

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-122-130

УДК 621.561.59(075.8);664.512.011

Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор

Коренець Ю. М., старший викладач

Гончаренко В. А., канд. техн. наук

Яровий Д. В., здобувач ОС магістра

Расчехмаров І. В., здобувач ОС бакалавра

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БАГАТОРІВНЕВОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ХОЛОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

UDC 621.561.59(075.8);664.512.011

*Khorolskiy V. P., Grand PhD of Engineering Science,
Professor*

Korenets Yu. M., Senior Lecturer

Honcharenko V. A., PhD in Engineering

Yarovy D. V., a graduate of a master's degree

Raschekhmarov I. V., a graduate of a bachelor degree

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua.

THEORETICAL BASIS OF MULTI-LEVEL AUTOMATED CONTROL OF INDUSTRIAL REFRIGERATORS

Мета. Метою статті є розробка багаторівневих автоматизованих систем керування процесами холодозабезпечення камер промислових холодильників шляхом використання інтелектуальних технологій.

Методи. У процесі досліджень використано сукупність теоретичних, методологічних і практичних задач, пов'язаних зі створенням багаторівневих комплексів автоматизованого керування параметрами холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників. Поставлені в статті задачі вирішені з використанням методологічних основ проектування автоматизованих систем підтримки і прийняття рішень, основних положень теорії автоматизованого управління, теорії нейронних систем, загальних принципів теорії систем, елементів теорії штучного інтелекту, методів діагностики візуального моделювання Simulink та SCADA-систем.

Результати. У статті доведено, що системи багаторівневого автоматизованого керування холодозабезпеченням камер промислових холодильників доцільно проектувати з урахуванням інтелектуальних технологій управління процесами охолодження-заморожування продуктів харчування. Запропоновано багаторівневу систему автоматизації сучасних промислових холодильників з автоматизованими робочими місцями (АРМ) оператора-холодильщика та диспетчера, інформаційною системою моніторингу стану обладнання, програмного забезпечення, системи інтелектуальних датчиків, що в режимі реального часу і візуалізації з центром інтелектуального управління забезпечує оптимальні режими холодопостачання холодильних камер з метою збереження корисних властивостей смарт-продуктів харчування, збільшення терміну їх зберігання та мінімізацією енергетичних витрат.

Ключові слова: холодозабезпечення, автоматизація, система, багаторівневність, інтелектуалізація, діагностика.

Надійшла до редакції 18.10.2021 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець,
В. А. Гончаренко, Д. В. Яровий,
І. В. Расчехмаров, 2021

Постановка проблеми. 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 [1] 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.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні математичним забезпеченням автоматизації технологічних процесів холодозабезпечення підприємств-холодильників у харчовій промисловості в науковому плані займаються такі вчені: І. Г. Чумак, В. І. Чепурненко, С. Ю. Лар'яновський [2], С. М. Василенко, В. І. Павелко, А. В. Форсюк, М. М. Масліков [3], О. С. Тітлов, С. Ф. Горикін [4], П. І. Дячек [5] та інші.

Активні дослідження щодо використання інтелектуальних систем керування холодильними установками проведені вченими зарубіжних країн, якими спроектовані сучасні системи автоматизованого управління процесами холодопостачання за критерієм мінімізації енергоспоживання холодильними машинами [6].

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

У статті 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.

Метою статті є розробка багаторівневих автоматизованих систем керування процесами холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника шляхом використання інтелектуальних технологій.

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

Такі системи не лише оптимізують режими роботи холодильних машин та режимів холодопостачання, але і за рахунок використання мікропроцесорних систем керування (нижній рівень), АРМ АСУТП холодної 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 управління промисловим холодильником наведена на рис. 1.

