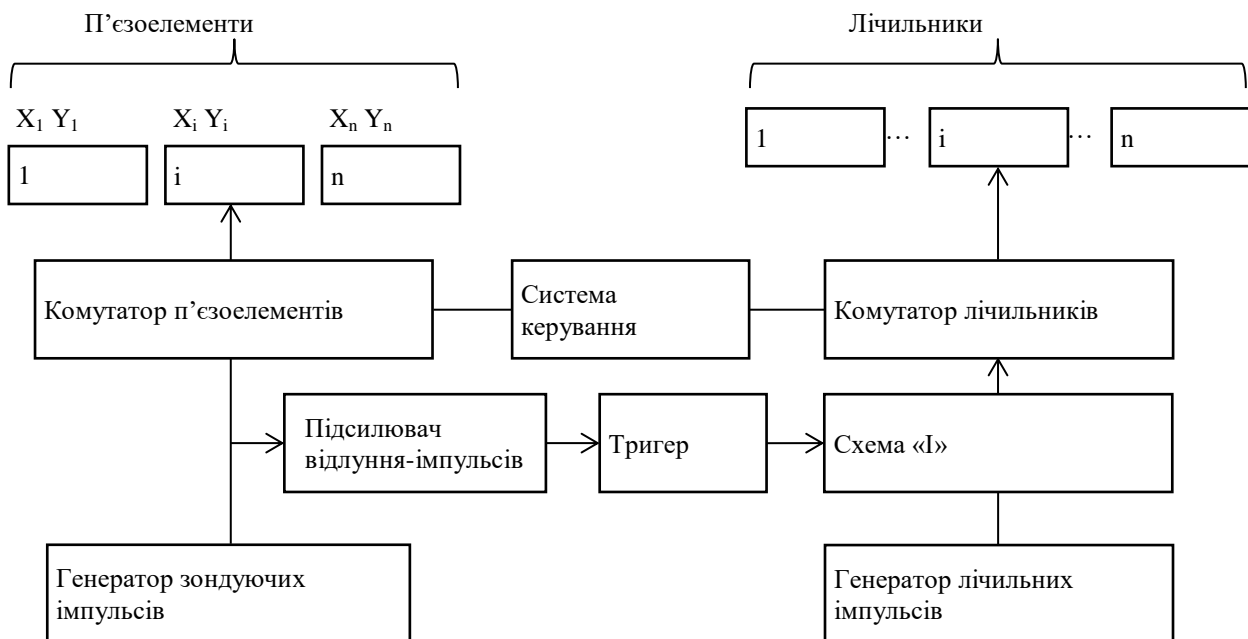


Рисунок 10.8. Блок схема системи керування матричним сенсором

Типовим прикладом є багат шарова матриця з п'єзометричним ефектом, яка представлена на рис. 10.9. 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 відлуння-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). 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 (100-150 В). 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 відлуння-імпульсів на його виході. При відомій швидкості розповсюдження ультразвукових коливань в матеріалі об'єкта, його висота (Z) в даній точці визначаються співвідношенням $Z = tv/2$, де t – інтервал часу між подачею зондуєчого імпульсу і появи відлуння-імпульсу. Зондуєчі імпульси від генератора надходять послідовно на п'єзодатчики через комутатор. Одночасно зондуєчий імпульс надходить на тригер, формуючи на виході сигнал підвищеного рівня відлуння-сигнал після підсилення також надходить на тригер, скидаючи цей сигнал. Таким чином, довгота вихідного сигналу тригера пропорційна висоті Z об'єкта в точці за адресою X, Y , що визначається комутатором [76]. 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 відлуння-імпульсів пропорційно висоті об'єкту.

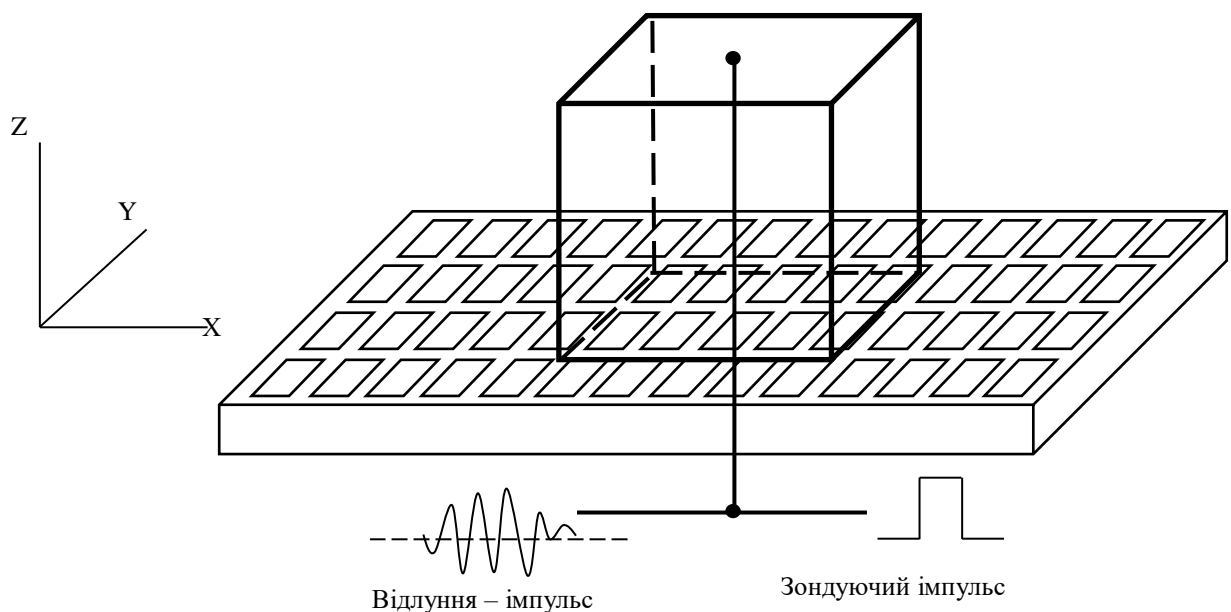


Рисунок 10.9. Матричний сектор з ультразвуковими чутливими елементами

Перетворювачі та лічильники підключаються на період, який визначає максимально допустиму висоту об'єкта. У відсутності відлуння-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 зондуючих імпульсів ($10^6 \dots 10^9$ Гц), що визначає його швидкодію.

На рис. 10.10. наведено систему комп'ютерного зору холодильної камери великої потужності для заморожування м'яса ВРХ. В системі використано банки експертного зображення ВРХ, та експертну систему і алгоритм розпізнавання обмерзання випарника холодильної камери промислового холодильника.

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

Система нейроуправління 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 нейроуправління з еталонною моделлю (*Model Reference Adaptive Control, Neural Adaptive Control*) [16, 17, 18, 23]. 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.

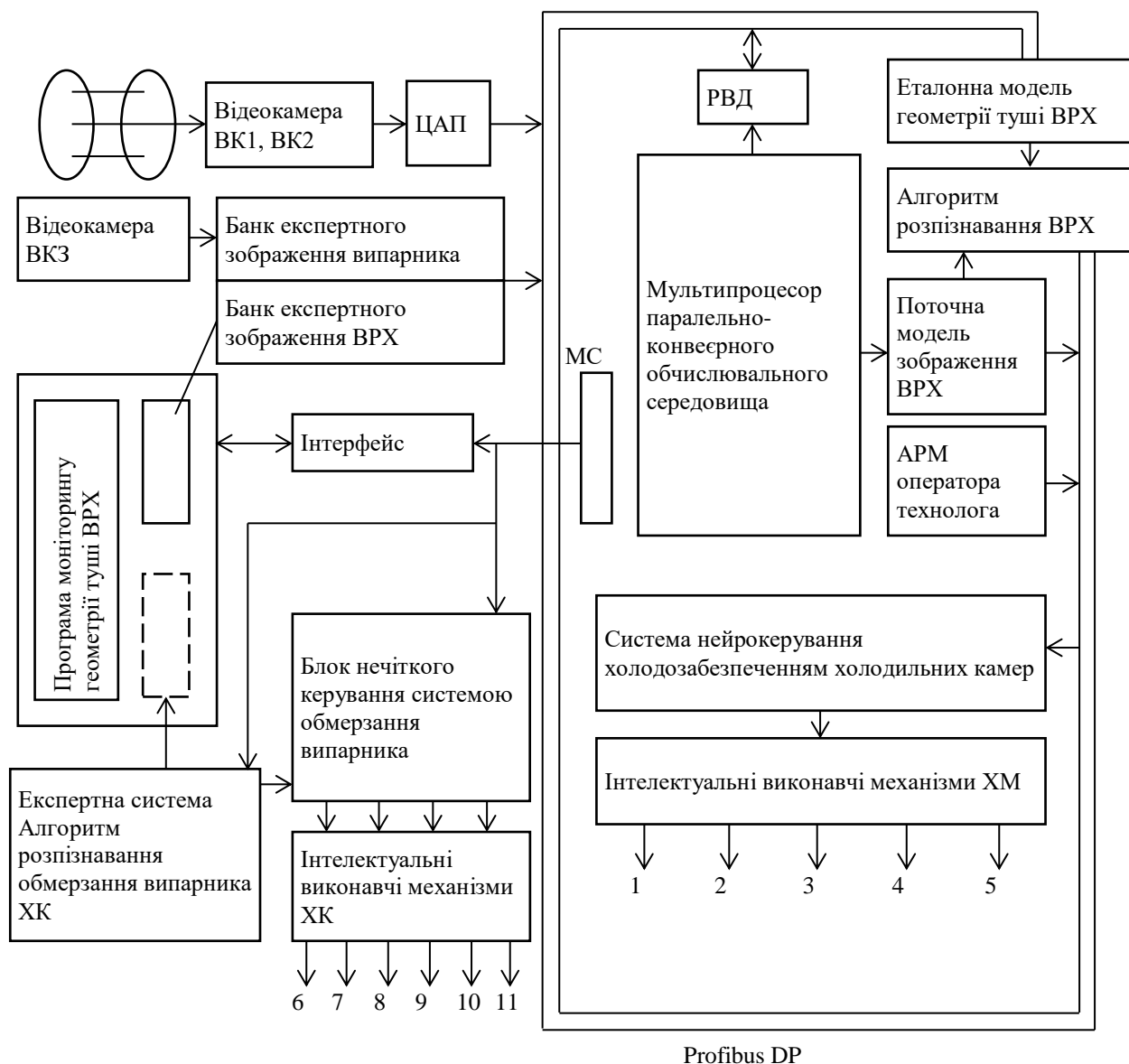


Рисунок. 11.10. Система комп'ютерного зору зображення геометрії тіла ВРХ та зображення стану випарника з системами нейрокерування РВД – реєстр вхідних даних з еталонними моделями

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 [27]. 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 значення кожного пікселя цифрового зображення ВРХ у вигляді інформаційної матриці векторів. Допустимо, що система навчена розпізнавати 10 зображень ВРХ. Отже, вихідний шар нейронної мережі повинен мати 10 нейронів, кожний з яких «навчений розпізнавати» відповідне 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 [16].

Оптимізація параметрів холодозабезпечення холодильних камер ПРХ для виконання операції заморожування м'яса в системі, забезпечена також за допомогою нечітких систем розпізнавання образів [3,13, 26,28]. 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 [1,26].

Побудуємо нечітку систему, яка спроектована на правилах з лінгвістичними змінними. Схема системи представлена на рис. 11.11, на вхід якої подається m -мірний вектор \vec{X} . Для кожної компоненти вектора \vec{X} , $i = 1, \dots, m$ в блоці «Ф-фазифікатор» побудований синглітон – однокрапкова нечітка множина.

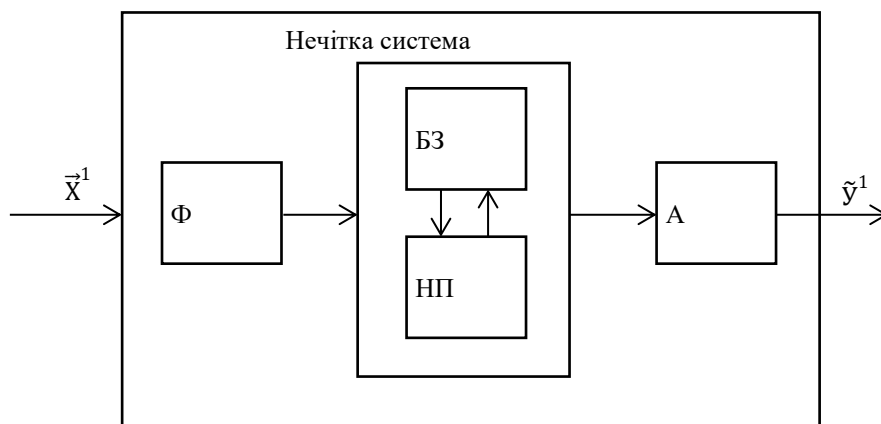


Рисунок 11.11. Схема нечіткої системи розпізнавання з нечітким виведенням сигналів-команд

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

На другому етапі виконується оброблення даних за допомогою механізму нечіткого виведення, який складається із бази знань (БЗ) і нечіткого процесора (НП). База знань будується за допомогою нечітких портретів, одержаних на етапі аналізу вибірки прецедентів [1,2]. 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». Наприклад, нехай ситуація S_1 – портрет «обмерзання випарника», тоді запишемо:

ПРАВИЛО "S₁":

ЯКЩО " $L_1 \in v_1$ " I, ..., I " $L_i \in v_1$ " I, ..., I " $L_m \in v_1$ ", ТО " $\tilde{v}_1 \in V_1$ "

.....

ЯКЩО " $L_1 \in v_j$ " I, ..., I " $L_i \in v_j$ " I, ..., I " $L_m \in v_j$ ", ТО " $\tilde{v}_1 \in V_j$ "

.....

ПРАВИЛО "S_k":

ЯКЩО " $L_1 \in v_k$ " I, ..., I " $L_i \in v_k$ " I, ..., I " $L_m \in v_k$ ", ТО " $\tilde{v}_1 \in V_k$ "

У нечіткому предикаті " $L_1 \in v_j$ " - лінгвістична змінна. Вона відповідає побудованій на етапі експертного аналізу вибірки прецедентів, в якій v_j – імена класів образів, що відповідають значенням лінгвістичної змінної. Кількість нечітких предикатів у полі правила «ЯКЩО» відповідає m інформативним правилам.

У полі «ТО» нечітка множина V_j є монотонною функцією, що використовується в алгоритмі нечіткого виведення Цукамото [16, 17, 20]. Прийняття рішень виконується на основі механізму нечіткого виведення. Слід відзначити, що в якості операції «I» на етапі агрегування використана m -місцева логарифмічна функція:

$$f(a_1, a_2, \dots, a_m) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \exists a_i = 0 \\ \log_2((a_1 + 1), \dots, (a_m + 1)) / m & \text{якщо } a_i > 0, i = 1, \dots, m \end{cases} \quad (10.9)$$
$$a_i, m = 1$$

Результатом роботи алгоритму нечіткого виведення є сукупність синглетонів $v_j \sim, j = 1, \dots, k$.

Як було відзначено раніше, в системі використано блок «аналізатор – А», який працює по наступному принципу. На вхід «аналізатора» надходить нечітка дискретна множина $\{v_j | j = 1, \dots, k\}$, 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.

Таким чином, використано алгоритм розпізнавання стану випарника та пристрої контролю процесу обмерзання, що базується на використанні штучних нейронних мереж [2, 51]. У 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 В1, В2, клапанами тиску всмоктування, та ультразвуковим диспергатором розморожування випарника (виконавчий механізм 11).

На рис. 10.12 наведено блок-схему узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильних камер ПРХ.

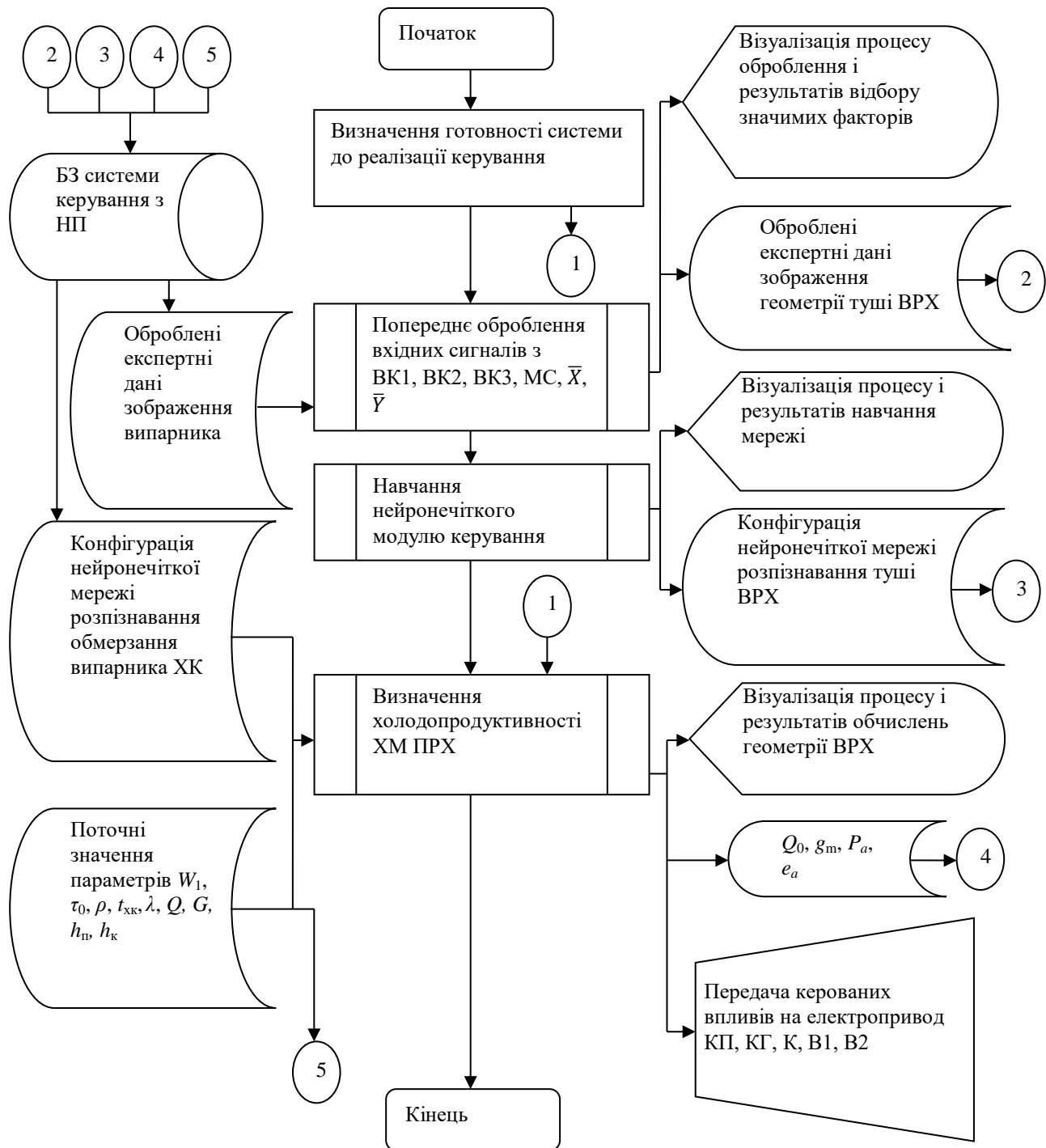


Рисунок. 10.12. Блок-схема узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильної камери

На основі розроблених методів керування холодозабезпечення холодильних камер для заморожування м'яса в тушах ВРХ виконаємо проєкт алгоритмічного 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, нейронечіткі моделі керування процесом заморожування, алгоритм розрахунку параметрів (τ_0 – 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 холодильною машиною ПРХ. Серед параметрів, які визначають базу знань На основі розроблених методів керування холодозабезпечення холодильних камер для заморожування м'яса в тушах ВРХ виконаємо проєкт алгоритмічного 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, нейронечіткі моделі керування процесом заморожування, алгоритм розрахунку параметрів (τ_0 – 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 холодильною машиною ПРХ. Серед параметрів, які визначають базу знань технологічного процесу заморожування м'яса виокремимо наступні чинники: τ_0 – тривалість заморожування, с; R – експертний розмір шматка м'яса (геометрія ВРХ), м; ρ – густина охолоджуваного продукту (кг/м³); q – питома теплота кристалізації води, $q = 3,3 \times 10^3$ Дж/кг; W – вологовміст продукту (кг/кг), ω – частка вимороженої води; $t_{кр}$ – криоскопічна температура продукту, °С; t_{oc} – температура охолодження середовища холодильної камери °С; λ – коефіцієнт теплопровідності заморожуваного продукту, Вт/(м·К); Q_M – кількість теплоти, відведеної від продукту під час заморожування, кДж; G – маса заморожуваного продукту, кг; h_n, h_k – питомі ентальпії продукту відповідні у початковому та у замороженому стані, кДж/кг; а також інші параметри \bar{X}, \bar{Y} . Вони визначають: $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$ – параметри якості заморожуваної продукції та мікроклімату холодильної камери, а $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3$ – параметри, які визначають ефективність холодазбзпечення холодильної камери та енергетичні характеристики компресорних установок [45-50]. Параметри, які нейромережевий процесор прогнозує оператору-технологу: Q_0 – холодопродуктивність, кДж/с або кВт; g_m – масова витрата холодильного агента; q_0 – питома холодопродуктивність (кДж/кг); P_a – активна потужність холодильних машин; e_a – питомі витрати електроенергії, b – коефіцієнт робочого часу ХМ.

