

DOI : 10.33274/2079-4827-2023-46-1-80-88
УДК 664.62-193.621.565

*Хорольський В. П., д-р техн. наук,
професор
Коренець Ю. М., старший викладач
Омельченко О. В., канд. техн. наук, доцент
Петрушина Ю. М., здобувач ОС магістра*

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

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ПІДСИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНІСТЮ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН АСУТП ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

UDC 664.62-193.621.565

*Khorolskyi V. P., Grand PhD of Engineering
Science, Professor
Korenets Yu. M., Senior Lecturer
Omelchenko O. V., PhD in Engineering
sciences, Associate Professor
Petrushyna Yu. M., a graduate of a master's
degree*

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

INTELLIGENT SUBSYSTEM FOR CONTROL OF REFRIGERATORS OPERATING PERFORMANCE SCADA OF INDUSTRIAL REFRIGERATORS

Мета. Метою статті є розробка методу підвищення працездатності холодильних систем промислових холодильників за рахунок завчасного розпізнавання аварійних ситуацій на основі інформації від нейромережевих систем, вбудованих в АСУТП промислових холодильників (ПРХ).

Методи. У статті використано методи розпізнавання аварійних ситуацій та аварій, що можуть виникати в процесі експлуатації холодильних систем промислових холодильників. З метою одержання наукових результатів введено поняття працездатності холодильних систем промислових холодильників, яку ототожнюють з інтелектуальною ситуаційною моделлю складного холодильного господарства промислового холодильника, що виконує функції заморожування продукції та зберігає робочі параметри холодильної машини в межах, встановлених нормативною документацією. Проведено імітаційні дослідження виробничих та аварійних ситуацій на експериментальній установці, що дозволяє змоделювати поведінку оператора-технолога (ОПР) і експертної системи керування працездатністю холодильних машин. Для ідентифікації аварійних ситуацій застосовувались нейромережеві методи. При синтезі системи керування АСУТП промислового холодильника використовувались методи нейрокерування та класифікаційного керування.

Результати. Запропоновано нову структуру інтелектуальної системи узгодженого керування аміачними холодильними установками (холодильними машинами, холодопостачанням холодильних камер) і споживчими характеристиками продуктів заморожування, вихідними параметрами витрат електрики та викидів CO₂, що дозволяє особі, яка приймає рішення, розпізнавати технологічні виробничі ситуації, аварійні ситуації

© Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Омельченко О.В.,
Петрушина Ю. М.

та аварій. Удосконалено спосіб оптимізації параметрів технологічного процесу холодозабезпечення холодильних камер ПРХ в складі інтелектуальної системи керування холодильними машинами, що відрізняється від існуючих аналогів більшою швидкістю збіжності за рахунок застосування нейромережеских систем керування аміачними холодильними установками і системами заморожування продукції в холодильних камерах ПРХ. Розроблена технологія розподіленого моніторингу виробничих ситуацій S_B^{XK} і аварійних ситуацій S_A^{XM} , яка дозволяє розробити підсистему розпізнавання аварійних ситуацій і аварій та апаратну реалізацію ІСКХМ в АСУТП промислового холодильника. Розроблена АСУТП промислового холодильника з підсистемою розпізнавання аварійних ситуацій і аварій з вирішенням задач їх ідентифікації в режимі реального часу має наступні функціональні переваги: швидкодію алгоритмів розпізнавання аварійних ситуацій та захисту обладнання від аварій; можливість візуалізації аварійних ситуацій ОПР в реальному масштабі часу та надання рекомендації оперативному персоналу щодо прискорення їх подолання.

Ключові слова: працездатність, холодильні системи, аварійні ситуації і розпізнавання, експертна система, інтелектуальна автоматика, АСУТП промислових холодильників.

Постановка проблеми. Однією із актуальних проблем сьогодення є пошук найбільш раціональних методів забезпечення необхідного рівня працездатності та безпечності діючих і проєктних аміачних холодильних установок (АХУ) промислових холодильників. Висока енергетична ефективність АХУ забезпечує конкурентні техніко-економічні показники навіть з урахуванням додаткових витрат на підтримання належного рівня їх безпечної експлуатації [1, 2].