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

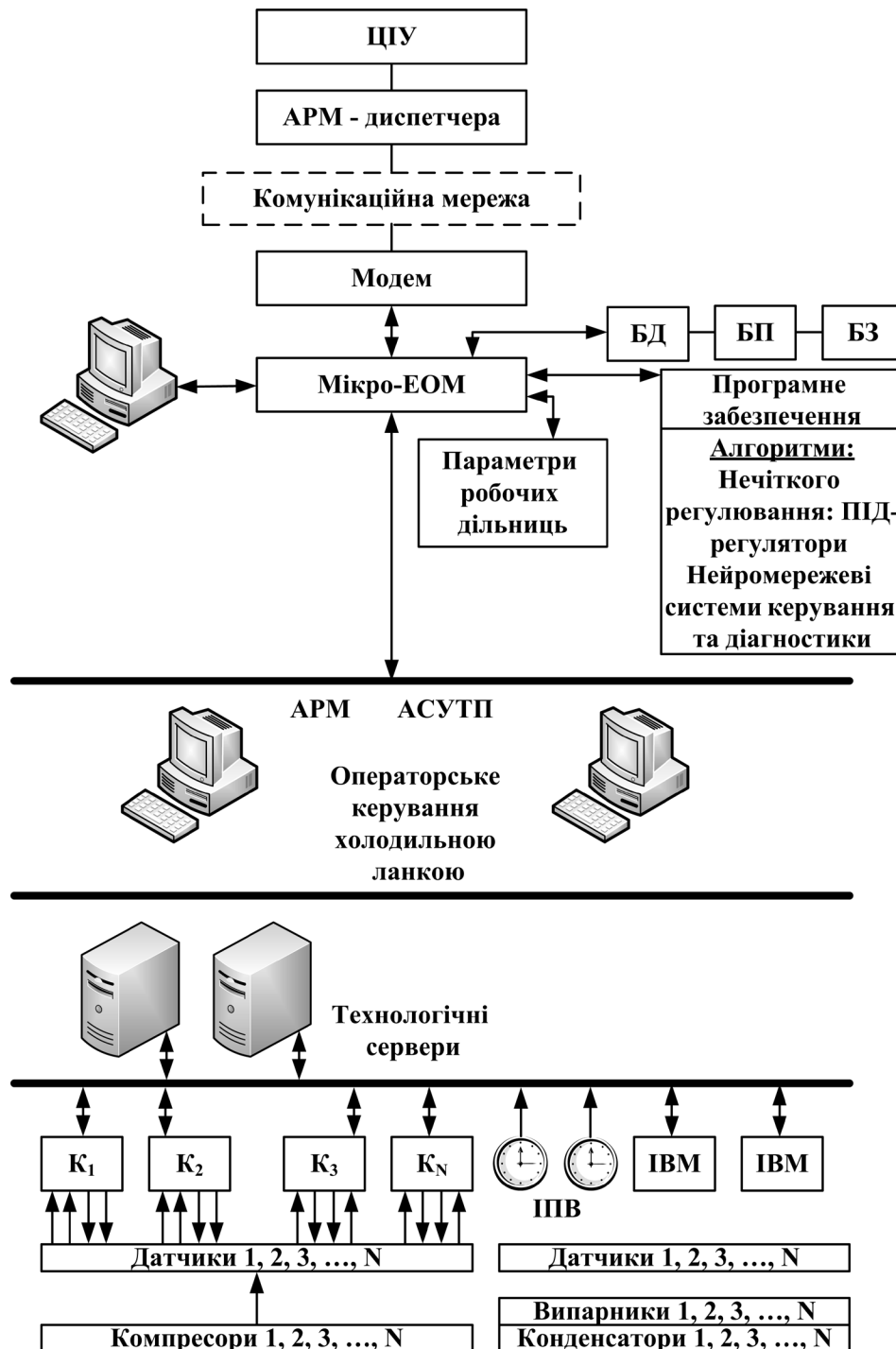


Рисунок 1 — Загальна функціональна схема автоматизації сучасного промислового холодильника (холодильної ланки): ЦІУ — центр інтелектуального управління; ІВМ — інтелектуальні виконавчі механізми; ІПВ — інтелектуальні пристрої вимірювання

- 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 системи;
- 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 замерзання);
- 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 проектуванні адаптивних нечітких регуляторів [7], задіяних на нижньому рівні керування холодильними машинами (компресорами, конденсаторами, випарниками).

Схема автоматизованої системи холодопостачання представлена на рис. 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.

Зміну температури T (збурення для системи автоматичного регулювання) в часі буде зафіксоване датчиком D_r . Сигнал датчика надходить на суматор $С_m$, 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 R_r , який формує регулювальний вплив. Регулювальний вплив $y(t)$ прикладається до холодовиробничого комплексу, який збільшує чи зменшує подачу холодоагенту (або холодоносіїв) в прилади охолодження. В результаті цього із приміщення при збільшенні T виноситься надлишкове тепло, а температура повітряного середовища буде зменшуватись. Зміна температури в контрольованому приміщенні знову вимірюється датчиком, сигнал про нове відхилення (неузгодженість) або у ситуації відсутності знову надходить в контур автоматичного регулювання.

Система автоматичного регулювання характеризується безперервним односпрямованим переміщенням сигналу в контурі та корекцією прийнятого рішення щодо результатів впливу на ОР керованого впливу. Повернення інформації в САР щодо прийняття ранішнього рішення за величиною і напрямом дії регулюючого впливу називається зворотним зв'язком (33). Зворотний зв'язок в САР холодопостачання значно підвищує точність керування холодопродуктивністю.