Система керування процесом заморожування м'яса туші ВРХ працює у відповідності з узагальненим алгоритмом, блок-схема якого представлена на рис. 10.12. 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 нейронечітких алгоритмів розпізнавання в залежності від якості навчання Банку експертного зображення ВРХ та Банку зображення стану випарника або наявності конфігураційних файлів відповідних вагових коефіцієнтів [2,30]. Формування навчальних вибірок 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 ($W_1, \tau_0, \rho, t_{\text{хк}}, \lambda, Q, G, h_{\text{т}}, h_{\text{к}}$) та оцінки якості продукту, енергетичних параметрів процесу холодозабезпечення тощо. У залежності від типу м'яса (яловичина, телятина, свинина) із бази знань нейронечіткого комп'ютера відбувається завантаження вхідних сигналів для навчання нейронечіткого модуля керування процесом заморожування.

Результати кожного етапу керування візуалізуються для ОПР (особа, що приймає рішення), та надходять в систему нейроуправління інтелектуальними виконавчими механізмами холодильних машин промислового холодильника.

Таким чином, 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, яка 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.

Отже, ЗВО запропоновано ознайомитись з принципами роботи та проектування:

-інтелектуальної системи нейрокерування холодозабезпеченням холодильної камери, в якій використано дві відеокамери та матричні сенсори з п'єзоелементами оцінки форми туші великої рогатої худоби та банк її експертного зображення. Система через інтерфейс з підсистеми інформаційного забезпечення надає оператору-технологу відеоінформацію та автоматично впливає на інтелектуальні виконавчі механізми компресорів, вентиляторів, конденсаторів.

- системи 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.

- узагальнено алгоритма функціонування систем керування холодозабезпеченням холодильної камери промислового холодильника та методику його використання.

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. Поясніть принципи проєктування інтелектуальних систем керування одержання штучного холоду.
2. Що представляє собою об'єкт моніторингу стану холодильного обладнання.
3. Поясніть основні функції центру інтелектуального управління (ЦІУ)
4. Яким чином диспетчер (оператор) АРМ АСУТП промислового холодильника одержує інформацію від підсистеми моніторингу стану обладнання робочих дільниць ?
5. Поясніть процедуру вивчення оптимальних параметрів мікроклімату холодильних камер промислового холодильника експертним шляхом
6. Які особливості проєктування систем контролю та керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильників?
7. Поясніть принцип роботи інтелектуальної системи нейрокерування холодозабезпеченням холодильної камери, в якій використано відеокамери та матричні датчики розміру напівтуші ВРХ.
8. У чому проявляється особливість спроектованої системи нечіткого керування процесом обмерзання випарника?

Тести:

Тест 1. Основними завданнями інтелектуальних холодильних систем є:
а) збереження корисних властивостей продуктів; б) збільшення термінів їх зберігання; в) мінімізація енергетичних витрат; г) всі відповіді правильні.

Тест 2. Система візуалізації дозволяє технологу (АРМ-оператора) контролювати за допомогою МКП: а) якісні показники – параметри заморожуваного продукту; б) параметри мікроклімату холодильної камери; в) управлінські параметри та параметри збурень; г) енергетичні параметри компресорних машин.

Тест 3. Структура трьохканального нейромережевого регулятора керування контролює наступні робочі характеристики: а) холодопродуктивність двохступеневої компресорної машини; б) холодопродуктивність конденсаторів; в) продуктивність випарників; г) втрату тепла.

Тест 4. Підвищення точності класифікації може бути виконано за допомогою нейрон-нечіткого дерева рішень, яке має властивість: а) адаптації параметрів за допомогою нейромережевого навчання; б) розпізнавати ситуації; в) приймати рішення; г) створювати нові знання.

Тест 5. Ультразвуковий сенсор, який функціонує на високих частотах зондуючих імпульсів ($10^6 \dots 10^9$ Гц), визначає його: а) швидкодію; б) чутливість; в) запізнення; г) точність.

Тест 6. У системі керування процесами заморожування та оцінки геометрії тіла ВРХ використано: а) метод нейроуправління з еталонною моделлю; б) метод R-функцій; в) метод розпізнавання образів; г) метод контролю за допомогою технічного зору.

Тест 7. Оптимізація параметрів холодозабезпечення холодильних камер ПРХ для виконання операції заморожування м'яса в системі забезпечено:

а) за допомогою нечітких систем розпізнавання образів; б) адаптивними системами керування; в) генетичними алгоритмами; г) експертними системами.

Тест 8. На основі розроблених методів керування холодозабезпеченням холодильних камер для заморожування м'яса в тушах ВРХ виконано проект алгоритмічного забезпечення системи керування, яке включає наступні алгоритми: а) алгоритм попереднього оброблення цифрової інформації, б) алгоритми відбору значимих ознак, які визначають геометричні розміри туші ВРХ та ознаки обмерзання випарника холодильної камери; в) алгоритми розпізнавання стану випарника і розпізнавання зображення геометрії туші ВРХ, нейронечіткі моделі керування процесом заморожування; г) алгоритм розрахунку параметрів (τ_0 – тривалість заморожування, кількість теплоти, відведеної від туші ВРХ – Q_M);

Тема 11. Принципи проєктування автоматизованих систем керування процесами холодопостачання

11.1. Принципи проєктування систем холодопостачання фанкойлів підприємств - промислових холодильників.

Фанкойл-(фенкойл, вентиляторний конвектор)- теплообмінник, до якого подається холодоносії(найчастіше вода) і за допомогою вбудованого вентилятора проганяється повітря, яке охолоджується і надходить в холодильну камеру промислового холодильника.

Система холодопостачання фанкойлів являє собою циркуляцію води або аміаку в системі між випарником (чилера) та повітроохолоджувачем фанкойлів. Для підвищення ефективної роботи чилера потрібно створити постійні і безперервні витрати води, аміаку величина даних витрат задається при виборі типорозміру чилера. Назва чилер від англ. слова *chil*- холод. Крім цього для приміщень охолодження м'ясопродуктів холодоагентом вибрано аміак з температурними режимами від $-5^{\circ}\text{C} \dots -20^{\circ}\text{C}$ [23,24,25,30,56]

Необхідність забезпечення постійної і безперервної витрати води, аміаку зумовлює конструктивні зміни схем систем холодопостачання. Проєктанти застосовують різноманітні за складністю схеми, у тому числі з застосуванням перезапущених автоматизованих пристроїв і баків - акумуляторів.

На рис. 11.1. показано розрахункову схему системи холодопостачання чотиритрубних фенкойлів. На схемі з метою спрощення її графічного зображення не показано контрольно-вимірювальні прилади, запобіжні пристрої, пристрої для видалення повітря з системи, розширювальний бак, системи підживлення та дренажу, та інше обладнання.

Холодоносієм є вода з температурою в прямому трубопроводі $t_n = +7^{\circ}\text{C}$ і в зворотній магістралі $t_0 = +12^{\circ}\text{C}$., а також аміак.

Розрахункова потужність охолодження чилера дорівнює 20кВт.

Основні вихідні дані фанкойлів (розрахункові значення холодопродуктивності Q_x , витрата води G_v і гідравлічний опір повітроохолоджувача кожного фанкойла ΔP) показані безпосередньо на розрахунковій схемі рис.11.1.[33,56].

Ці вихідні дані були прийняті по каталогах фанкойлів на підставі розрахункових значень необхідної холодопродуктивності.

Система холодопостачання складається з трьох гілок «А», «Б» і «В», що приєднуються до магістральних трубопроводів з використанням регуляторів витрати ГЕРЦ 4001 та систем локальної автоматики, виконаної на базі ПЛК.

У реальному проєктуванні кількість гілок значно більше, ніж у даному прикладі, тому створення гідравлічної ув'язки між гілками в умовах динамічної робо Регулятори витрати ГЕРЦ 4001 (поз.8 рис.11.1), встановлені на кожній гілці, які виключають взаємний вплив гідравлічних режимів гілок одна на одну.

У цьому випадку кожна з гілок являє собою як би самостійну гідравлічну систему холодопостачання фанкойлів.

Витрата води через кожен фанкойл автоматично зменшується з допомогою дроселюючих двоходових (поз.10 рис.11.1) або розділених триходових клапанів (поз.10 рис.11.1).

Щоб при цьому зберегти незмінними і постійними витрати води на кожній гілці і в системі холодопостачання в цілому, будемо використовувати перепускні пристрої. Як приклад на рис.11.1 наведені три варіанти перепускних пристроїв:

- на гілці «А» таким пристроєм є регулятор перепаду тиску ГЕРЦ 4002 (Поз.15 рис.11.1);
- на гілці «Б» таким пристроєм є триходовий регулюючий клапан на кожному з фанкойлів (поз.10 рис.11.1);
- на гілці «В» використано перепускний клапан перепаду тиску ГЕРЦ 4004 (поз.16 рис.11.1).

Вищевказані перепускні пристрої дозволяють зберегти рівень витрат води, аміаку постійними на кожній гілці в умовах неодмінної зміни витрати на кожному з фанкойлів.

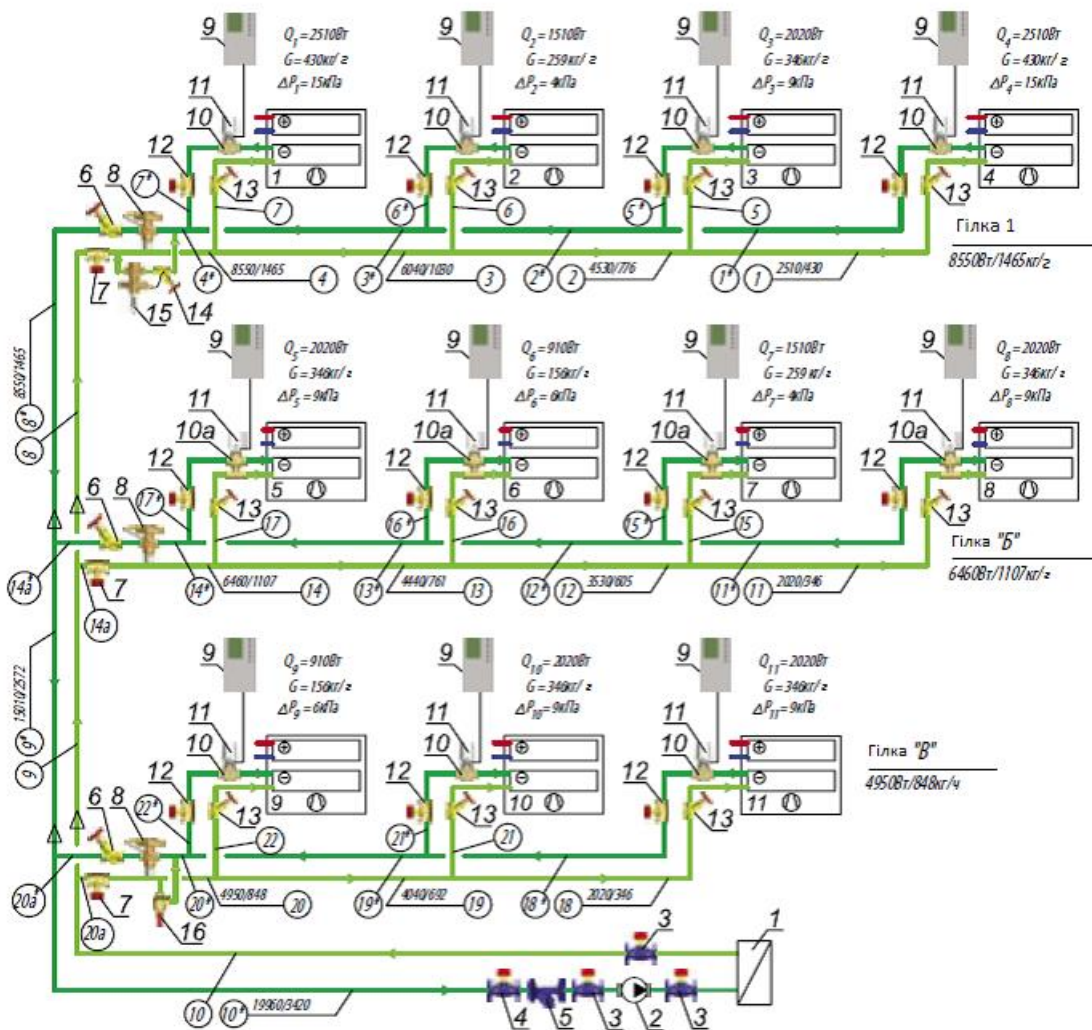


Рисунок 11.1. Розрахункова схема системи холодопостачання чотиритрубних фанкойлів

1 - випарник чилера; 2 - насос циркуляційний; 3 - вентиль запірний фланцевий ШТРЕМАКС-AGF; 4 - вентиль балансовий фланцевий ШТРЕМАКС-GMF з вимірювальними клапанами GMF; 5 - Фільтр ГЕРЦ 4111; 6 - вентиль запірний ШТРЕМАКС-А; 7 - вентиль балансовий ШТРЕМАКС-GM; 8 - регулятор витрати ГЕРЦ 4001; 9 - регулятор електронний безперервної дії; 10 - двоходовий термостатичний клапан 0X; 10а - триходовий термостатичний клапан; 11 - термопривід NC; 12 - вентиль балансовий ШТРЕМАКС-GM; 13, 14 - вентиль запірний ШТРЕМАКС-А; 15 - регулятор перепаду тиску ГЕРЦ4002; 16 - перепускний клапан перепаду тиску ГЕРЦ 4004.

У процесі проектування будемо приймати єдиний варіант перепускного пристрою для усієї системи холодопостачання.

Регулятор витрати ГЕРЦ 4001, установлений на кожній гілці, гідравлічно розділяє систему холодопостачання на складові:

- систему магістральних трубопроводів (між чилером і регуляторами ГЕРЦ 4000 на гілках «А», «Б» і «В»);

- системи холодопостачання у вигляді віділених гілок «А», «Б» і «В» (між регулятором ГЕРЦ 4001 і фанкойлами).

Гідравлічний розрахунок холодопостачання чотиритрубних фанкойлів необхідно виконати:

- для системи магістральних трубопроводів, що проектуються (між чилером і регуляторами ГЕРЦ 4001 на гілках «А», «Б» і «В»);

- для кожної гілки «А», «Б» і «В» (між регулятором ГЕРЦ 4001 і фанкойлами).

Для підбору циркуляційного насоса (поз.2 рис. 11.1) необхідно визначити необхідні значення подачі V_n , м³/г і напору ΔP_n , кПа (або м.вод.ст.). Подача насоса відповідає розрахунковій витраті в системі холодопостачання $V_n = V_{ск} = 3,4$ м³/г необхідний тиск ΔP_n , рівний розрахунковим втратам тиску системи холодопостачання фанкойлів $\Delta P_{с.х.}$, визначається сумою складових: втрат тиску системи магістральних трубопроводів $\sum \Delta P_{уч.м.т.}$, (між чилером і регуляторами ГЕРЦ 4001) і втрат тиску гілки $\Delta P_{РАСП\text{гілки}}$ (у тому числі з регулятором ГЕРЦ 4001 і з фанкойлами):

$$\Delta P_n = \Delta P_{с.х.} = \sum \Delta P_{уч.м.т.} + \Delta P_{РАСП\text{гілки}} \quad (11.1)$$

Значення $\Delta P_{РАСП\text{гілки}}$ визначається за методикою розділу [2.2], [33] відповідно за виразами (11.1) і (11.2):

$$\Delta P_{РАСП\text{вітки}} \geq 1,2 \times \Delta P_{вітки}; \quad (11.2)$$

$$\Delta P_{вітки} = \sum \Delta P_{уч.вітки} + \Delta P_{РЕГ}; \quad (11.3)$$

$$\sum \Delta P_{уч.вітки} = \sum \Delta P_{уч.} + \Delta P_{ру.}; \quad (11.4)$$

де:

$\sum \Delta P_{уч.}$ - сума втрат тиску ділянок розрахункового циркуляційного кільця;

$\Delta P_{ру.}$ - втрати тиску регульованої ділянки розрахункового кільця;

$\sum \Delta P_{уч.вітки}$ - втрати тиску розрахункового циркуляційного кільця;

$\Delta P_{РЕГ}$ - розрахункові втрати тиску на регуляторі витрат.