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 в процесі роботи холодильних машин ПРХ виникає ряд відхилень від нормального режиму роботи, утворення яких не призводить до включення існуючих систем автоматичного захисту. Несвоєчасне прийняття заходів щодо змінних цих ситуацій може призвести до виникнення аварій. До таких аварій 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, що впливають на розвиток аварійних ситуацій та свідчать про передаварійну ситуацію, яка може призвести до збільшення викидів CO_2 в атмосферу [3]. У той же час, аварійне відключення ХМ призводить до порушення технологічного процесу холодозабезпечення холодильних камер і процесу заморожування продуктів харчування і, як наслідок, до економічних втрат [4]. У зв'язку з цим доцільно спроектувати системи автоматичного керування процесами виробництва штучного холоду та захисту ХМ від аварійних режимів для своєчасного прийняття оперативних рішень щодо розпізнавання аварійних ситуацій [2]. Розробка автоматизованих систем контролю працездатності ХМ ПРХ вимагає від дослідників використання системного аналізу АХУ з метою виявлення факторів, які впливають на розвиток передаварійних 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.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Споживання штучного холоду в харчовій промисловості суттєво зросло в Україні за останні п'ять років, оскільки споживачі зацікавлені в одержанні смарт-продуктів харчування високої споживчої якості та раціональної вартості [4]. Одним із найбільш поширених способів одержання штучного холоду є використання холодильних систем, до складу яких входять компресорні аміачні

машини, конденсатори, випарники, апарати контролю і споруди з холодильними камерами. Їх будемо називати промисловими холодильниками [2], в яких є холодильні приміщення (камери) із заданими оптимальними параметрами температурно-вологісного режиму, що відповідають технологічним нормам зберігання або виробництва харчових продуктів [3].

У процесі експлуатації компресорних аміачних установок виникають аварії, аварійні ситуації та передаварійні режими роботи обладнання, які є об'єктом аналізу і дослідження вченими України і науковців країн ЄС та США [2, 4, 5]. Експертами встановлено, що більшість аварій виникає за рахунок відмови приладів захисту, дефектів, зношення та/або несправностей компресорів, трубопроводів, порушення технологічних регламентів, відхилення від проєктної технології виробництва холоду. Дослідники аварійних ситуацій та аварій [2, 3, 5] вважають аварію найбільш небезпечною виробничою подією, що може призвести 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 стану порушення виробничого процесу (післяаварійний стан). Працездатність холодильних систем, на думку авторів [2], залежить від вміння особи, яка приймає рішення ОПР (диспетчера з АРМ) 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, проводити їх додаткові навчання тощо.

Мета статті – підвищення працездатності холодильних систем промислових холодильників за рахунок завчасного розпізнавання аварійних ситуацій за інформацією нейромережевих систем вбудованих в АСУТП промислових холодильників.

Виклад основного матеріалу дослідження. В науковій праці авторів статті [3] проведений аналіз оперативної діяльності оператора-технолога промислового холодильника для заморожування в N холодильних камера (ХК) продуктів харчування. Оператор-технолог (ОПР) – це особа, яка приймає рішення 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 визначено систему чинників, що впливають на розвиток аварійних ситуацій, передаварійних режимів у вигляді моделей причинно-наслідкових зв'язків [3]. Моделі віддзеркалюють характерні особливості режимів роботи обладнання, форми його функціонування та холодозабезпечення холодильних камер та мінімізації втрати якості заморожуваного продукту [5, 6].

У загальному вигляді виробнича ситуація S_B на ПРХ залежить від n факторів X_i , які вимірюють кількісно та/або оцінюють якісно, і які змінюються в часі t .

$$S_B(t) = f(X_{1K}, X_{2K}, \dots, X_{nK}), \quad (1)$$

де K – число ситуацій, $K = 1, 2, \dots, n$;

n – число факторів, які визначають процес холодозабезпечення промислового холодильника.

У реальних умовах оцінка виробничої ситуації S_B у ПРХ ОПР виконується через визначений проміжок часу t . Тому рівняння (1) запишемо наступним чином:

$$S(t) = f(X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)), \quad (2)$$

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 передавальних режимів роботи холодильних машин ПРХ [2, 3].