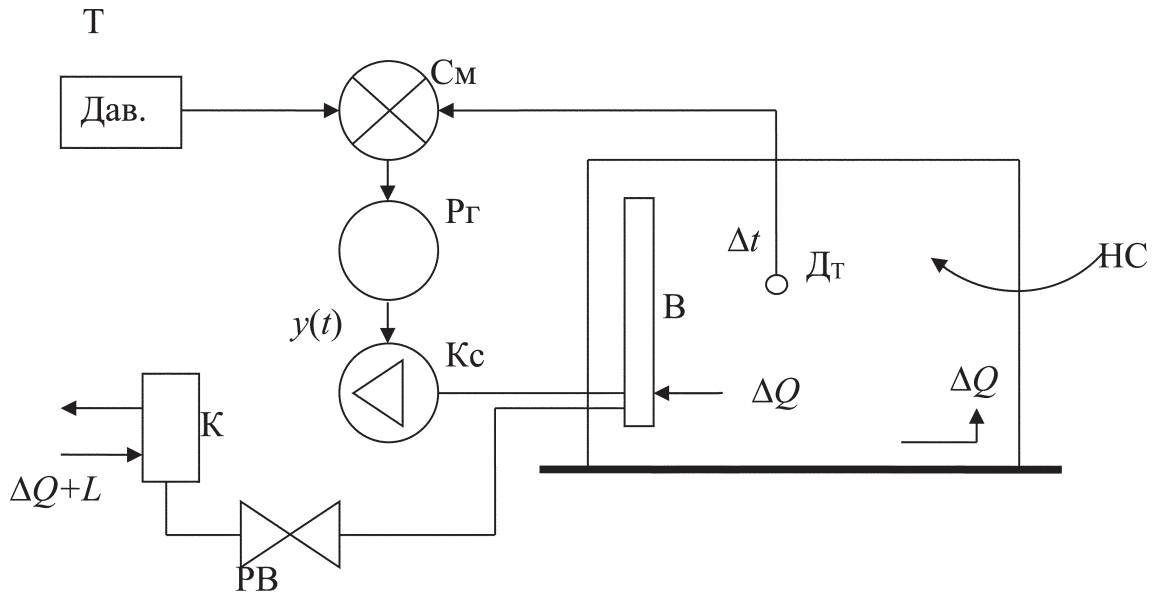


Рисунок 2 — Схема автоматизованої системи холодопостачання:

Кс — компресор; К — конденсатор; В — випарник; РВ — регулюючий вентиль;
ДТ — датчик температури; Рг — регулятор; См — суматор; Дав. — давальник (задавальник);
НС — навколишнє середовище

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

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

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

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

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

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

— 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 швидку 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 [8].

Звернемося знову до рисунку 2. Уявимо собі холодильну камеру ХМ, в якій є випарник. Якщо терморегулюючий клапан встановлений вірно, то температура в камері досягає номінального значення. Але із-за впливу навколишнього середовища, наприклад, після багаторазового або тривалого відкривання дверей камери, температура внутрішнього повітря змінюється і встановити її номінальне значення можливо лише за допомогою терморегулюючого клапана. Значна кількість збурень (відкривання дверей, надходження продуктів з більш високою температурою, ніж в контейнері (складському приміщенні), збільшення притоку свіжого повітря і т. п.) призводить до змін заданої температури.

Вищеперелічені збурення можуть бути скомпенсовані за допомогою адаптивних нечітких систем керування ХМ і АРМ оператора-холодильщика, пов'язаного з системами моніторингу стану обладнання та навколишнього середовища.

В якості АРМ-оператора найчастіше використовуються промислові персональні комп'ютери, які мають підвищені показники захисту обладнання від шкідливих впливів навколишнього середовища-вологи, пилу і температури. У нашому випадку — SIMATIC Panel PC [8]. 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 [8].

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, ІоТ та системи обладнання датчиків і станцій LoRaWAN [8].

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

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

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

Маючи оптимальні та критичні значення температури та частоти вібрації, а також тиску й холодопродуктивності холодильного обладнання з використанням ІоТ, 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 ОПР.

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 ІоТ холодозабезпечення промислового холодильника. LaRaWAN-мережа дозволяє також підключати датчики руху, контролю відчинення дверей тамбурів і холодильних камер, а головне, контролювати за допомогою датчиків струму витрати електрики на кожній стадії виробництва холоду та холодопостачання. Використання в системі моніторингу технологій ІоТ дозволяє ОПР 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-холодильника аварійних ситуацій, аварій тощо. Економічний принцип роботи датчиків дозволяє експлуатувати систему збору даних без технічного обслуговування впродовж тривалого часу, оптимізувати параметри холодопостачання та забезпечуючи високу надійність обладнання, а, отже, якість продукції охолодження-заморожування.