Гідравлічний розрахунок ділянок трубопроводів $\Delta P_{\text{уч.}}$ виконуємо за методом питомих втрат тиску на тертя в спрощеному варіанті. Спрощення обставин полягає в тому, що місцевий опір (відводи, трійники і ін.) враховується у вигляді додаткових 30% до втрат тиску по довжині. Опір ділянки циркуляційного кільця обчислюється за виразом:

$$\Delta P_{\text{уч.}} = 1,3 \times R \times l_{\text{уч.}} + \sum \Delta P_{\text{обладнання}}, \quad (11.5)$$

де:

R - питома втрата тиску на тертя, Па/м ;

$l_{\text{уч.}}$ - розрахункова довжина ділянки, м;

$\sum \Delta P_{\text{обладнання}}$ - сума втрат тиску різного устаткування, встановленого на розрахунковій ділянці: запірний вентиль, балансових вентилів, фільтрів і т.д., Па.

Циркуляційні кільця для кожної гілки є замкнутий ланцюжок ділянок, починаючи від теплообмінника чилера і закінчуючи теплообмінником чилера. У кожному циркуляційному кільці є динамічний вузол у вигляді регулятора витрати ГЕРЦ 4001, який автоматично змінює свій опір, для стабілізації задається значення витрати води на гілці. Дана обставина дозволяє не виділяти якоесь циркуляційне кільце в якості основного розрахункового циркуляційного кільця [56], так як між собою циркуляційні кільця гідравлічно зрівнюються в результаті впливу регуляторів витрати.

Тому за розрахункову втрату тиску в системі магістральних трубопроводів слід прийняти максимальне значення з можливих. У цьому прикладі таким значенням є сума втрат тиску на ділянках № 8.. 10, і втрат тиску в теплообміннику чилера:

$$\sum \Delta P_{\text{уч.м.т.}} = \sum \Delta P_{\text{уч.8..10,8*...10*}} + \Delta P_{\text{ч}} \quad (11.6.)$$

Гідравлічний розрахунок системи магістральних трубопроводів виконуємо за допомогою номограми [56].

Після цього аналізу необхідно перейти до синтезу гідравлічного розрахунку металополімерних трубопроводів гілки «А»

Цей розрахунок будемо виконувати також за допомогою номограми додатка «Б». [56]

Гілка «А» є двотрубною системою холодопостачання з 4-ма фенкойлами. Відповідно маємо 4 циркуляційних кільця.

В якості основного розрахункового кільця приймаємо циркуляційний кільце через найбільш віддалений фенкойл № 4.

Розрахункові втрати тиску трубопроводів $\sum \Delta P_{\text{уч.гілки}}$ гілки «А» визначаються сумою втрат тиску на ділянках № 4.. 2,2 *.. 4 * ($\sum \Delta P_{\text{уч.4...2,2 *...4 *}}$) і втрат тиску на регульованій ділянці № 1 ($\Delta P_{\text{ру}}$):

$$\sum \Delta P_{\text{уч.Ветви}} = \sum \Delta P_{\text{уч.4...2,2*...4*}} + \Delta P_{\text{ру 1,1*}} \quad (11.7)$$

Діаметри трубопроводів d , мм на ділянках № 4.. 2, підбираємо за допомогою номограми наведеної в [56], обмежуючись величиною питомої втрати тиску на тертя R не більше 100.. 200 Па/м.

У процесі проєктування сучасної інтелектуальної автоматики цей наведений приклад проєктних рішень дозволяє створити БЗ САПР холодильних систем зі ШІ.

Одержана інформація також важлива з точки зору синтезу інтелектуального керування ХМ-холодопостачання камер промислового холодильника, створення баз даних, баз знань, баз правил, оцінки надійності обладнання ХМ, розробки алгоритмів керування та методології **проєктування автоматичних систем контролю і регулювання технологічних параметрів та діагностики стану обладнання в технологіях заморожування та охолодження смарт продуктів харчування.**

11.2. Методологія проєктування систем контролю і керування процесами заморожування та охолодження смарт продуктів харчування.

Спочатку розглянемо методи оптимізації технологічних параметрів автоматичними системами керування в технологіях заморожування та охолодження продуктів харчування. На рис. 11.2. наведено систему приладів автоматики необхідних для одержання оптимальних робочих режимів роботи холодильних машин ПРХ.



Рисунок 11.2. Прилади автоматизації.

Основне завдання автоматизації холодильних систем: забезпечення оптимальних чи заданих параметрів функціонування без участі людини в умовах впливу на об'єкт та регулювання змінних зовнішніх та внутрішніх факторів.

Цілі автоматизації визначаються конкретними умовами застосування того чи іншого джерела холоду. Наприклад, стосовно приміщень зберігання продуктів харчування методологією проєктних рішень щодо застосування автоматизованої системи холодопостачання є мінімізація втрат енергоресурсів

та зниження товарних якостей і матеріальних втрат у процесі зберігання шляхом підтримки на заданому рівні температури, вологості в приміщенні, що обслуговується.

Метою автоматизації є також скорочення експлуатаційних витрат, підвищення строку служби та надійності холодильного обладнання, запобігання виникненню аварійних та граничних режимів роботи.

На рис.11.3. наведено систему приладів контролю робочих характеристик холодильних машин, серед яких є ті, що контролюють параметри температури, тиску, витрат холодоносія, час роботи холодильного обладнання, холодопродуктивність. До важливих систем контролю також необхідно віднести прилади, що контролюють енергетичні параметри енергоспоживання, вологість повітря в холодильних камерах та якість замороженої продукції.

Системи автоматичного регулювання характеризуються безперервним односпрямованим переміщенням сигналу по контуру та корекцій прийнятого рішення за результатами впливу на об'єкт регулюючого впливу. Повернення інформації в систему регулювання за прийнятим раніше рішенням за величиною та спрямованістю регулюючого впливу називається зворотнім зв'язком.

Зворотний зв'язок - фундаментальна ознака систем автоматичного регулювання. Залежно від характеристик та продуктивності холодильної машини регулюючий вплив може прикладатися до одного або кількох функціональних блоків. У цьому випадку холодильна машина може працювати на постійному режимі холодопродуктивності. Зміна кількості холоду здійснюється шляхом чергування пуску і зупинки компресора.

Включення холодильної машини буде здійснюватися при зниженні рівня рідкого холодоагенту в ресивері, зупинка - при підвищенні верхньої межі рівня.

У холодильних установках без ресивера зміна холодопродуктивності здійснюється шляхом зміни витрати холодоагенту це можна реалізувати шляхом зміни продуктивності компресора раніше розглянутими способами.

У цьому випадку сигнал буде переміщатися по наступному замкнутому контуру: приміщення, що охолоджується, система автоматичного регулювання (САР), компресор, конденсатор, регулюючий вентиль, випарник, приміщення.

При високій тепловій ємності об'єктів, що охолоджуються, зміна температури в них при внесенні надлишкової теплоти відбувається повільно.

У цьому випадку регулювання температурного режиму в них можна здійснювати за допомогою переривчастої подачі охолоджувача (холодоносія) або чергування пуску-зупинки холодильної машини.

Характер регулюючого впливу визначається безліччю факторів, що визначаються характеристиками холодильної установки та об'єкта, що охолоджується. Тому вибір системи автоматичного регулювання в кожному випадку має конкретний характер.

В якості датчиків температури для охолоджуваних приміщень або об'єктів можуть застосовуватися термобалони, напівпровідникові та провідникові терморезистори.

Система автоматичного керування продуктивністю (холодопродуктивністю) компресора або компресорів залежить від прийнятого способу зміни їх подачі: застосування байпасів, дроселювання парів холодоагенту на всмоктування, зміна частоти обертання валу, зміна об'єму мертвого простору, перепуск пари з об'єму нагнітання в об'єм всмоктування, зміни ефективної довжини гвинтів за допомогою золотника у гвинтових компресорах, вхідні направляючі.

У системах з великою тепловою інерцією зміну середньої продуктивності можна здійснювати шляхом чергування запуску-зупинки компресора або частини компресорів при паралельному їх включенні в систему. На рис.11.3. наведено приклад використання приладів автоматики в холодильній системі холодозабезпечення холодильних камер ПРХ.

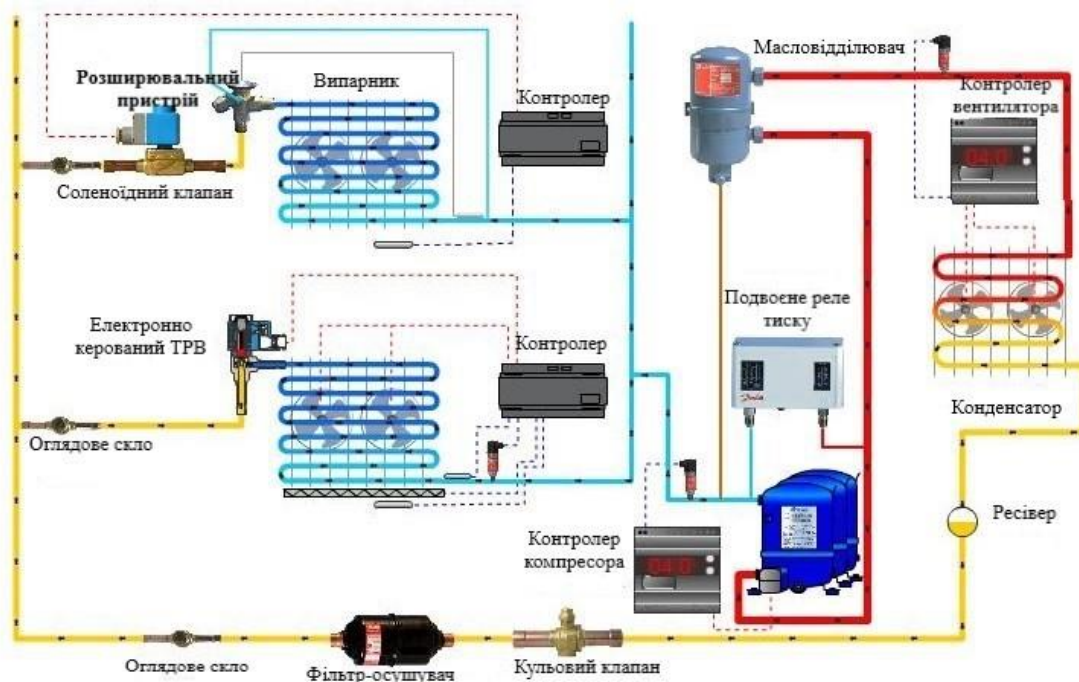


Рисунок 11.3. Приклад схеми використання приладів автоматизації.

- Реле тиску та реле температури – дані прилади використовуються в холодильній техніці для регулювання продуктивності холодильної установки шляхом вимірювання тиску в холодильному контурі для подальшого перетворення та обробки. Вимірювання тиску та температури відбувається в ресивері холодоагенту, картері холодильного компресора, інтенсивність процесу випаровування та конденсації у випарнику та конденсаторі відповідно.

- Датчики цифрові та електронні регулятори – використовуються для передачі цифрового сигналу до електронного контролера системи керування холодильною установкою.

- Лінійні компоненти холодильних систем – серед них розбірні фільтр-осушувачі із змінними вставками; зворотні клапани для запобігання поверненню фреону та запірні вентиля на випадок ремонту або сервісного обслуговування; мастиловідділювачі – слугують для відділення від фреону і повернення в компресор мастила.

- Оглядове скло – служить для візуального контролю стану фреону на ділянці холодильної системи.

- Фільтри-осушувачі – дозволяють акумулювати та видалити отриману з повітря вологу, запобігають великим поломкам та виходу з ладу компресорів, які трапляються через наявність вологи в системі та внаслідок обмеження та подальшого залипання клапанів компресора.

- Соленоїдні вентиля – являють собою дистанційно керований запірний вентиль, складається з корпусу та котушки. Використовується для реалізації алгоритму керування холодильною установкою.

- TRV або терморегулюючі вентиля – відповідають за інтенсивність процесу випаровування холодоагенту в теплообміннику-випарнику. Дані прилади автоматики структурно складаються з корпусу, дюзи та термочутливого елемента.

Важливою властивістю систем автоматичного регулювання є саморегулювання. Наприклад, при збільшенні подачі в охолоджувальні прилади холодоагенту або носія в міру зниження температури об'єкта, що охолоджується, зменшується різниця температур між охолоджуючим середовищем і внутрішнім повітрям. У цьому випадку знижується інтенсивність перенесення теплоти та знижується темп охолодження.

Охолоджувана продукція може досягти тільки температури охолоджуючого середовища. Подальше зниження температури неможливе. Охолоджуваний об'єкт у разі має межу зміни регульованого параметра (температури). У цьому полягає суть саморегулювання. Саморегулювання сприяє розв'язанню задач автоматичного регулювання, особливо при наявності ймовірності входу об'єкта в критичний стан.

Застосування нейромереж у технологічних процесах холодопостачання та керування холодильними системами може бути використано в наступних системах та елементах:

- регулятора;
- моделі об'єкта керування;
- оптимального фільтра об'єкта керування ;
- регулятора спільно з регулятором іншого типу: лінійним та нечітко-логічним;
- налаштування регулятора іншого типу;
- класифікатора чи розпізнавання образів.

Інженерне обладнання холодильної машини в тій чи іншій мірі «відповідно до умов експлуатації та вимог замовника» містить такі компоненти та системи автоматичного керування:

- систему автоматичного керування продуктивністю (холодопродуктивністю) компресора або компресорів;
- систему автоматичного управління роботою випарника та конденсатора;
- система пуску компресора (компресорів);
- захист від перегріву та перевантажень компресорів та обладнання холодильної машини;
- захист від низького тиску у системі;

- комплект манометрів, термометрів для візуального контролю тиску та температури в компресорі та апаратів холодильні машини; мірні стекла для візуального контролю рівня холодильного агенту у випарнику та конденсаторі;
- перевірки правильності обертання ротора компресора;
- засоби контролю та регулювання параметрів системи змащування компресора;
- систему контролю та управління режимом роботи вентиляторів повітряного та насосів водяного конденсатора;
- захист від швидкого повторного увімкнення компресора при циклічному режимі його роботи;
- прогрів перед пуском в холодну пору року картера компресора (при зовнішній установці);
- систему захисту випарника від заморожування та прогрів його при замерзанні;
- електронні системи автоматизації та контролю роботи компресора в обладнанні ХМ, у тому числі регулювання за допомогою терморегулюючого вентиля ступеня перегріву холодоагенту після випарника;
- система контролю стану та ступеня очищення холодоагенту;
- електронні системи сигналізації про відключення та включення компресора (компресорів); про виникнення високого чи низького тиску; про роботу вентиляторів (насосів) конденсатора; випадкової затримки увімкнення компресора; стан контурів тощо;
- дисплей для візуалізації режимів роботи холодильної машини та принтер для їхнього роздрукування;
- систему контролю параметрів гідромодуля, що забезпечує циркуляцію води, що охолоджується, або холодоносія через випарник і подачі їх споживачеві холоду;
- засоби контролю параметрів та регулювання температури холодоносія на виході з випарника;
- реле контролю величини потоку холодоносія через випарник (з метою запобігання його замерзанню);
- систему автоматизації лінії упорскування рідкого холодоагенту для охолодження гвинтового компресора мокрого стиснення тощо.

Кожен із перерахованих вище елементів системи автоматичного управління сам по собі є складною інженерною системою. Відомості про їх функціонування можна знайти у спеціальній літературі чи матеріалах виробника обладнання. Під час їх розробки враховуються динамічні та статичні характеристики об'єкта керування, системи автоматичного регулювання та характеристики окремих елементів різних комплексів.

- Регулятори тиску – ці компоненти використовуються для більш точного регулювання процесів, що відбуваються у теплообмінниках холодильної установки. Дозволяють досягти високої енергоефективності системи.
- Регулятори рівня рідини – слугують для регулювання продуктивності системи у ресиверах та випарниках затопленого типу.

- Електронно-керовані клапани – використовуються при застосуванні в системах електронного контролера як основний елемент керування логікою роботи холодильною установкою.
- Запірні вентиля та вентиля регулювання – використовуються в системах автоматизації на випадок сервісного обслуговування установки, ремонту холодильної установки або при виникненні аварій. Дозволяє перекрити і таким чином відсікти частину системи, запобігаючи витоку фреону у навколишнє середовище.
- Запобіжні клапани – використовуються для запобігання пошкодженню обладнання, спрацьовують при високому перепаді тиску на ділянці системи.

Продовжимо вивчення цього питання з проектування автоматизації роботи випарників. У процесі підготовки проекту встановлено:

-при внесенні теплового збудження в об'єкт, що обслуговується випарником, інтенсифікується процес підведення до нього теплоти та кипіння холодоагенту. Як наслідок підвищується темп зниження рівня холодоагенту у випарнику;

- аналогічно, при зменшенні надлишків тепла темп зниження рівня знижуватиметься.

Ці факти показують що швидкість зміни рівня холодоагенту у випарнику побічно вказує на характер теплонадходжень в приміщенні, що охолоджується, і показують, що управління температурою в охолоджуваному приміщенні можна здійснювати шляхом контролю рівня рідкої фази холодоагенту у випарнику і підтримання цього рівня постійним;

-показником нормального функціонування випарника є ступінь сухості та перегріву пари на виході з нього. При зниженні рівня рідкої фази ступінь сухості та ступінь перегріву збільшуються, і навпаки.

Автоматичне регулювання ступеня затоплення холодоагентом випарника може здійснюватися плавно (безперервно) та позиційно.

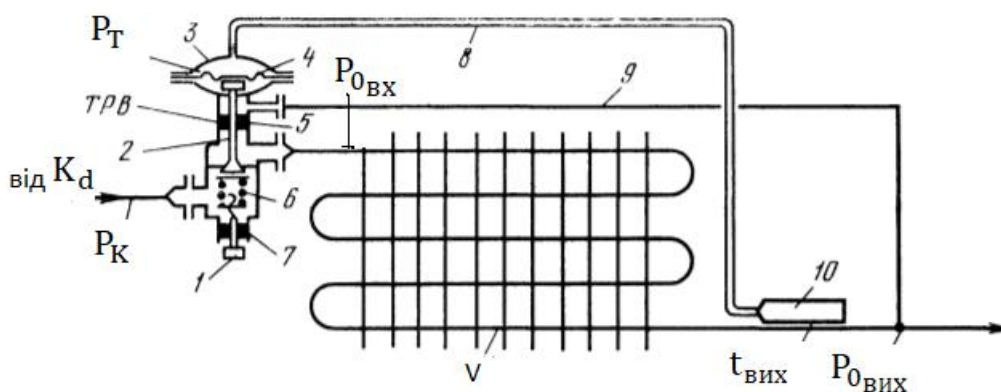


Рисунок 11.4. Схема плавного регулювання подачі холодоагенту у випарник за допомогою терморегулюючого пристрою.

На рис. 11.4. наведена схема плавного регулювання подачі холодоагенту у випарник за допомогою терморегулюючого вентиля (ТРВ), який встановлений на лінії рідкого холодоагенту від конденсатора K_d перед входом у випарник V . У приладі регулювання ТРВ відбувається дроселювання холодоагенту від тиску конденсації P_K до тиску на виході у випарник $P_{0_{\text{вх}}}$.

При дроселюванні частина холодоагенту перетворюється на пару, в результаті чого в випарник подається парорідинна суміш, вміст пари в якій залежить від перепаду тисків і ступеня переохолодження рідини перед входом в ТРВ.