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 [5]; параметри x_3^{KP} , x_4^{KG} характеризують тиск на усмоктування компресорів, МПа; x_5^{KP} – температура пари, що нагнітається °C; x_6^{KG} – перегрів на всмоктування в гвинтовий компресор Δt_{BC} , °C; x_7^{KP} , x_8^{KG} – вібрації вольниць відповідно 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:

$$P_{S_3^{XM}} = P_{x_1^{KP}} VP_{x_2^{KG}} VP_{x_3^{KP}} VP_{x_4^{KG}} VP_{x_5^{KP}} VP_{x_6^{KG}} VP_{x_7^{KP}} VP_{x_8^{KG}} V, \quad (3)$$

де $P_{x_1^{KP}}, P_{x_2^{KG}}, \dots, P_{x_8^{KG}}$ – предикати, які відповідають параметрам x_1^{KP} , $x_2^{KG}, \dots, x_8^{KG}$

виробничої ситуації S_3^{XM} . Методика опису ситуації ефективно використовується в системах розпізнавання аварійних ситуацій і аварій в гірничорудній промисловості і детально розглянута в джерелі [7].

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 оптимальним температурним режимом -40°C і менше та підтриманням відповідного 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, вологості 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 CO₂, а головне – мінімізувати втрати споживчих характеристик продуктів харчування [3, 8].

Концепція збільшення ефективності, надійності й підвищення працездатності та безпечності заморожування продуктів харчування вимагає від дослідників нових проєктних 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 [8]. Суттєвою ознакою цих способів і пристроїв є те, що виконується аналіз одержаної інформації відповідно до розроблених алгоритмів розпізнавання образів [7] та надаються висновки про координати об'єкту досліджень. Серед недоліків цього методу необхідно відзначити 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 покращеними функціональними можливостями за рахунок точності і швидкодії визначення параметрів координат туші ВРХ і, як наслідок, підвищення оперативності виконання задачі мінімізації втрат споживчих характеристик продуктів харчування, є важливим атрибутом проєктних рішень [8].

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 нейроуправління 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. Такий підхід щодо рішення підсистеми потребує спеціальних проєктних рішень.

Для вирішення цих інноваційних завдань будемо використовувати інтегровані методи нечіткої оцінки геометрії туші, її кольору з використанням як математичних сенсорів з ультразвуковими чутливими елементами, так і системи з відеокамерами комп'ютерного зору [2, 8]. Такий підхід формування інтегрального зображення туші ВРХ виконано за допомогою нейромережових технологій, що дозволяє ОПР з АРМ одержувати інтегральні інформаційні параметри зображень туші ВРХ при формуванні сигналів з ультразвукових чутливих елементів та систем візуалізації.

Крім цього, така система технічного зору параметрів ХК дозволяє ОПР в масштабі реального часу:

1. Визначити геометрію, топологію і колір туші ВРХ, а також 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 камери, що постійно аналізуються.

2. Розпізнавати ділянку території за допомогою нейромережових технологій, що дозволяє оператору-технологу (холодильщику) аналізувати кількість туш ВРХ та можливість додаткового довантаження холодильної камери.

На рис. 1 наведена схема АСУТП ПРХ з вбудованою підсистемою нейромережового розпізнавання аварійних ситуацій ам'ячних холодильних установок, систем холодозабезпечення холодильної камери та якості заморожування продукції. В холодильній камері для заморожування м'яса у вигляді туш, представлених на рис. 1, наведено схему положення туші ВРХ з системою одноканального розподілення повітря 7 та системою датчиків розпізнавання геометричних розмірів (ВК1, ВК2, МС1, МС2), а також відеокамеру ВК3 в системі розпізнавання стану випарника.

У цій системі керування використана система «Холод» з програмним забезпеченням (ПЗ) і алгоритмічним забезпеченням, ОПР – експертною системою, інтелектуальними моделями ПРХ [8]. У нейромережових системах керування АХУ і ХМ застосовано середовище Neuro Solutions (Neuro Dimension, Inc.), для апаратної реалізації використано RISM – процесор типу Power 4. Перевірку розроблених алгоритмів розпізнавання виконано на експериментальній холодильній установці в ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського.