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

Список літератури

1. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону : монографія / за заг. ред. В. П. Хорольського, О. Б. Чернеги. Кривий Ріг : видавець ФОП Чернявський Д. О., 2020. 564 с.
2. Чумак І. Г., Чепурненко В. П., Лар'яновський С. Ю., Онищенко В. П. Холодильні установки : підручник / за ред. І. Г. Чумака. 6-е вид. перероб. і допов. Одеса : Пальміра, 2006. 552 с.
3. Теплохолодотехніка : навч. посіб. / С. М. Василенко та ін. Київ : Ліра-К, 2019. 258 с.
4. Тітлов О. С., Горикін С. Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 286 с.
5. Дячек П. И. Холодильные машины и установки : учеб. пособие. Ростов н/Д : Феникс, 2007. 424 с.
6. Intelligent Chiller Manager (iCM): Installation and Operation Manual D-EIOCH00305-17EN. DAIKIN APPLIED EUROPE S.p.A. 144 p. Retrieved from https://www.daikinapplied.eu/de/wp-content/uploads/sites/2/2019/08/Intelligent-Chiller-Manager_D-EIOCH00305-17EN_Installation-and-operation-manual_English.pdf.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления : учеб. в 5 т. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / под. ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егунова. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 784 с.
8. SIMATIC. LOGO!: руководство. Siemens, 2009. 302 с.

References

1. Horolskiy, V. P., Cherneha, O. B. et al. (eds.) (2020). *Tsifrovi systemy intelektualnogo upravlinnya pidpryemstvami promyslovogo kompleksu regionu* [Digital systems of intellectual management of enterprises of the industrial complex of the region]. Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O. Publ., 564 p.
2. Chumak I. H., Chepurnenko V. P., Larianovskiy S. Yu., Onyshchenko V. P. (2006). *Kholodylni ustanovky* [Refrigeration units]. Odessa, Palmira Publ, 552 p.

3. Vasylenko, S. M. et al. (2019). *Teplokhodotekhnika* [Thermal and refrigeration engineering]. Kyiv, Lira-K Publ., 258 p.
4. Titlov, O. S., Horykin S. F. (2011). *Kholodylne obladnannia pidpriemstv kharchovoi promyslovosti* [Refrigeration equipment for food industry enterprises]. Lviv, Novyi svit Publ., 286 p.
5. Diachek, P. I. (2007). *Holodilnyie mashiny i ustanovki* [Refrigeration machines and installations]. Rostov-on-Don, Phoenix Publ., 424 p.
6. Intelligent Chiller Manager (iCM) : Installation and Operation Manual D-EIOCH00305-17EN. DAIKIN APPLIED EUROPE S.p.A. 144 p. Retrieved from https://www.daikinapplied.eu/de/wp-content/uploads/sites/2/2019/08/Intelligent-Chiller-Manager_D-EIOCH00305-17EN_Installation-and-operation-manual_English.pdf.
7. Pupkov, K. A. (2004) *Metodyi sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of modern theory of automatic control]. Moscow, Publishing House of MSTU, 784 p.
8. SIMATIC. LOGO!: manual (2009). Siemens, 302 p.

Objective. *The purpose of the article is to develop multi-level automated control systems for the processes of cooling the chambers of industrial refrigerators by using intelligent technologies.*

Methods. *The study used a set of theoretical, methodological and practical problems associated with the creation of multi-level complexes for automated control of the parameters of cold supply of refrigerating chambers of industrial refrigerators. The problems posed in the article are solved using the methodological foundations of designing automated support and decision-making systems, the main provisions of the theory of automated control, the theory of neural systems, general principles of systems theory, elements of the theory of artificial intelligence, diagnostic methods for visual modeling Simulink and SCADA systems.*

Results. *The article proves that it is advisable to design systems for multilevel automated control of refrigeration supply for industrial refrigerator chambers, taking into account intelligent technologies for controlling the processes of refrigeration and freezing of food products. A multi-level automation system for modern industrial refrigerators with automated workstations (AWS) for a refrigeration operator and a dispatcher, an information system for monitoring the state of equipment, software, a system of smart sensors, which in real time and visualization with an intelligent control center provides optimal cooling or freezing modes is proposed. in order to preserve the beneficial properties of smart food, increase their shelf life and minimize energy costs.*

Keywords: *refrigeration, automation, system, multilevel, intellectualization, diagnostics.*