Перегрів пари сприймається і перетворюється на механічне переміщення термосистемою, що складається з термобаллона 10, пружної мембрани 4, мембранної коробки 3 і сполучної капілярної трубки 8. Термобалон, капілярна трубка і над мембранна порожнина являє собою замкнутий контур. У ньому знаходиться речовина, тиск якої досить сильно залежить від температури. Найчастіше ця речовина, рідка фаза якої зосереджена в термобалоні, а пара заповнює капіляр та порожнину над мембраною. Іноді в термобалон вводять твердий поглинач (адсорбент) та весь контур заповнюють газом (адсорбатом). У тому й іншому випадку тиск над мембраною залежить від температури термобалону: що вище температура, то довше тиск. Таким чином, вихідна температура $t_{\text{вих}}$ перетворюється на тиск P_T .

У порожнину під мембраною через трубку 9 вводиться пара тиском $P_{0_{\text{вих}}}$, який жорстко пов'язаний з температурою кипіння холодоагенту поблизу виходу з випарника.

Розглянемо яким чином до мембрани прикладається два тиску, що створюють результативну силу, яка пропорційна різниці цих тисків.

Якщо припустити, що в обмеженому діапазоні тиски лінійно пов'язані з відповідними температурами, тоді сила яку розвиває мембрана буде пропорційна різниці температур, тобто перегріву.

Сила від мембрани передається штоку 2, на нижньому кінці якого розташований клапан. Він є регулюючим органом: при русі вниз збільшує прохідний переріз у сідлі і, як наслідок витрату холодоагенту. Таким чином, з підвищенням перегріву клапан ТРВ збільшує приплив рідкого холодоагенту у випарник.

Знизу до клапана прикладена сила пружин 6, початковий натяг якої залежить від положення гвинта датчика 1. За допомогою задатчика можна встановити необхідний перегрів.

У регуляторі є два сальникові ущільнення. Одне з них 5 розділяє порожнини під мембраною і після клапана, а інше 7 запобігає витоків холодоагенту в місці виведення гвинта задатчика.

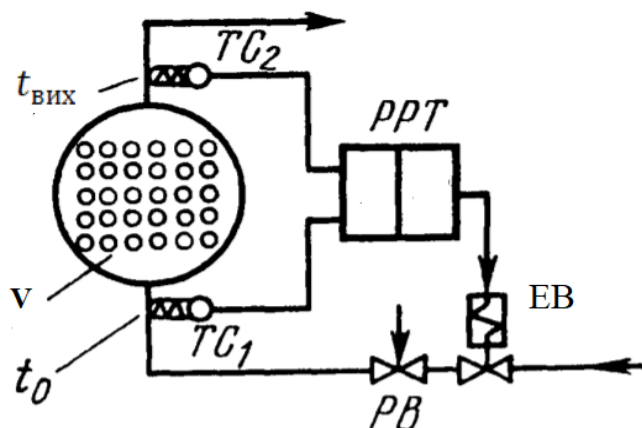


Рисунок 11.5. Двопозиційна система живлення випарника по перегріву.

На рис. 11.5., наведена двопозиційна система живлення випарника V з перегріву. Первинні термоперетворювачі TC_1 і TC_2 (в даному випадку термоперетворювачі опору) встановлені на вході у випарник і виході з нього і сприймають температури киплячого агента t_0 та перегрітої пари. Сигнали від термоперетворювачів подають на вхід реле різниці температур PPT , яке своєю чергою керує електромагнітним вентилям EB . Послідовно з ним встановлює ручний регулюючий вентиль PB , в якому відбувається дроселювання холодоагенту від тиску конденсації до кипіння.

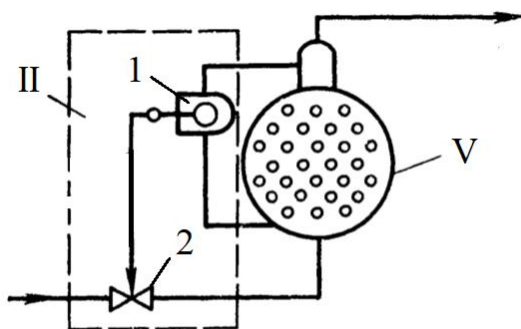


Рисунок 11.6. Схема плавного регулювання режиму роботи випарника за рівнем.

На рис. 11.6. наведена схема плавного регулювання режиму роботи випарника V за рівнем. Поплавок, що сприймає зміни рівня холодоагенту у випарнику, розташовується у виносній камері 1, що входить разом з регулюючим органом 2 до складу регулятора рівня Π . При підвищенні рівня поплавка зменшує подачу холодоагенту у випарник при зниженні - підвищує.

Плавне та позиційне регулювання ступеня затоплення випарника може здійснюватися за такою ж схемою і при застосуванні як вимірювач датчика рівня холодоагенту у випарнику.

Перейдемо до проєкту автоматизації роботи конденсатора.

При змінному режимі роботи випарника (випарників) змінним буде і навантаження на конденсатор. Змінний режим роботи конденсатора зумовлюють і зовнішні умови, наприклад, змінна температури тепловідвідного середовища, причини яких можуть бути різні для водяних та повітряних конденсаторів. Особливо суттєві зміни температури охолоджуючого середовища для повітряних конденсаторів, які мають цілорічний режим експлуатації. Вони перебувають у інтервалі можливої зміни температури зовнішнього повітря: від максимальної позитивної до мінімальної негативної. Зниження температури охолоджуючого середовища призводить до інтенсифікації процесів конденсації внаслідок яких знижується тиск та температура в конденсаторі. Зниження тиску і температури призводить до зменшення роботи компресора та підвищення ефективності машини.

Завдання регулювання роботи конденсатора полягає в тому, щоб підтримувати заданий у межах зміни тиску конденсації при зміні зовнішніх та внутрішніх умов.

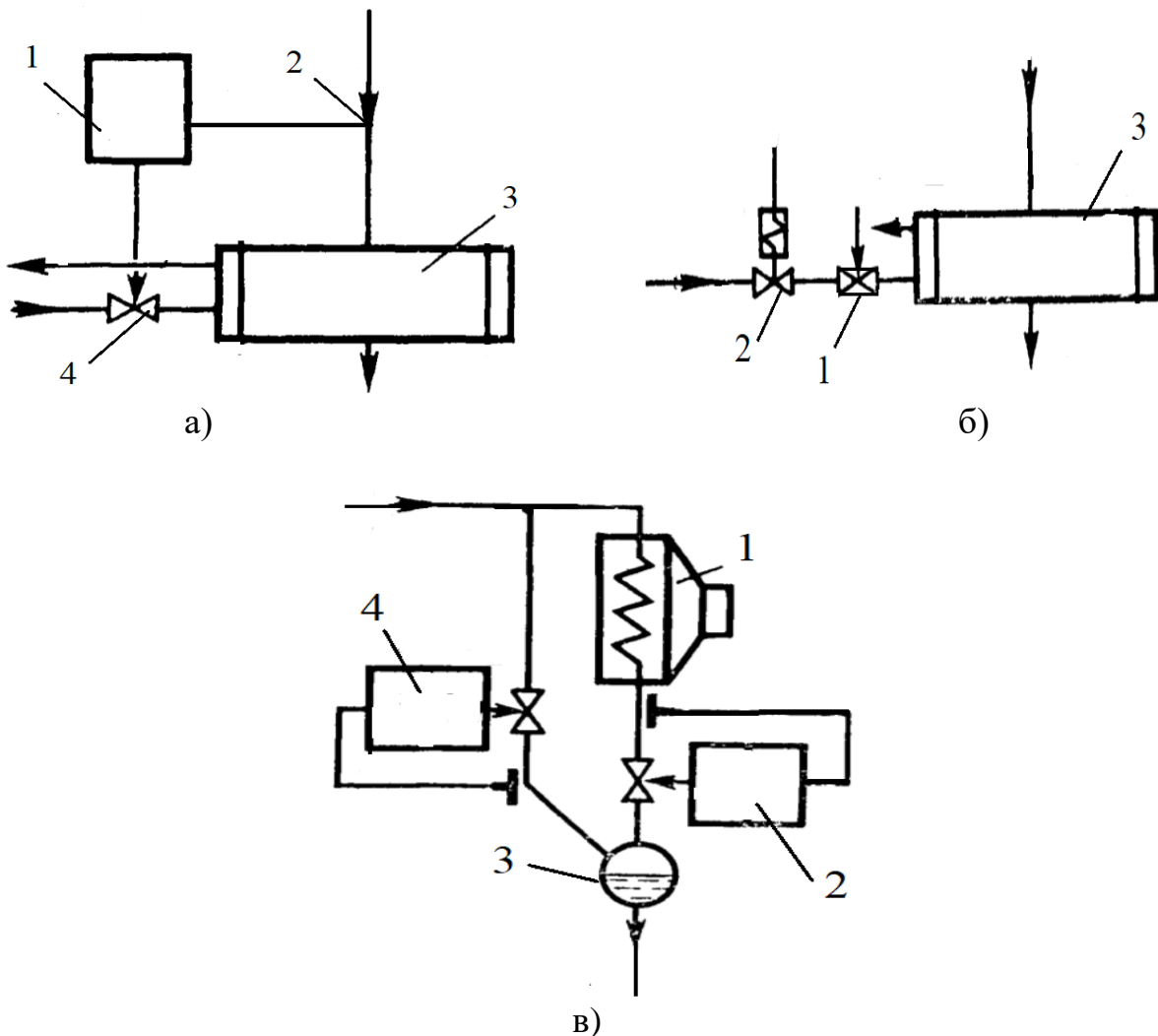


Рисунок 11.7. Приклади проєктних рішень

Якщо підбір конденсатора здійснюється для максимальної температури охолоджуючого середовища, то в процесі експлуатації необхідно забезпечувати необхідний тиск конденсації в умовах зниження температури навколишнього середовища (повітря або води). При зниженні температури, наприклад, води, що охолоджує, (рис.11.7 а) чутливий елемент 2 сприймає зниження тиску. Сигнал надходить в регулятор 1, який за допомогою регулюючого органу 4 знижує подачу води. Температура води на виході підвищується, знижується інтенсивність процесів теплообміну, що призводить до підвищення температури і тиску в конденсаторі 3. При роботі холодильної машини в режимі пуску-зупинки (рис.11. 7 б) на лінії подачі води доцільно встановлювати електромагнітний клапан 2, що відключає її подачу при зупинці машини. Регульований вентиль 1 за пропускнуою здатністю налаштовуватися на температуру води.

Зміна подачі повітря в повітряний конденсатор здійснюється за допомогою регульованих заслінок, що направляють апарати на вході у вентилятор, за допомогою зміни числа оборотів самого вентилятора.

Зміну кількості теплоти, що подається, можна здійснити і шляхом підтоплення частини трубок конденсатора (рис.4.7 в). В результаті цього зменшиться площа теплообміну і теж підвищується тиск конденсації. У цьому випадку між конденсатором 1 і ресивером 3 встановлюється регулятор тиску "до себе" 2, його чутливий елемент контролює тиск на виході з конденсатора (до регулятора) і при зниженні тиску прикриває регулюючий орган, збільшуючи тиск в конденсаторі. Робота регулятора 2 може призвести до зниження тиску в ресивері та порушення гідравлічного режиму "після нього" 4. При зниженні тиску в ресивері він відкриває лінію, що з'єднує ресивер з нагнітальним трубопроводом компресора. Тиск парів холодоагенту після компресора дозволяє підняти тиск у ресивері та забезпечити необхідний гідравлічний режим у системі.

Розглянемо проєктні рішення щодо захисту холодильних машин від аварійних режимів.

У процесі експлуатації холодильної машини через відмову окремих вузлів або у разі виникнення надзвичайних ситуацій можуть виникнути небезпечні для експлуатації, і внаслідок для економичності, ситуації: підвищення тиску та температури нагнітання; зниження тиску всмоктування; припинення подачі мастила; припинення подачі охолоджуючого середовища в конденсатор; зміна напрямку обертання ротора компресора; порушення у системі заповнення випарника; заморожування води у випарнику та ін.

Одним із способів захисту холодильної машини у разі виникнення небезпечних ситуацій є її зупинка. Реле захисту контролює параметри, зміна яких може досягти граничних станів, і подають сигнал у систему управління і сигналізації. Система керування зупиняє машину і за потреби передає адресний сигнал або формує сигнал у місці встановлення машини або на пульті диспетчера. Система автоматичного керування за наявності у ній відповідного завдання може здійснювати повторний пуск при поверненні реле у вихідне положення. У холодильних машинах можуть передбачатися блокування для

контролю правильності введення машини в робочий режим, захист від частого повторного включення і іншого.

Холодопродуктивність бромисто-ливарних холодильних машин регулюють зміною концентрації розчину, що спрямовується з генератора в абсорбер. Керуюча дія реалізується шляхом плавної зміни витрати пального середовища. Сигнал про зміну теплового навантаження в генераторі є зміна температури охолоджуваного середовища у випарнику. При зміні теплового навантаження в генераторі повинна змінюватись і витрата бінарного розчину, що циркулює між генератором та абсорбером. Витрата розчину може змінюватись плавно, пропорційно до зміни витрати холодильного середовища, або ступінчато. Зміну холодопродуктивності холодильних машин можна досягти і шляхом зміни інтенсивності процесів перенесення в генераторі та абсорбері. Наприклад, за допомогою зміни рівня затоплення теплообмінних поверхонь, що призводить до зміни площі поверхні тепло та масообміну.

Ці особливості, а також особливості запуску їх після зупинки призводять і до особливостей пристрою та функціонування засобів контролю, управління та автоматизації.

Технологічні процеси харчових виробництв з процесами заморожування є досить складними, багато параметричними, з безліччю нелінійних зв'язків. Стандартні засоби автоматизації вже не забезпечують необхідного рівня надійності та швидкодії. У сучасних умовах жорсткої конкуренції необхідно застосовувати нові, прогресивні способи контролю та управління якісними показниками готової продукції.

Найбільш перспективним тут є використання штучних нейронних мереж.

В останнє десятиліття зростає кількість наукових публікацій, присвячених досить вдалому впровадженню нейромережевих технологій у різні технологічні процеси, зокрема у харчові виробництва[1,2,3,29].

Основними сферами застосування нейронних мереж в холодильних технологіях є: активний захист від гідроударів, зменшення впливу вібрації, адаптивне керування електроприводом.

Найчастіше в САУ використовують традиційні ПІД-регулятори, які не завжди можуть якісно вирішити завдання керування технологічним процесом. Класичні ПІД-регулятори не можуть врахувати численні взаємозв'язки між контрольованими параметрами та нелінійність цих зв'язків. У зв'язку з цим, експерти з інтелектуальної автоматики рекомендують замінювати ПІД-регулятори на нейромережеві регулятори. Останні можливо адаптувати до зовнішніх впливів, що постійно змінюються, і самому об'єкту управління. Даний спосіб, безсумнівно, покращить якість керування і адаптацію об'єкта до зовнішніх впливів, що змінюються.

Основа нейронної мережі - нейрон. Як правило, це багато вхідний обчислювальний елемент з одним виходом та нелінійною обчислювальною функцією. У більшості літературних джерел[2,29,30,51] описані такі нейрони:

- нейрони з сигмоїдальною функцією;
- нейрони з радіально-базисною функцією.

Вихідний сигнал у сигмоїдального нейрона обчислюється за рівнянням:

$$y = \phi\left(\sum_{j=1}^n \omega_j \times \chi_j + \omega_0\right) \quad (11.8)$$

Функція активації ϕ зазвичай має вигляд сигмоїди.

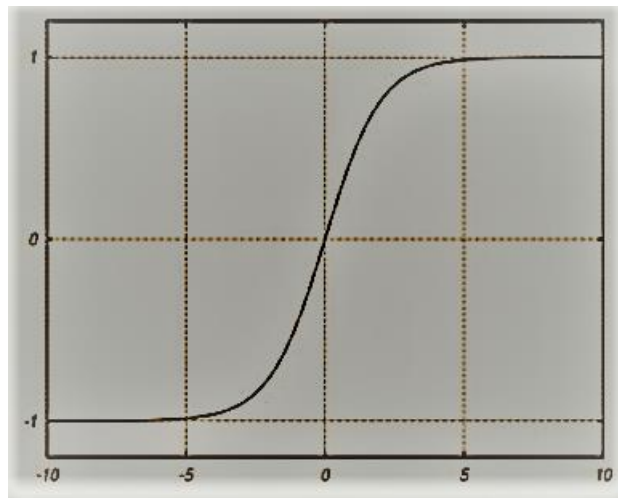


Рисунок 11.8. Функція ϕ сигмоїдального типу.

Вихідний сигнал у радіально-базовий нейрон обчислює за рівнянням:

$$y = \sum_{j=1}^n \omega_j \times R_j \times (X) + \omega_0 \quad (11.9)$$

$$R_j \times (X) = \phi(X, C_j), \quad (11.10)$$

де C_j - координати заздалегідь вибраних "центрів", що відповідають нульовим входам нейрона. Функція ϕ , як і у випадку із сигмоїдальним нейроном, може бути реалізована різними способами, але має характерний вигляд.

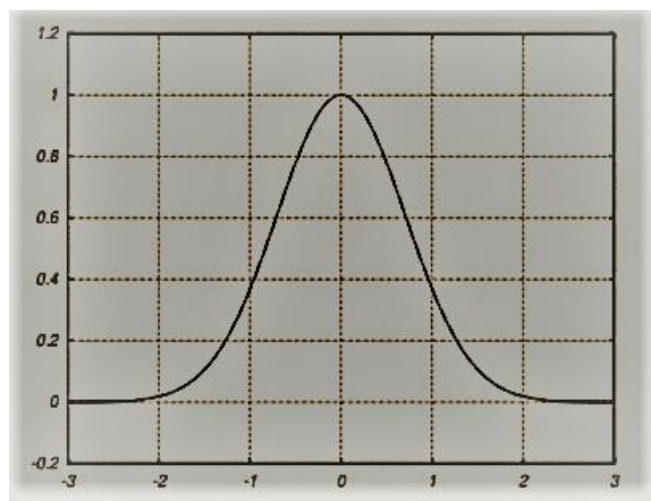


Рисунок 11.9. Функція радіально-базисного типу.

В архітектурі багатосарового персептрону, який оцінює свіжість заморожуваних (охолоджених) продуктів, нейрони поєднуються в мережу

пошарово. Вихід кожного нейрона 1-го шару подається на кожен з нейронів (i+1)-го шару.

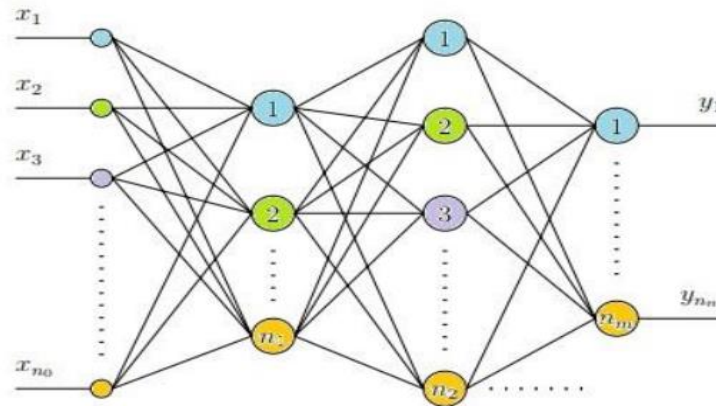


Рисунок 11.10. Багатошарова нейронна мережа прямого поширення.

Архітектуру багатошарової нейронної мережі можна позначити як: $N_{n_0, n_1, \dots, n_{m-1}, n_m}$, де n_0 число входів першого (вхідного) шару мережі, n_1, \dots, n_{m-1} число нейронів в послідовно розташованих прихованих шарах, n_m - число нейронів (і виходів) останнього, вихідного шару.

Складним завданням при проектуванні нейронних систем контролю свіжості харчових продуктів є вибір кількості нейронів та шарів у нейромережі. Іншими словами, необхідно визначитися з числом вагових коефіцієнтів нейромережі. Найчастіше точне число нейронів не визначається, так як достатнім вважається приблизна оцінка. З використанням трьох- і чотиришарових мереж підвищується швидкість збіжності. Можливо також додавати або видаляти нейрони для вибору їх оптимальної кількості при вирішенні необхідної задачі. Такий спосіб застосовують при значній невизначеності та складності завдання.

Виходи в нейронній мережі прямого поширення однозначно обчислюються за її входами. Існує кілька способів надання динаміки нейромереж:

- паралельна подача на вхід НС значень у послідовні моменти часу;
- створення локальних зворотних зв'язків у нейронах мережі;
- використання глобальних зворотних зв'язків у нейронних мережах: мережі Хопфілда та зворотне поширення помилки у часі.

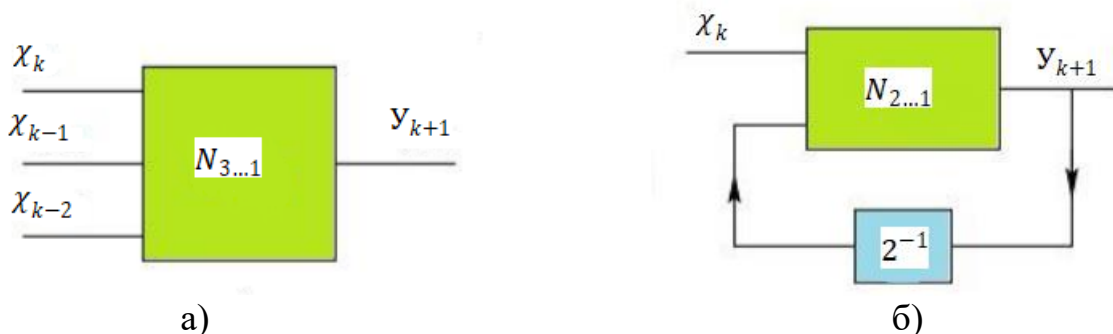


Рисунок 11.11. Способи надання динамічних властивостей нейронної мережі за допомогою розкладання в тимчасовий ряд (а) та глобальним зворотним зв'язком б).

При використанні радіально-базових нейронів, необхідно задати центри функцій s_j . У тому випадку, якщо налаштування НС ведеться для вирішення задачі апроксимації деякої невідомої функції $f(\cdot)$, заданої таблично, такий процес називають навчанням з учителем (supervised learning):

$$y_k = f \times (x_k) \quad (11.11)$$

$$\sum_k (y_k - N \times (x_k))^2 \rightarrow \min \quad (11.12)$$

Найбільш поширеним є метод навчання нейронної мережі з учителем. Дане навчання тісно пов'язане з методами оптимізації, які бувають градієнтні та стохастичні (випадкового пошуку [1,2,3,19,28]).

Базовим градієнтним методом навчання НС є зворотне поширення помилки. Він відповідає градієнтному методу оптимізації першого порядку, при якому для вибору напрямку використовується інформація про першу похідну функцію помилки.

Недоліки цього методу пов'язані з лінійністю процедури пошуку мінімуму. Переваги градієнтного методу у високій швидкості збіжності. Але при цьому процедура може видати нам локальний мінімум, а не глобальний, тому не завжди можна використовувати тут градієнтний спуск.

Замість градієнтного спуску можна використовувати групи методів випадкового пошуку. Один з них, алгоритм α 1орех, заснований на кореляції помилки та варіації вагових коефіцієнтів з використанням отриманої інформації для їхнього оновлення в потрібному напрямку. Недолік випадкового пошуку полягає в тому, що він діє набагато повільніше за градієнтний метод.

Узагальнюючи все вищевикладене, можна зробити висновок, що застосування нейромереж у технологічних процесах холодопостачання та керування холодильними системами може бути використано в наступних системах та елементах:

- регулятора;
- моделі об'єкта керування;
- оптимального фільтра об'єкта керування ;
- регулятора спільно з регулятором іншого типу: лінійним та нечітко-логічним;
- налаштування регулятора іншого типу;
- класифікатора чи розпізнавання образів оцінки свіжості продуктів, якості заморожування тощо.

Крім цього доцільно звернути увагу на реалізацію нейронних мереж у складі нейромережевого регулятора, а також на питання, створення та побудова нейромережевої моделі об'єкта керування.

Загальна стратегія оперативного управління процесом полягає в регулюванні холодопродуктивності установки при зміні теплового навантаження на об'єкт, що охолоджується, і стабілізації режимів роботи обладнання для усунення внутрішніх збурень процесу.

Ідентифікація стану процесу здійснюється за рахунок проведення діагностики режимів роботи обладнання, яка дозволяє визначати симптоми можливих позаштатних ситуацій та вжити заходів, що запобігають виникненню цих ситуацій.

Для максимальної ефективності оперативного управління діагностика має здійснюватися на основі безперервного моніторингу всіх діагностичних показників та із залученням допоміжної інформації, здатної допомогти оператору прийняти правильне.

У результаті проектних досліджень команда проекту запропонувала функціональну, логічну структури системи та алгоритм керування процесом, що реалізують технології інтелектуальної автоматки виробництва холоду [1,44,45,46,49].

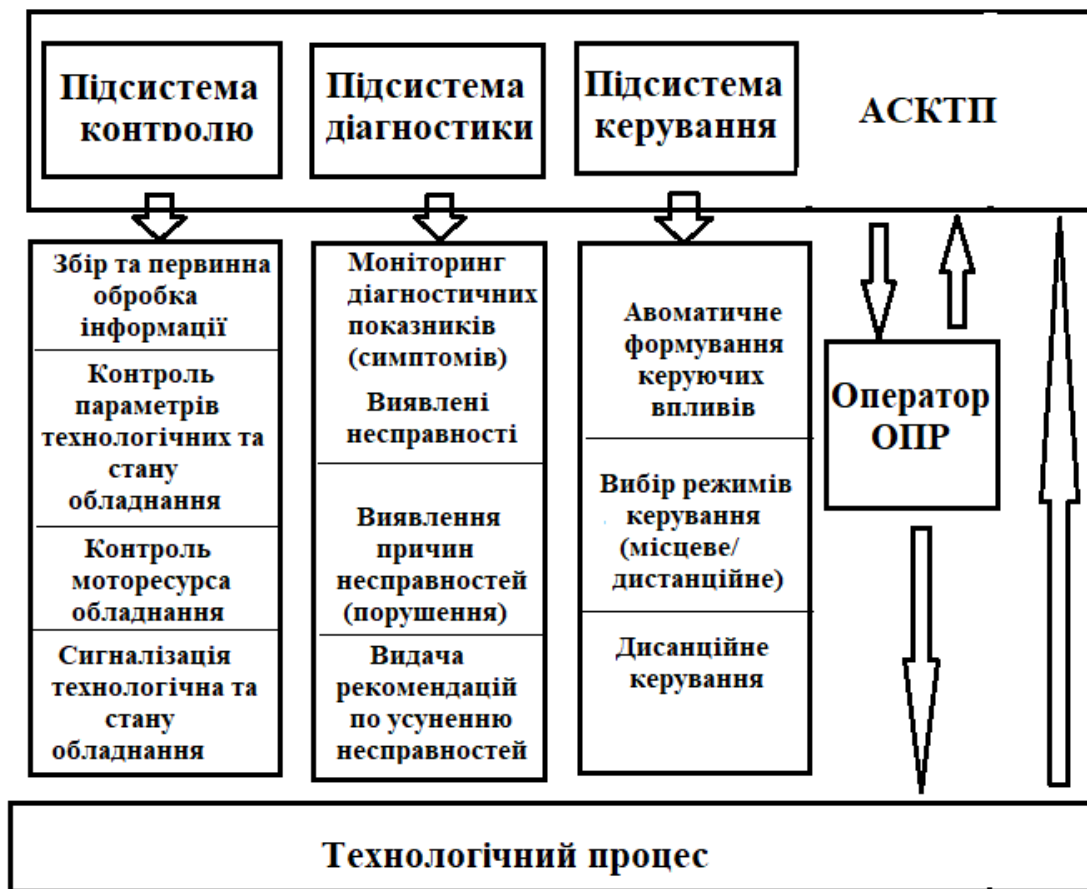


Рисунок 11.12. Функціональна схема автоматичної системи керування технологічними процесами.

Функціональна схема системи, що відображає її принцип дії, наведено на рисунку 11. 12.

Система розділена на три функціональні підсистеми: контролю, діагностики та управління. Вхідним інформаційним потоком в систему є сукупність контрольованих параметрів, за значеннями яких оцінюється стан процесу в цілому, режими роботи технологічного обладнання, обчислюються техніко-економічні показники, від порушення роботи обладнання та позаштатні ситуації в процесі, визначаються їх причини.

Вихідним інформаційним потоком є рекомендації системи щодо усунення виявлених порушень та позаштатних ситуацій.

На рис. 11.13. наведена типова автоматизована система керування технологічним процесом холодозабезпечення холодильних камер ПРХ.

Оператор (ОПР - особа, яка приймає рішення) має можливість оцінити рекомендацію щодо набору параметрів, що ідентифікуються (виявлених симптомів, порушень, причин, значень технологічних параметрів), прийняти або відкинути її.

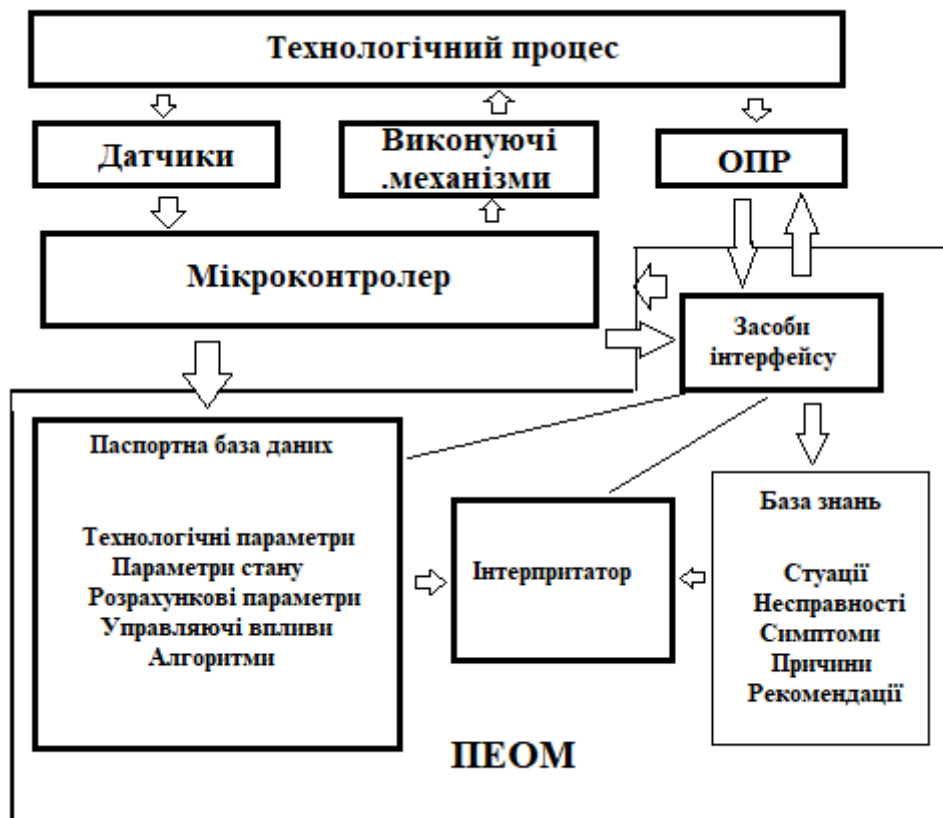


Рисунок 11.13. Автоматизована система керування холодильною системою.

Розроблена АСКТП, що відображає склад підсистем, взаємозв'язок її компонентів, а також взаємодію з оператором та технічними засобами автоматизації процесу, дозволяє зменшити витрати електроенергії та підвищити якість замороженої продукції, зменшити викиди холодоносіїв в навколишнє середовище.

11.3. Принципи проектування інтелектуальної підсистеми керування працездатністю холодильних систем

Однією із актуальних проблем від сьогодні є пошук найбільш раціональних методів забезпечення необхідного рівня працездатності та безпечності діючих і проєктованих аміачних холодильних установок (АХУ) промислових холодильників. Висока енергетична ефективність АХУ забезпечує конкурентні техніко-економічні показники навіть з врахуванням додаткових затрат щодо підтримання рівня безпечної експлуатації [1,2,24,25,26].

Використання на АХУ систем автоматичного захисту холодильного обладнання промислових холодильників (ПРХ), які зупиняють електродвигуни компресорів при виникненні аварійних ситуацій не забезпечують працездатність холодильних машин, а отже і оптимізацію режимів роботи холодильних камер ПРХ. У той же час у процесі роботи холодильних машин ПРХ виникають ряд відхилень від нормального режиму, поява яких не приведе до включення існуючих систем автоматичного захисту. Несвоєчасне прийняття заходів щодо до змінних цих ситуацій може привести до виникнення аварій. До них віднесемо:

- високий тиск всмоктування компресора, різке зниження температури нагнітання, підвищений нагрів окремих вузлів і деталей компресора, появи сторонніх шумів і стукоту тощо.

Високий нагрів підшипників компресора залежить від багатьох чинників, які впливають на розвиток аварійних ситуацій та свідчить про перед аварійну ситуацію, яка може привести до збільшення викидів CO_2 в атмосферу [24,25]. У той же час аварійне відключення ХМ приведе до порушення технологічного процесу холодозабезпечення холодильних камер і процесу заморожування продуктів харчування і як наслідок призведе до економічних втрат [24,46]. У зв'язку з цим необхідно спроектувати такі системи автоматичного керування процесами виробництва штучного холоду та захисту ХМ від аварійних режимів для своєчасного прийняття оперативних рішень щодо розпізнавання аварійних ситуацій [1,2,26].

Розробка автоматизованих систем контролю працездатності ХМ ПРХ вимагає від дослідників використання системного аналізу АХУ з метою виявлення факторів, які впливають на розвиток перед аварійних ситуацій та взаємозв'язків між ними, а також використання методів обробки якісної інформації про стан холодильного обладнання. Ці питання вимагають від дослідників розробки методів ідентифікації передаварійних ситуацій на аміачних холодильних установках, а отже ці питання є актуальними і своєчасними.

У процесі експлуатації компресорних аміачних установок виникають аварії, аварійні ситуації та перед аварійні режими роботи обладнання, які є об'єктом аналізу і дослідження вченими України у процесі виконання проектних рішень. Експертами встановлено, що більшість аварій виникає за рахунок відмови приладів захисту, дефектів, зношення і/або несправностей компресорів, трубопроводів, порушення технологічних регламентів, відхилення від проектної технології виробництва холоду. Дослідники аварійних ситуацій та аварій [3,5,6] вважають аварію як найбільш небезпечну виробничу подію, яка може привести до травмування людей та впливу CO_2 на навколишнє середовище. Під аварією в холодильних системах будемо вважати швидкий перехід об'єкту від працездатного стану до стан порушення виробничого процесу (після аварійний стан). Працездатність холодильних систем, на думку авторів [5,8,9] залежить від вміння персоналу приймати своєчасні рішення.

Отже, ОПР (диспетчер з АРМ) повинні своєчасно: одержувати інформацію про несправності холодильного обладнання; виявляти взаємозв'язки між

технологічними параметрами несправностями та їх причинними зв'язками з аваріями та аварійними ситуаціями; працювати з інтелектуальними системами розпізнавання аварій, аварійних ситуацій.

Для виконання проєктних рішень необхідно провести аналіз оперативної діяльності оператора – технолога промислового холодильника для заморожування в N -холодильних камерах (ХК) продуктів харчування. Оператор – технолог – це особа, яка приймає рішення (ОПР) щодо холодозабезпечення ХК та оптимізації процесів заморожування продуктів за критерієм працездатності та безпечної роботи обладнання ПРХ та мінімізації викидів CO_2 в атмосферу. ОПР також є експертом при створенні бази даних (БД), бази знань (БЗ інтелектуальної системи управління ПРХ).

У процесі формалізації робочих характеристик промислового холодильника з холодильними машинами і холодозабезпеченням холодильних камер ОПР визначає систему чинників, які впливають на розвиток аварійних ситуацій, перед аварійних режимів у вигляді моделей причинно-наслідкових зв'язків [1,2,42,43,54]. Моделі віддзеркалюють характерні особливості режимів роботи обладнання, форми його функціонування та холодозабезпечення холодильних камер та мінімізації втрати якості заморожуваного продукту [45,46,48,47,48,49].

У загальному вигляді виробнича ситуація S_B на ПРХ залежить від n -факторів X_t , які вимірюють як кількісно і/або оцінюють якісно, і які змінюються в часі t .

$$S_B(t) = F(X_{1K}, X_{2K}, \dots, X_{nK}), \quad (11.13)$$

де K – число ситуацій $K = 1, 2, \dots$,

n – число факторів, які визначають процес холодозабезпечення $N - K$

промислового холодильника.

У реальних умовах оцінка виробничої ситуації S_B у ПРХ ОПР виконується через визначений проміжок часу t . Тому рівняння (11.23) запишемо наступним чином:

$$S(t) = F(X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)), \quad (11.14)$$

Отже, кожна виробнича ситуація залежить від сукупності факторів, загальне число яких визначається конкретними особливостями виробництва штучного холоду холодильними машинами, холодозабезпечення ХК, технологічними параметрами заморожування продуктів харчування.

У той же час кожен виробничу ситуацію S_B можливо представити: S_1^{XM} сферою стійкої роботи АХУ холодильних машин, S_2^{XM} – сферою недовантаження холодильних машин; S_3^{XM} – сферою перевантаження холодильної машини (потенційно небезпечна аварійна ситуація). У процесі експлуатації холодильних аміачних машин виникає вологий хід компресора, висока температура нагнітання і т.п., які ОПР віднесе до передаварійних режимів роботи холодильних машин ПРХ [24,45,55].

Ситуації S_3^{XM} буде відповідати сукупність параметрів, наприклад – високий нагрів вольниць (підшипників) компресора, а саме: x_1^{KP} – сила струму в СД двигуна поршневого компресора; x_2^{KG} – сила струму в АД двигуна гвинтового компресора двоступеневої холодильної машини [10,24,49];

параметри $x_3^{КП}$, $x_4^{КГ}$ характеризують – тиск на усмоктування компресорів, МПа; $x_5^{КП}$ – температура пару, що нагнітається °С; $x_6^{КГ}$ – перегрів на всмоктування в гвинтовий компресор Δt_{BC} , °С; $x_7^{КП}$, $x_8^{КГ}$ – вібрації відповідно вольниць поршневого і гвинтових компресорів. Сукупність цих нечітких параметрів, які описують ситуацію S_3^{XM} дозволяють генерувати оперативну БД і БЗ нештатних ситуацій для кожної несправності та формалізують знання експертів (ОПР) про фактори, які впливають на розвиток аварійних експлуатаційних ситуацій у вигляді продукційних правил виду:

$$P_{S_3^{XM}} = P_{x_1^{КП}} V P_{x_2^{КГ}} V P_{x_3^{КП}} V P_{x_4^{КГ}} V P_{x_5^{КП}} V P_{x_6^{КГ}} V P_{x_7^{КП}} V P_{x_8^{КГ}} V, \quad (11.15)$$

де $P_{x_1^{КП}}$, $P_{x_2^{КГ}}$, ..., $P_{x_8^{КГ}}$ – предикати, які відповідають параметрам $x_1^{КП}$, $x_2^{КГ}$, ..., $x_8^{КГ}$ виробничої ситуації S_3^{XM} . Методика опису ситуації детально розглянута в джерелах [1,2], і ефективно використана в системах розпізнавання аварійних ситуацій і аварій в харчовій промисловості [1].

Перейдемо до проектування вбудованої в АСУТП підсистеми розпізнавання аварійних ситуацій в холодильних системах промислових холодильників. У системах керування холодозабезпеченням холодильних камер для заморожування туш великої рогатої худоби (ВРХ) з оптимальними температурними режимами – 40 °С і менше та підтримання вологісного режиму необхідно автоматично в темпі з процесом розпізнавати аварійні ситуації.

У розробленій в ДонНУЕТ імені Михайла Туган–Барановського інтелектуальній платформі «ХОЛОД» моніторинг параметрів керування холодопродуктивністю холодильних систем (поршневих і гвинтових компресорів) виконано за допомогою датчиків температури, вологості, вібрацій холодильних машин. Контроль робочих характеристик холодильних камер виконано за допомогою датчиків температури, вологи повітря, свіжості продукції, положення дверей та геометрії заповнення ВРХ в холодильних камерах. Це дозволяє оператору з автоматизованого робочого місця (АРМ) за допомогою програмного інтерфейсу та візуалізації параметрів оптимізувати витрати енергії та скоротити викиди CO_2 , а головне мінімізувати втрату споживчих характеристик продуктів харчування [1,2,38,40].

Концепція збільшення ефективності, надійності й підвищення працездатності та безпечності заморожування продукції харчування вимагає від дослідників нових проектних рішень, а саме: 1) підвищення працездатності холодильних систем шляхом розпізнавання аварійних ситуацій та аварій на основі експертних систем; 2) розробки технології розподіленого моніторингу виробничих S_B^{XK} і аварійних ситуацій S_1^{XM} , S_2^{XM} , S_3^{XM} .

У сучасних системах автоматизованого управління широко використовуються способи і пристрої визначення розмірів предметів охолодження, наприклад оптико-телевізійні або радіолокаційні [2,3]. Суттєвою ознакою цих способів і пристроїв є те, що виконується аналіз одержаної інформації відповідно до розроблених алгоритмів розпізнавання образів [2,13,20] 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 проектних рішень [50-54].

Іншим важливим аспектом роботи є створення для ОПР автоматичної системи візуалізації технічного стану випарника холодильної камери (обмерзання випарника) та формування команд щодо адаптивного керування процесом відтаювання випарника у випадку виникнення аварійних ситуацій S_B^B .

Отже, розробка та дослідження системи контролю параметрів туші великої рогатої худоби та стану випарника холодильної камери промислового холодильника з системами нейрокерування холодозабезпеченням є інновацією, яка значно збільшує рівень працездатності холодильного обладнання за рахунок систем розпізнавання аварій та аварійних ситуацій як компресорних систем, так і роботи холодильних камер.

На рис. 11. 14 наведена схема АСУТП ПРХ з вбудованою підсистемою нейромережевого розпізнавання аварійних ситуацій аміачних холодильних установок, систем холодозабезпечення холодильної камери та якості заморожування продукції. У холодильній камері для заморожування м'яса у вигляді туші, представленої на рис 11. 14, наведено схему положення туші ВРХ з системою одноканального розподілення повітря 7 та систему датчиків розпізнавання геометричних розмірів (ВК1, ВК2, МС1, МС2), а також відеокамера ВК3 в системі розпізнавання стану випарника.

В цій системі керування використана платформа «ХОЛОД» з програмним забезпеченням (ПЗ) і алгоритмічним забезпеченням, ОПР – експертною системою, інтелектуальними моделями ПРХ [1,2,71]. У нейромережевих системах керування АХУ і ХМ застосовано середовище NeuroSolutions (NeuroDimension, Inc.), для апаратної реалізації використані RISM процесор типу Power 4.

Перевірку розроблених алгоритмів розпізнавання виконано на експериментальній холодильній установці ДОННУЕТ.

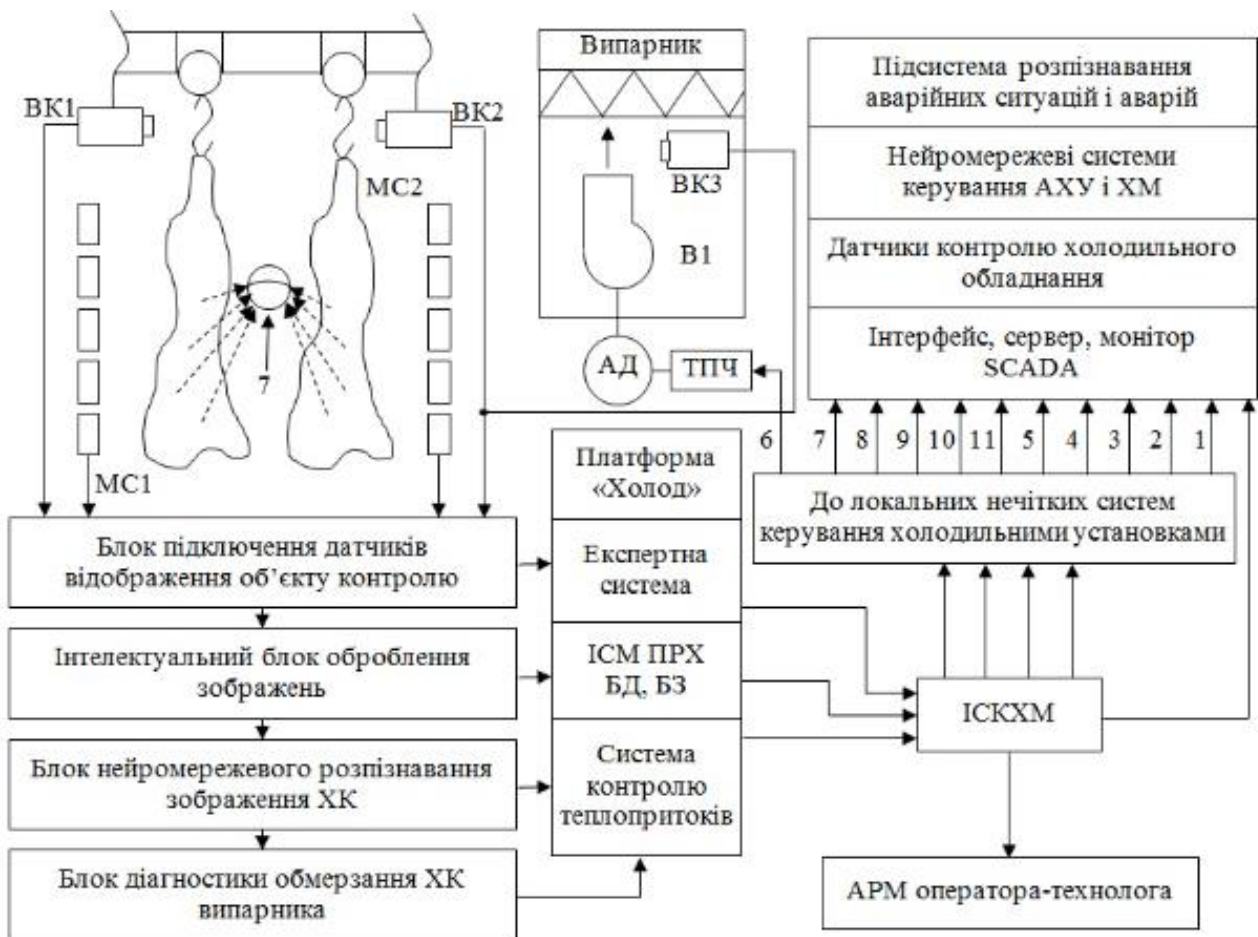


Рисунок 11.14. Схема АСУТП ПРХ з вбудованою підсистемою нейромережевого розпізнавання аварійних ситуацій

Для цього були побудовані наступні моделі:

1. Нештатні аварійні ситуації холодильних машин, детально розглянутих в [43,45,46].
2. Масиви даних $x_1^{КП} x_2^{КГ} x_3^{КП}$, $x_4^{КГ}$, ..., $x_7^{КП}$, $x_8^{КГ}$ робочих параметрів поршневих, гвинтових компресорів в стаціонарних режимах для 6 – термодинамічних циклів, при трьох температурах кипіння (мінус 20°, мінус 30°, мінус 40°С) і двох температурах конденсації (+ 25°С і 45°С).
3. Для означених ситуацій $S_1^{XM}, S_2^{XM}, S_3^{XM}$ із розробленої БЗ змодельовані ситуації зі зміною експлуатаційних параметрів холодозабезпечення холодильних камер ПРХ, серед них температурне поле холодильної камери, вологість повітря, стан випарника, геометрію заповнення тощо.

Ці дослідження дозволили ОПР з ЕС корегувати відповідно БЗ і ПЗ, що збільшило якість розпізнавання АС до 98,8 % та швидкодію алгоритмів розпізнавання.

Підсистема розпізнавання АС і аварій, яка вбудована в АСУТП промислового холодильника функціонує під керуванням операторної системи родини Windows, яка розроблена засобами середовища програмування MSVisual – StudioNet 2021 на мові Visual C#. Базу даних створено з

використанням СУБД MSSQL Server 2021. Крім цього в інтелектуальній системі керування ПРХ використані контролери АК2 фірми «Danfoss», які реалізують алгоритми нечіткого керування холодильним обладнанням, а саме:

1,8 – холодопродуктивністю поршневих компресорних установок;

2,9 – холодопродуктивністю гвинтових компресорних установок;

3,10 – конденсаторів; 5,6 – випарників; 7,11 – швидкістю вентиляторів. У випадку аварійних ситуацій, аварій в системі передбачені операції: блокування, індикації технологічних ситуацій, індикації поточного стану випарників, ведення архіву та журналу ОПР.

Отже, в цій темі запропонована нова структура інтелектуальної системи узгодженого керування аміачними холодильними установками (холодильними машинами, холодопостачанням холодильних камер), яка дозволила споживачам холоду значно покращити: характеристики продуктів заморожування, вихідні параметрами витрат електрики та мінімізувати викиди CO_2 , що дозволяє особі, яка приймає рішення, ефективно розпізнавати технологічні виробничі ситуації, аварії та аварійні ситуації.

Запитання та тести для самоперевірки знань

1. Яке обладнання проєктанти називають фанкойлами?
2. Що називають чилером?
3. Чому регулятори витрат проєктанти встановили на кожній гілці системи холодопостачання холодильної камери промислового холодильника?
4. Навести основні положення методики проєктування системи холодопостачання чотиритрубних фенкойлів
5. Запишіть значення втрат тиску на регульованій ділянці.
6. Чому для підбору циркуляційного насоса кожної гілки холодопостачання необхідно визначити необхідні значення подачі $V_n, м^3/г$ і напору $\Delta P_n, кПа$ (або м.вод.ст.)?
7. Чому реальна картина зміни витрат рідини через клапан відрізняється від ідеальної робочої характеристики клапана ?
8. Що розуміють проєктанти під регульованою ділянкою мережі холодопостачання?
9. Чому співвідношення перепаду тиску на клапані і перепаду тиску на регульованій ділянці вносить істотний вплив на вигляд вихідної характеристики холодопостачання?
10. Який прилад приймають проєктанти в якості регулюючого органу ділянки холодопостачання?

Тести.

Тест 1. Фанкойл-теплообмінник: а) до якого подається холодоносії; б) в якому за допомогою вбудованого вентилятора проганяється повітря; в) в якому охолоджується і надходить агент в холодильну камеру промислового холодильника; г) всі відповіді правильні.

Тест 2. Система холодопостачання фанкойлів являє собою циркуляцію води або аміаку в системі між: а) випарником (чилера) та повітроохолоджувачем фанкойлів; б) випарником і конденсатором; в) випарником і компресором; г) випарником і ресивером.

Тест 3. Для підвищення ефективної роботи чилера потрібно створити постійні і безперервні витрати: а) води; б) аміаку; в) які задається при виборі типорозміру чилера; г) всі відповіді правильні.

Тест 4. Назва чилер від англ. слова: а) chil- холод; б) тепло; в) холодоагент; г) повітря.

Тест 5. Для приміщень охолодження м'ясопродуктів холодоагентом вибрано аміак з: а) температурними режимами від $-5^{\circ}\text{C} \dots -20^{\circ}\text{C}$; б) температурними режимами від $-10^{\circ}\text{C} \dots -20^{\circ}\text{C}$; в) температурними режимами від $-0^{\circ}\text{C} \dots -30^{\circ}\text{C}$; г) температурними режимами від $-10^{\circ}\text{C} \dots -40^{\circ}\text{C}$;

Тест 6. Гідравлічний розрахунок ділянок трубопроводів $\Delta P_{\text{діл.}}$ виконують за методом: а) питомих втрат тиску на тертя; б) питомих витрат; в) питомих енергозатрат; г) питомих витрат холоду.

Тест 7. Балансовий вентиль використовується в якості: а) запірною пристрою, б) балансового; в) вимірювального пристрою; г) всі відповіді правильні.

Тема 12. Принципи проєктування інтелектуальних систем холодопостачання холодильного обладнання супермаркету

12.1. Характеристика об'єкта проєктування

Торгівельним холодильним обладнанням також називають малі охолоджувальні пристрої, що призначаються для короткотермінового зберігання, демонстрації і продажу швидкопсувних товарів.

До них належать збірні холодильні камери, холодильні шафи, охолоджувальні вітрини закритого та відкритого типу, холодильні прилавки, прилавки-вітрини, гірки, бонети. В кожному супермаркетингу є холодильні камери для м'яса великої рогатої худоби, отже для виробництва продукції на власних технологічних лініях (супермаркет «ПрАТ АТБ»).

Однією з найважливіших груп обладнання будь-якого супермаркету є холодильні камери, призначені для зберігання товарного запасу м'ясних продуктів харчування, з холодопостачанням від автономних холодильних установок.

Виникає питання, що таке проєктування холодильного обладнання супермаркетів? Дамо наступну відповідь: це комплекс робіт, направлених на розробку, дослідження, розрахунок і конструювання об'єкта проєктування. Об'єктом проєктування є система автоматизованого управління холодильним обладнанням супермаркета (АСУХОС).

Метою проєктування є створення системи управління з високим рівнем інтелектуалізації та ситуаційного керування режимами роботи компресорного обладнання та мінімізації викидів CO₂ в атмосферу підприємства та захист обладнання від аварійних ситуацій.

Перейдемо до детального вивчення етапів розробки автоматизованої системи управління холодопостачання холодильного обладнання супермаркету. Проєктування автоматизованої системи управління (АСУ холодильного обладнання супермаркету) є одним із важливих і відповідальних етапів та вимагає запрошення системотехніків, математиків, спеціалістів з мехатроніки і програмістів.

12.2. Алгоритм проєктування АСУ холодильного обладнання супермаркету

Алгоритм проєктування АСУХОС складається з наступних етапів:

1. Початок. Створення команди проєкту. Розробка місії та цілі проєкту. Ціль: у процесі виконання проєктних робіт необхідно втілити всі передові технології холодопостачання холодильного обладнання супермаркету.

Місія: Новітнє холодильне обладнання супермаркету на базі робототехнологічних комплексів забезпечує оптимальну енергоефективність та якість продукції.

2. Аналіз даних технічного завдання (ТЗ) і попередніх проєктних рішень. У процесі вивчення існуючого холодильного обладнання супермаркету спеціалісти команди проєкту звернули увагу на пріоритетність ліній холоду в

торгових залах супермаркету щодо островів прилавків та холодильних вітрин, які повинні бути оснащені енергозберігаючими технологіями.

3. Корекція попередніх рішень. У процесі виконання проектних рішень головним критерієм вибору холодильного обладнання стала ергономіка вітрин DIAGONAL. Для кожної групи продуктів необхідно розробити в проекті особливу конструкцію експозиційної поверхні. Всі попередні рішення повинні забезпечувати в першу чергу зручність і ефективність експонування продуктів, захист продукції від псування та оцінку якості продукції в реальному масштабі часу.

4. Синтез функціональної структури. Це важливе питання проекту розпочнемо з вибору холодильного обладнання. Холодильні вітрини в дизайні DIAGONAL оснащені енергозберігаючими дверима Remis (Німеччина) і стабілізаторами повітряного потоку. Для заморожуваних продуктів встановлені комбіновані пристійні вітрини Nautilus Gombi- з двома автономними об'ємами для демонстрації продуктів У комплекс проектних рішень у процесі вибору холодильного обладнання запропоновано включити енергоефективні холодильні камери і повітроохолоджувачі Guntner(Німеччина), мультикомпресорні установки на компресорах Bitzer(Німеччина), система утилізації тепла конденсації, повітряний конденсатор Guntner(Німеччина). Важливим елементом проекту є система комп'ютерного моніторингу, наприклад, типу (Adap-Kool) Данія.

Для управління холодильним обладнанням супермаркету проектантантами виокремлено АСУТП з трьохрівневим рівнем керування технологічним процесом.

Синтез таких багаторівневих систем зведено до оцінки роботи:

- верхнього рівня з сучасними промисловим Інтернет речей, SCADA ERP-систем з визначенням цілей управління та визначенням змінних, бази даних, бази знань, оцінки інформаційного і програмного забезпечення, методів проектування ситуаційних кімнат;

- середнього операційного рівня MES – систем і проектування робототехнологічних комплексів холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркету;

-нижнього рівня керування технологічними процесами з вибором конфігурації регуляторів нечітких систем та виконавчих механізмів.

5. Вибір критеріїв якості АСУХОС.

У процесі підготовки проекту команда аналізує наступні критерії якості функціонування АСУХОС:

1. Величина приведених затрат

$$\Phi_1 = C + E_n K + m_n P \rightarrow \min,$$

де С- собівартість функціонування АСУХОС; E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності; К- капітальні затрати на створення АСУХОС; m_n - норматив ефективності трудових ресурсів; Р- кількість персоналу АСУХОС. Якщо С1 і С2, К1 і К2- собівартість і затрати різних варіантів щодо реалізації АСУХОС, то

$$\Phi_1 = C_2 - C_1 + E_n(K_2 - K_1) + m_n(P_2 - P_1)$$

- річний економічний ефект.

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$\Phi_2 = \Pi / K \rightarrow \max,$$

Π - прибуток від упровадження АСУХОС. Термін окупності капітальних вкладень:

$$\Phi_3 = K / \Pi \rightarrow \min$$

Критерії якості локальних функцій АСУХОС:

1. $CO_2 \rightarrow \min$.

2. $E_{енрг.} \rightarrow \max$.

3. Як пот. \rightarrow Як опт.

6. Оцінка архітектури системи керування нижнього, середнього та верхнього рівнів. У процесі проектування архітектури АСУХОС команда проекту проводить: 1. Аналіз функціональної схеми апаратно - програмного комплексу АСУТП супермаркета; 2. Досліджує вплив збурення на систему ХОС та визначає технологічні параметри контролю, виконує оцінку параметрів керування холодопродуктивності холодильних машин, холодильного обладнання, визначає датчики та системи контролю якості замороженої та охолодженої продукції; 3. Аналіз пристроїв спряження нижнього, середнього та верхнього рівнів керування, оцінює потужність МЕС- системи, мікропроцесорів верхнього, середнього і локальних систем нечіткого керування компресорними установками, конденсаторами тощо; 4. Аналіз бази даних, бази знань, бази моделей інтелектуальної системи керування ХОС, визначають основні способи уявлення знань про процеси охолодження та заморожування продукції, оцінюють інформативність опису технологічних процесів щодо розпізнавання аварійних ситуацій та аварій; 5. Синтез задач моніторингу параметрів якості продукції та параметрів CO_2 ; 6. Аналіз моделі, яка описує задану цільову траєкторію управління холодильним обладнанням супермаркета в просторі станів; 7. Вибір структурної схеми функціонування програмно-апаратного комплексу АСУХОС.

7. Розробка інформаційного забезпечення АСУХОС. Інформаційне забезпечення АСУХОС в основній його частині складається з:

1. Інформаційної структури АСУХОС, яку виконано у вигляді таблиць І/АБО графа; 2. Організації бази даних (БД) і бази знань (БЗ) (структура і спосіб доступу до даних і знань); 3. Відомостей сигналів і кодів щодо взаємодії з оператором АСУХОС і зовнішніми системами; 4. Відомостей форм документів І\АБО відеограм і макети форм, які виведені для персоналу на пристрої друку або дисплей; 5. Форматів даних і інструкції щодо режиму обміну для кожного зовнішнього інтерфейсу; 6. Вимог до мов програмування і редагування програм різного призначення і, в першу чергу, до мов спілкування персоналу з пристроями цифрового управління (ПФУ) АСУХОС; 7. Системи класифікації і кодування даних.

8. Постановка задач математичного забезпечення. Цей етап проектування пов'язаний з математичним описом фізичних процесів охолодження, заморожування продуктів харчування в холодильних апаратах різного призначення, моделювання процесів холодопостачання. оцінки параметрів

холодопродуктивності технологічної ланки ХОС, математичний опис траєкторій руху матеріальних вхідних і вихідних потоків продуктів у холодильних вітринах щодо оцінки їх якості в масштабі реального часу.

9. Розробка алгоритмічного забезпечення АСУХОС. Алгоритмічне забезпечення АСУТП супермаркета включає: алгоритми керування процесом холодопостачання холодильного обладнання, захисту компресорного обладнання від аварій ; аварійних режимів роботи холодильного обладнання, алгоритми оцінки якості продукції, енергоефективності, мінімізації параметрів CO₂ на навколишнє середовище тощо.

10. Вибір складу основних функціональних блоків АСУХОС і схемотехнічний синтез АСУ холодильного обладнання супермаркету.

До складу основних функціональних блоків АСУТП супермаркету проектною командою віднесено: програмне забезпечення, алгоритми нечіткого керування, MES-системи оперативного керування, ERP- системи верхнього рівня управління, Промисловий Інтернет – речей, нейромережеві системи моніторингу CO₂, діагностики холодильного обладнання, ПІВ- інтелектуальні пристрої вимірювання якості продукції, АРМ- оператора. Верхній рівень з МІКРО-ЕОМ представлено ЦІУ- центром інтелектуального управління. В якості мікропроцесорів в АСУХОС запропоновано – контролери SIMATIC S7 з інтелектуальними модулями введення/ виведення. Ці модулі забезпечені вбудованими мікропроцесорами і можуть автономно виконувати критичні до часу виконання завдання, підтримуючи зв'язок з процесором за допомогою власних ввідів-виходів. Використання інтелектуальних модулів дозволяє суттєво розвантажити центральний процесор, використовуючи його обчислювальні можливості для рішення оптимізації параметрів холодопродуктивності холодильних машин, мінімізації викидів CO₂ в атмосферу тощо.

У процесі схемотехнічного аналізу автори проекту звернули увагу на необхідність розробки підсистем з особливими вимогами. У багаторівневій АСУТП супермаркета проєктанти виокремили декілька підсистем з особливими вимогами щодо швидкодії і надійності. До таких підсистем віднесені: діагностика стану холодильного обладнання та ліній холоду ; реалізація задач і функцій оперативного планування і керування процесами холодопостачання, енергопостачання, водопостачання, реєстрації аварійних ситуацій тощо.

У процесі схемотехнічного синтезу АСУТП супермаркету команда проекту прийшла до висновку щодо потужності центрального мікропроцесора SIMATIC S7, ERP, MES систем верхнього та оперативного рівнів та його інтерфейсу з іншими мікропроцесорами. Загальною умовою функціонування мікропроцесорів є виконання функцій оброблення, збереження, обміну і управління цими процесами над трьома видами інформації: даними, командами та адресами.

Оброблення інформації можливо представити рядом функцій: логічною, арифметичною, і спеціальною (підсилення, перетворення кодів, шифрування-дешифрування і т. п.) Функція обміну виконує обмін інформацією як всередині

процесора, так і зі зовнішніми пристроями. Функцію збереження можливо представити у вигляді сукупності функцій оперативного над оперативного збереження вхідної, проміжної та кінцевої інформації, а також функцією довго термінованого збереження з можливістю оновлення інформації.

11. **Проектування інтерфейсів. Під інформаційними інтерфейсами будемо розуміти сукупність програмно-апаратних засобів, які забезпечують взаємодію процесорів з функціональними блоками пристроїв керування, іншими процесорами або зі зовнішніми пристроями. До інформаційних інтерфейсів відносять пристрої введення/ виведення, які забезпечують зв'язок з людиною оператором. З метою зменшення вартості проєкта АСУХОС бажано максимально уніфікувати інтерфейси по усім видам забезпечення: інформаційному, програмному, апаратному. Будемо розділяти на аналогові та цифрові. Аналогові інтерфейси проєктують як електричні чотирьохполіусники. Цифрові інтерфейси поділяють на паралельні і послідовні. Уявлення цифрових даних, кожному біту яких виділена окрема лінія шини, називають паралельним двоїчним числовим кодом (ДЧК). Передачу цього коду виконують одночасно на усіх визначених лініях.**

У супермаркетах з метою використання промислового Internet- речей будемо використовувати послідовні інтерфейси, які вирішують як задачі зовнішні по відношенню до проєктуємого пристрою зв'язку (Ethernet).

У процесі обговорення цього важливого етапу проектування команда проєкту також визначалась з типом інтерфейсу, а саме обрала інтерфейс RS-485.

12. **Моделювання АСУХОС і корекція попередніх рішень. Процес моделювання АСУХОС розпочинається з організації системних досліджень моделей технологічних процесів заморожування та охолодження продуктів у холодильних камерах, холодильних вітринах, вітринах- прилавків тощо та оцінки інтелектуалізації технологічних процесів на собівартість продукції харчування. Виокремлюються інформаційні змінні, які визначають технологічний процес холодопостачання, холодопродуктивність, режими роботи холодильних машин, енергоефективність холодильного обладнання, будуються математичні моделі залежності холодопродуктивності від термодинамічних, теплофізичних, фізико-хімічних та фізіологічних властивостей холодоагентів.**

Шляхом імітаційного моделювання корегують попередні рішення щодо вибору потужності компресорних установок, їх режимів роботи, повітряних конденсаторів, випарників, трубопроводів та апаратури контролю та вимірювання параметрів CO₂.

13. **Компанування апаратної частини АСУХОС. В цьому розділі команда проєкту звернула увагу на комплектацію компресорів, обладнання холодильних машин та розробляли методи і алгоритми керування двигунами компресорних машин. Управління двигунами гвинтових компресорних установок - це ціленаправлена зміна його механічної потужності, а отже холодопродуктивності холодильної машини за рахунок зміни електромагнітної**

енергії в його електричній частині. Важливим елементом проекту є використання інтелектуальних виконавчих механізмів.

14. Розробка програмного забезпечення АСУХОС. Основні задачі проектування програмного забезпечення (ПЗ) зведено до наступного: 1. Вибору або розробці операційної системи; 2. Вибір мов програмування; 3. Структурування ПЗ у вигляді пакетів підпрограм; 4. Розробка і випуск робочої документації ПЗ. Звернемо увагу проектної команди на етап розробки операційної системи (ОС), яка повинна функціонувати: а) в масштабі реального часу (ОСРЧ) та з розділенням часу (ОСЧР). Операційна система реального – це ОС, яка забезпечує виконання задач в темпі з процесом холодопостачання холодильного супермаркета, ОСРЧ - це система, яка повинна реагувати на події, які виникають в пристрої, а ОСЧР - повинна оптимально розподіляти ресурси комп'ютера між користувачами і задачами. ОСРЧ і ОСЧР – розпізнають по типу оброблення запитів, а саме: ОСРЧ – розпізнають по типу оброблених запитів тобто ОСРЧ – орієнтована на оброблення зовнішніх подій, а ОСЧР – на оброблення дій користувача. ОСРЧ – є інструментом щодо створення програмного комплексу задач реального часу, а ОСЧР – найчастіше розглядається спеціалістами проектної команди як набір готових до використання додатків.

У системі АСУХОС проектна команда вирішила використовувати архітектуру ОСРЧ «клієнт-сервер», в якій ядро виконує функції диспетчера-повідомлень між клієнтськими користувальними програмами і серверами – системами сервісами, перевагами яких є підвищена надійність, більш легше відладження і пошук помилок, проста зміна конфігурації прикладного ПЗ, більш висока стійкість до відмов.

15. Розробка і випуск проектної документації АСУХОС.

Виконаний проєкт автоматизованої системи управління холодильним обладнанням супермаркетингу повинен задовольняти діючим у нашій країні міжнародним стандартам ISO-9000 та відповідати наступним показникам проєкта: 1. показникам ефективності проєкта; 2. показником значущення проєкта; 3. повернення інвестицій. Експерти оцінили проєкт як пошукову роботу, яка відповідає вимогам стандарту ISO-9000. Перейдемо до виконання проєктних рішень щодо розробки систем автоматизації острівних прилавків

12.3. Проектування систем автоматизації острівних прилавків

На рис. 12.1 наведено розроблену систему інтелектуалізації процесів холодопостачання в АСУХОС, в якій втілені основні положення проєкту з системами автоматизації острівних прилавків.

Спочатку розглянемо методи інтелектуальної автоматизації процесів нечіткого керування острівними прилавками та компресорного обладнання холодильних вітрин. Усі супермаркети мають вітрини-холодильники й холодильні камери, економічна робота яких може бути забезпечена лише за допомогою систем адаптивного нечіткого керування компресорними установками і холодопостачання.

Розглянемо цей приклад проектування за допомогою нечітких автоматизованих систем управління виробництвом холоду і його холодопостачанням. У таких системах мікро-ЕОМ є «мозком» кожної холодильної вітрини, в якій розташовані системи контролю якості продукції високої точності. Також проєктанти рекомендують використовувати роботи типу TXSCARA, які розроблені японською компанією Telexistence, головним завданням яких є поповнення охолоджених напоїв і стеження за їх наявністю.

Мікро-ЕОМ островних прилавків керує: а) регулюванням холодопродуктивності; б) сигналами щодо розморожування; в) оцінює несправності в системі забезпечення холодопостачання.

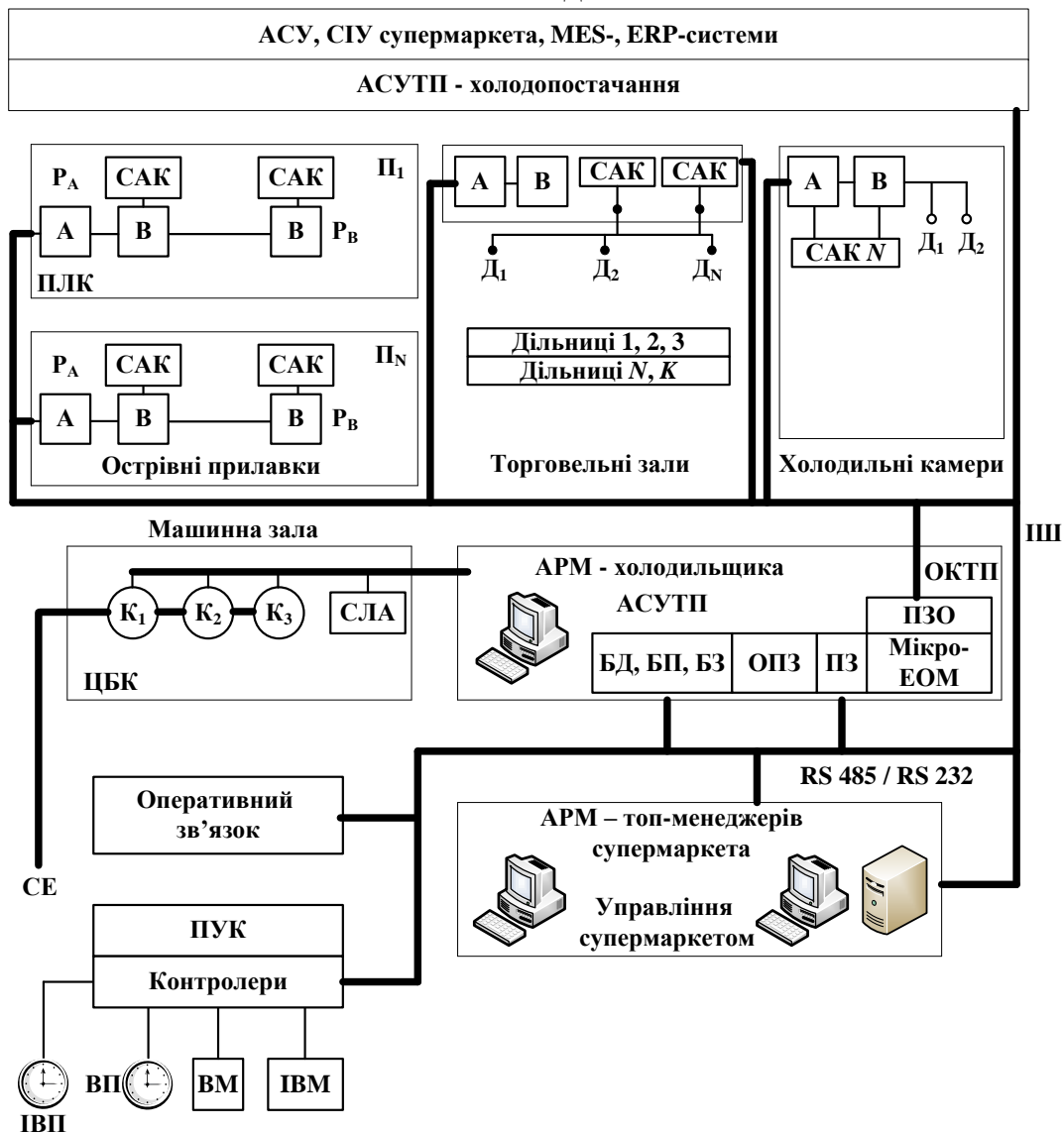


Рисунок 12.1. АСУХО супермаркета:

А, В – плати ПЛК; САК – система автоматичного контролю 1, 2, N; ЦБК – центральний блок компресорів $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; СЛА – система локальної автоматизації з адаптивними нечіткими регуляторами; ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом; СЕ – система електропостачання компресорів $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; ПУК – пульт керування компресорами $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; ОКТП – операторське керування технологічним процесом;

ВП – вимірювальні прилади; ІВП – інтелектуальні вимірювальні прилади;
ВМ – виконавчі механізми; ІВМ – інтелектуальні виконавчі механізми
ПЗ системи дозволяє створити інтерактивний діалог ОПР з ЕОМ.

Всю інформацію одержує мікро-ЕОМ через ПЗО та спеціальні ПЛК (плати А, В) за допомогою ПШ від температурних датчиків D_1, D_2, \dots, D_N кожної вітрини.

Плата В з ПЛК керує також завданням температури та інформацією про негаразди, які із нею пов'язані. Ці ПЛК керують V – реле розморожування (плата В), які в свою чергу керують групою електромагнітних пристроїв (вимкн/вмк + контактор), що знаходяться в кожній вітрині з метою забезпечення електричного розморожування. Додатковими функціями системи є: регулювання добового теплового режиму за допомогою нічних шторок або заслінок; електричне регулювання за допомогою стрічкових нагрівачів; діагностичні функції, які виконуються за допомогою ПЛК і пульту АРМ; спеціальні види повідомлень про негаразди (засолення водяних трубопроводів і т.п.); електронне узгодження роботи регулюючого вентиля і регулятора швидкості.

Реле P_A на платі А сигналізує про негаразди в системі керування процесом заморожування з ПЛК (охоплює 10 видів негараздів на холодильній дільниці), сигналізує також про негаразди у машинній залі за допомогою мікро-ЕОМ та АРМ дисплея диспетчера на АРМ. АРМ диспетчерського пункту забезпечене ПЗ і довідниковою базою та оснащене друкувальними пристроями, що видають інформацію про негаразди в системі холодопостачання вітрин конкретним спеціалістам.

При розпізнаванні негараздів (що можуть бути зафіксовані та оброблені в РЧ) мікро-ЕОМ надсилає АРМ-технологу й холодильщику інформацію про обслуговування тієї чи іншої холодильної дільниці супермаркету. Диспетчер-холодильщик може оцінити, виходячи із БД, можливі аварійні ситуації і відпрацювати команди дистанційного керування.

Функції дистанційного керування за негараздами та дистанційного консультування підтримуються за допомогою ПШ, яка зв'язує групу плат А з інтерфейсною платою, а негаразди у машинній залі обробляються мікро-ЕОМ, що одержує інформацію з плат А, В. Інтерфейсна плата може бути продубльована в іншому приміщенні супермаркету, вона дозволяє зібрати у диспетчера-холодильщика інформацію про температури і несправності на холодильних дільницях і в машинній залі. До неї можуть бути приєднані друкувальні пристрої і модем.

Події на дільницях холодильних постів (обладнання з позитивною температурою, морозильне обладнання, холодильні камери з позитивними температурами, холодильні камери з температурами -20 град.С), так як і несправності в машинній залі, передаються на АРМ диспетчера-холодильщика.

Крім цього мікро-ЕОМ та ОПЗ диспетчер-холодильщик одержує всі значення параметрів постів «холоду» (температури, розморожування, перелік негараздів (неполадок), параметри регулювання і т.п.), а при необхідності диспетчер-холодильщик може за допомогою ОПЗ впливати на режими роботи холодильного обладнання супермаркету. Конфігурація дистанційного

керування в системі СІУ виконана на основі сучасних мікро-ЕОМ, ПЛК і інтерфейсів RS485/RS232 та АРМ диспетчера.

Якщо в проєкті використувати бібліотеку кольорових графічних позначень для кожної холодильної вітрини (групи холодильних вітрин), то мікро-ЕОМ буде керувати холодопостачанням, водопостачанням і надавати на АРМ диспетчеру-холодильщику в реальному масштабі часу зміни контрольованих параметрів у часі, а саме: характеристики роботи компресорів $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; параметри системи електропостачання (СЕ), тощо.

Ситуаційний інтелектуальний центр (СІЦ) супермаркету разом з АСУ, MES- та ERP-системами утворюють адміністративний рівень управління (систему верхнього рівня управління супермаркету).

АРМ топ-менеджерів супермаркету керує бізнес-процесами, контролює в РЧ потоки грошей, виконує оперативне і стратегічне планування, а також одержує інформацію через промисловий Інтернет-речей (ІоТ) та постійно підтримує зв'язок зі споживачами та постачальниками продукції.

До переваг нечітких способів керування, що відносяться до категорії ІСУ холодопостачанням, можна віднести такі можливості:

- реалізувати будь-який необхідний для процесу нелінійний алгоритм керування;
- мати неповний, приблизний опис ОК, а для НМ відсутність опису:
- фаззі-логіка не потребує великих обчислювальних потужностей.

Таким чином, побудова НСК на базі нечіткої логіки є найбільш прогресивним варіантом реалізації адаптивних систем безпечної експлуатації компресорних установок.

Перейдемо до виконання проєктних рішень щодо методів моніторингу холодильного обладнання супермаркетингу.

Об'єкт моніторингу представляє собою сукупність n – багатоступеневих компресорних холодильних машин (діагностичний вузол), холодоносіїв, каналів холодопостачання, холодильних вітрин та прилавків супермаркета.

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 (intranet|Internet), інформаційної бази даних і знань, блока керування і синхронізації.

У той же час пропонуємо один із варіантів системи моніторингу холодильного обладнання супермаркету (вітрин, прилавків, положення дверей холодильника), в якому є блок прийняття рішень ОПР на основі вхідного масиву діагностичних ознак і експлуатаційних даних, які зберігаються в інформаційній системі, БЗ, БД. Останні візуалізуються на моніторі АРМ диспетчера-холодильщика та визначають технічний стан компресорного обладнання, процесу холодопостачання, а головне контроль якості продукції.

Отже, спеціалісти проєкту рекомендують наступне:

1. На кожній острівній ділянці вітрин та прилавків супермаркету впроваджувати сучасні системи моніторингу стану холодильного обладнання.

У цьому випадку, контролюючи параметри вібрацій компресорних установок їх температуру, температуру і вологість в холодильних камерах, якість продукції, можливо в реальному масштабі часу надавати АРМ-диспетчеру інформацію про працездатність обладнання та свіжість заморожуваних продуктів.

2. Використовувати інтелектуальні системи контролю викидів CO₂ та емісії холодоагентів у навколишнє середовище.

Робочі характеристики компресорних установок супермаркету їх частота вібрацій можуть вказати ОПР на ознаки виходу обладнання системи холодопостачання-холодильних вітрин (прилавків), положення дверей холодильних камер супермаркету із ладу.

Команда проекту вважає, що в АСУТІХОС необхідно доповнити: системами діагностики холодильного обладнання на базі існуючих інтелектуальних систем, Промислового Інтернет-речей; системи працездатності обладнання за допомогою датчиків з системами комп'ютерного моніторингу, наприклад, типу (Adap-Kool Данія).

Таким чином, якщо використовувати методи смарт- проектування, що наведені вище за стандартами країн ЄС, то система моніторингу і диспетчеризації холодопостачання холодильних камер та вітрин і прилавків супермаркету буде надійно захищати обладнання від аварій та несправностей, мінімізуючи втрати холодоносіїв та їх вплив на довкілля.

Запитання та тести для самоперевірки

1. Поясніть суть синтезу багаторівневих систем керування холодильних систем супермаркету.
2. Чому проектування автоматизованої системи управління (АСУ холодильного обладнання супермаркету) є одним із важливих і відповідальних етапів розробки проекту?
3. Чому такий проєкт вимагає запрошення системотехніків, математиків, спеціалістів з мехатроніки і програмістів?
4. Які критерії використовує команда проекту у процесі підготовки проекту АСУХОС?
5. Які чинники проекту віднесені проєктантами до переваг нечітких способів керування холодопостачанням?
6. Які функції виконує Мікро-ЕОМ острівних прилавків?
7. Основні задачі проєктної команди при проектуванні програмного забезпечення (ПЗ) холодозабезпечення супермаркетів.
8. Назвіть основні ознаки проєкту ситуаційного інтелектуального центру (СІЦ) супермаркету.
9. Чому АСУ, MES- та ERP-системи з промисловим Інтернет- речей утворюють адміністративний рівень управління (систему верхнього рівня управління супермаркету)?
10. Що представляє собою об'єкт моніторингу холодильного обладнання супермаркету?

Тести

Тест 1. Торгівельним холодильним обладнанням називають: а) малі охолоджувальні пристрої; б) пристрої, що призначаються для короткотермінового зберігання; в) пристрої для демонстрації і продажу швидкопсувних товарів; г) всі відповіді правильні.

Тест 2. Синтез багаторівневих систем керування холодильними системами супермаркету зведено до оцінки роботи: а) верхнього рівня з сучасними промисловим Інтернет речей, SCADA ERP-систем з визначенням цілей управління та визначенням змінних, бази даних, бази знань, оцінки інформаційного і програмного забезпечення, методів проектування ситуаційних кімнат; б) середнього операційного рівня MES – систем і проектування робототехнологічних комплексів холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркету; в) нижнього рівня керування технологічними процесами з вибором конфігурації регуляторів нечітких систем та виконавчих механізмів; г) всі відповіді правильні.

Тест 3. Проектанти шляхом імітаційного моделювання корегують: а) попередні рішення щодо вибору потужності компресорних установок; б) їх режими роботи; в) робочі характеристики повітряних конденсаторів, випарників, трубопроводів; г) апаратури контролю та вимірювання параметрів CO₂.

Тест 4. Управління електродвигунами гвинтових компресорних установок – це: а) ціленаправлена зміна його механічної потужності; б) Тест регулювання холодопродуктивності холодильної машини; в) регулювання зміни електромагнітної енергії в їх електричній частині; г) всі відповіді правильні.

Тест 5. Під інформаційними інтерфейсами будемо розуміти: а) сукупність програмно-апаратних засобів; б) мікропроцесори, які забезпечують взаємодію процесорів з функціональними блоками пристроїв керування; в) інші процесори, які забезпечують зв'язок зі зовнішніми пристроями. г) всі відповіді вірні.

Тест 6. Основні задачі проектування програмного забезпечення (ПЗ) АСУХОС зведено до наступних етапів роботи команди проекту: а) вибору або розробці операційної системи; б). вибору мов програмування; в) структурування ПЗ у вигляді пакетів підпрограм; г) розробки і випуску робочої документації ПЗ.

Тест 7. Проект автоматизованої системи управління холодильним обладнанням супермаркетингу повинен задовольняти діючим у нашій країні міжнародним стандартам ISO-9000 та відповідати наступним показникам: а) ефективності проекту; б) показником значущення проекту; в) повернення інвестицій; г) всі відповіді вірні.

Тест 8. У проекті використані бібліотека кольорових графічних позначень для кожної холодильної вітрини (групи холодильних вітрин), то мікро-ЕОМ буде: а) керувати холодопостачанням, водопостачанням; б) надавати на АРМ диспетчеру-холодильщику в реальному масштабі часу зміни контрольованих

параметрів у часі; в) надавати характеристики роботи компресорів та; параметри системи електропостачання (СЕ); г). всі відповіді правильні.

Тест 9. Ситуаційний інтелектуальний центр (СІЦ) супермаркету разом з АСУ, MES- та ERP-системами утворюють: а) адміністративний рівень управління; б) систему верхнього рівня управління супермаркету; в) оперативний рівень керування; г) всі відповіді правильні.

Тест 10. Система моніторингу промислової холодильної системи складається із: а) каналів розповсюдження, системи моніторингу, системи датчиків, блоків узгодження, трактів керування і розпізнавання; б) аналізаторів, блоків формування діагностичних ознак; в) блока прийняття рішень, блоків оповіщення, відображення і реєстрації, блоків мережевих інтерфейсів (intranet|Internet), інформаційної бази даних і знань, блока керування і синхронізації; г) всі відповіді правильні.

Література

1. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування: монографія/ В.П. Хорольський, Ю.М. Коренець, В.М.Серебренников – Кривий Ріг:Видавець Чернявський Д.О., 2021. – 312с.
2. Автоматизація виробничих процесів: підручник/ В. П. Хорольський,Ю.М Коренець. Кривий Ріг: ДонНУЕТ,2022.- 396с.
- 3.Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / В.П.Хорольський, Ю.М. Коренець. Кривий Ріг: ДонНУЕТ,2023.-540 с.
4. Автоматизація виробничих процесів: підручник/ І. В. Ельперін, О. М. Пупена. В. М. Сідлецький, С.М. Швед; Національний університет харчових технологій-2-ге вид., випр.-Київ: Ліра-К. 2015.- 378с.
5. Автоматизація виробничих процесів: підручник / О. І. Черевко, Л.В. Коптева, В. М. Михайлов, О.Є. Загорулько; Харк. держ. ун-т харчових технологій – Харків. 2014.- 186с.
6. Автоматизація графічно- конструкторських робіт у процесі проектування хімічного устаткування в системі Auto CAD: навчальний посібник/ В.Ю. Щербина,О.С., Сахаров,О.В. Гондлях, В.І. Сівецький.- К.: ІВЦ « Видавництво Політехніка», 2003.- 152с.
- 7 Владіміров В.М. Малі холодильні компресори. Навчальний посібник- Донецьк: ДонДУЕТ. 2006-326с.
8. Грищенко В.О. Типові технологічні процеси і холодильне обладнання для зберегіння рослинної продукції: моделювання, динамічні режими, керування: монографія. К.: ЦП «Компринт», 2018.- 248 с.
9. Датьков В.П., Шевченко П.І., Коновал Г.С. Процеси та устаткування для холодильної обробки харчових продуктів, Торговельне устаткування. Лабораторний практикум: навчальний посібник. – Донецьк: [ДонНУЕТ], 2009. – 140с.
10. Датьков В.П., Шевченко П.І., Коновал Г.С. Холодильне устаткування в галузі. Питання та відповіді: навчальний посібник.Донецк: [ДонНУЕТ], 2013.- 126с.
11. Датьков В.П., Шевченко П.І., Коновал Г.С. Холодильне устаткування в галузі:Конспект лекцій.Донецк: [ДонНУЕТ], 2013.-90с.
12. Dorf R.C.,Bishop R.H. Modern Control Systems ninth edition Prentice Hall Upper Saddle River Nj07458 – 2001,2004.-832р.)
13. Довбиш А.С. Основи теорії розпізнавання образів: навчальний посібник: у 2ч. А.С.Довбиш, І.В. Шелехов. – Суми: Сумський державний університет, 2015 Ч.1.109с
14. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
15. Конструкторське проектування обладнання. Конспект лекцій[Електронний ресурс]/ В.Ю. Щербина КПП ім. Ігоря Сікорського.-Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018.-83с.
16. Конвісер І. О., Паричіна Т.Б.Холодильна технологія харчових продуктів: навчальний посібник- К.: Київ, НТЕУ,2001.242с.

17. Основи конструювання та розрахунку деталей машин: підручник/В.Т.Павлище; Наук.-метод. центр вищ. освіти-2-е вид. випр.-Л.: Афіша, 2003.-558с.
18. Поперечний А. М., Потапов В.О., Корнійчук В.Г. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв: підручник –К.: Центр учбової літератури, 2021-312с.
19. Руденко О.Г., Бородянський Є.В. Штучні нейронні мережі: навчальний посібник-Харків ТоВ«Компанія СМІТ»,2006-404с.
20. Соловей О. І., Ройзен В. П., Плешков П. Г. Основи енергоефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навчальний посібник. Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. 316 с.
21. Теплохолодотехніка: навч. посіб. / С. М. Василенко та ін. Київ: Ліра-К, 2019. 258 с.
22. Тітлов О. С., Горикін С.Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості: навч. посіб. Львів: Новий світ, 2011.- 286 с.
23. Хмельнюк М. Г., Яковлева О. Ю., Остапенко О. В. Енергетичний менеджмент і аудит. Херсон: ФОП Грінь Д. С., 2017.- 224 с.
24. Хмельнюк М. Г., Подмазко О. С., Подмазко І. О. Холодильні установки та сфери їх використання: підручник. Херсон: ФОП Грінь Д. С., 2014.- 484 с.
25. Холодильні установки: підручник / за ред. І. Г. Чумака. Одеса: Рефпринтінфо, 2006.- 550 с.
26. Хорольський В.П., Хорольська О.В., Діянов І.П. 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.
27. Чернявський Анатолій та ін. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Консультування підприємств щодо енергоефективності. Київ, 2020. 148 с.
28. Ямпольський Л.С. Нейротехнології та нейросистеми: монографія/ Л.С. Ямпольський, К.: ДорадоДрук, 2015.- 508с.

Додаткова література

29. 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.
30. 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.
31. Півняк Г. Г. та ін. Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення. Донецьк: НГУ, 2013.- 214 с.
32. Омельчук А. О. Щодо компенсації реактивної потужності в мережах споживачів електроенергії. *Енергетика и електрофікація*. 2004. № 6 (251). С. 9–24.

33. Андрющенко О. А., Дорошенко О. І. Енергетична ефективність компенсації реактивної енергії за допомогою синхронних двигунів. *Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика.* – Днепродзержинск. 2007. Тематический выпуск. С. 323–324.
34. Бесараб О. М., Біляєв В. Л. Керування збудженням синхронних двигунів з метою зниження плати за перетоки реактивної потужності та сплати за них. *Енергосбережение.* 2006. №3. С. 29–30.
35. Дорошенко О. І., Раков Г. П. Про спроможність та доцільність використання синхронних двигунів у якості автоматизованих джерел реактивної електроенергії. *Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика.* Київ. 2006. Тематичний выпуск. С. 323–324.
36. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 06.02.2018 № 87. Зареєстровано в міністерстві юстиції України 02 квітня 2018р. за №392131844.
37. Правила роздрібного ринку електричної енергії, затверджених постановою НКРЕКП від 14 березня 2018 р. №312 (далі ПРРЕ розрахункові втрати ЕЕ у ділянці електричної мережі). В редакції закону №1396-ІХ від 15.04.2021 р.
38. 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.*, 2020. № 6 (291), С. 199–206.
39. 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.*, 2021. № 1 (293), С. 227–233.
40. 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.
41. Остапенко О.В., Зімін О.В., Подмазко І.О., Хмельнюк М.Г. Шляхи підвищення енергоефективності холодильної установки підприємства харчової промисловості// *Холодильна техніка та технологія*, 2016. №52(6) С.4-10.
42. Хорольський В.П., Коренець Ю.М., Омельченко О.В. Шляхи вирішення питання оптимального вибору обладнання для охолодження та заморожування продуктів харчування на основі оцінки його енергоефективності// *Обладнання та технології харчових виробництв* 2022-№1(440) С.66-75.
43. 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.
44. Хорольський В. П., Омельченко О. В., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Петрушина Ю. М. Холодозабезпечення холодильних камер смарт-промислових

холодильників із системами нейро-нечіткого керування процесами заморожування продуктів харчування.// *Вісник Хмельницького Національного Університету*. 2021-№ 6. С. 264–271.

45. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Петрушина Ю.М. Оцінка працездатності холодильних машин промислових холодильників в темпі з процесом холодопостачання.// *Обладнання та технології харчових виробництв 2022 -№1(44)- С.53-65*

46. Хорольський В.П., Коренець Ю.М., Петрушина Ю.М.,Расчехмаров І.В. Удосконалення систем контролю та керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильниках. // *Вісник Хмельницького національного університету 2022-№1- С.247-255.*

47. Хорольський В.П., Коренець Ю.М., Петрушина Ю.М. Теоретичні основи оцінки надійності обладнання холодильних машин на основі нейронечіткого методу ідентифікації їх стану.// *Вісник Хмельницького національного університету 2022-№2- С.103-109.*

48. 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.*

49. Хорольський В. П.,Коренець М.Ю.,Омельченко О.В., Гончаренко В. А. Холодильні машини в системі узгодженого управління електроспоживанням комплексу підприємство- промисловий холодильник. // *Вісник Хмельницького національного університету,2022-№5- С.103-109.*

50. ДСТУ 3023-95 Прилади холодильні побудові. Експлуатаційні характеристики та методи випробувань: Чинний від 1996-07-01- вид.офіц. Держстандарт України, 1996.-22с.

51. ДСТУ 4868:2007. Риба заморожена. Технічні умови.- Вид. офіц.- Чинний від 2009.-01-0.1-Київ: Держспоживстандарт України,2008.-111,19с.(Національний стандарт України)

52. ДСТУ 4379:2005 Філе риби заморожене; Технічні умови /розроб. Ю.Фокін.- Офіц. вид. Київ: Держспоживстандарт України,2006.-1V,13с.

53. ДСТУ 4378:2005 Риба океанічного промислу заморожена.Технічні умови / розроб. І.Апанович- Офіц.вид.-Київ: Держспоживстандарт України,2005.- 111,14с.

54. ДСТУ ISO 2169:2003. Фрукти й овочі. Фізичні умови зберігання на холоді.Визначення та вимірювання (ISO2169-1981,IDT) /пер.і наук.-техн.ред. В.Косюра.—Офіц. вид.-Чинний від 01.07.2004.- Київ: Держспоживстандарт України,2004.-1V,6с.

55. Хорольський В.П.,Коренець Ю.М., Омельченко О.В., Петрушина Ю.М. Інтелектуальна підсистема керування працездатністю холодильних машин АСУТП промислових холодильників//*Обладнання та технології харчових виробництв. 2023- №1(46)-С.80-88.*

56. Pokatilov HERZ Armaturen Ges.A-1230 Wien www.herz.eu