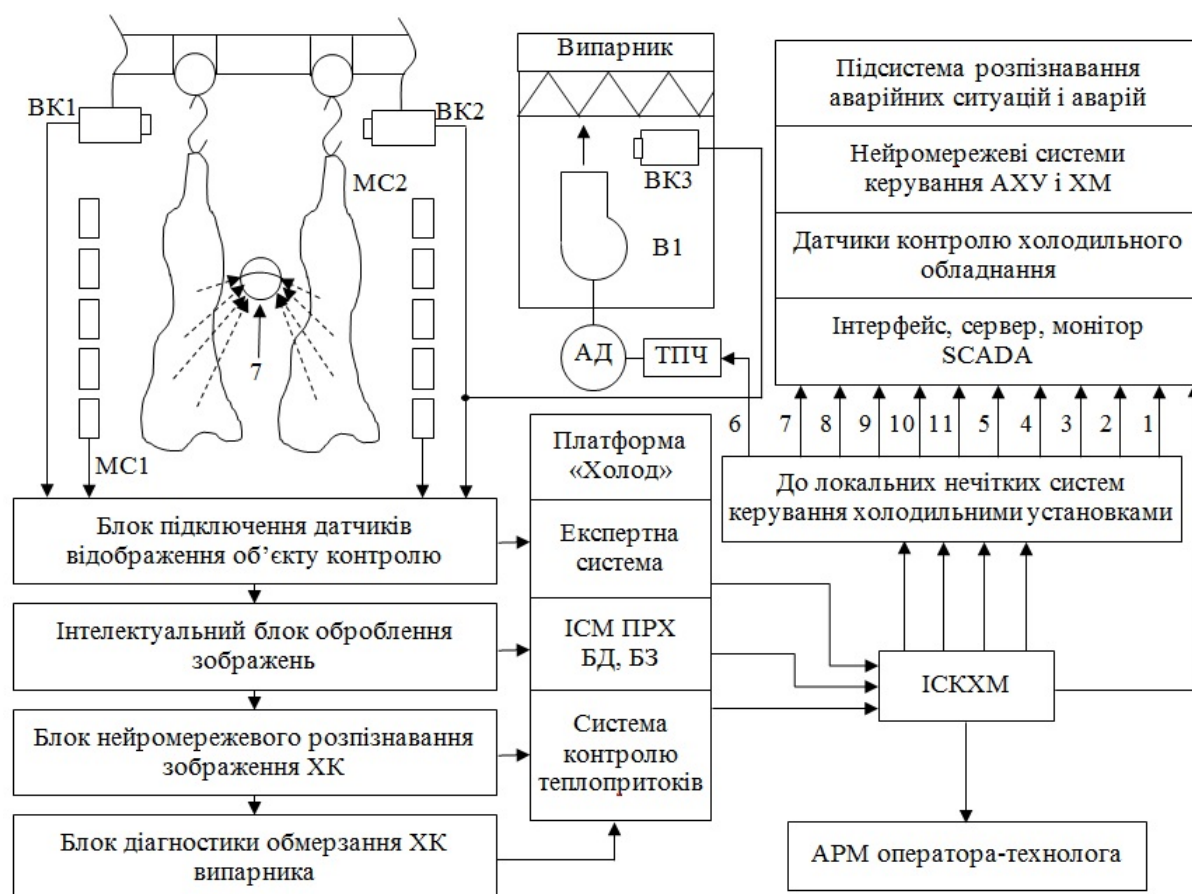


Рисунок 1 – Інтелектуальна система керування промислового холодильника з вбудованою в АСУТП підсистемою розпізнавання аварійних ситуацій і аварій

Для цього були змодельовані:

1. Нештатні аварійні ситуації холодильних машин, детально розглянуті в [8].

2. Масиви даних x_1^{KP} , x_2^{KP} , ..., x_8^{KP} робочих параметрів поршневих, гвинтових компресорів в стаціонарних режимах для 6 – термодинамічних циклів, при трьох температурах кипіння (мінус 20°C, мінус 30°C, мінус 40°C) і двох температурах конденсації (+25°C і +45°C).

3. Для означених ситуацій S_1^{XM} , S_2^{XM} , S_3^{XM} із розробленої БЗ змодельовано ситуації зі зміною експлуатаційних параметрів холодозабезпечення холодильних камер ПРХ, серед них: температурне поле холодильної камери, вологість повітря, стан випарника, геометрія заповнення.

Ці дослідження дозволили ОПР з ЕС коригувати 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 MS Visual-Studio Net 2021 на мові Visual C++. Базу даних створено з використанням СУБД MS SQL 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.

Крім цього, у випадку аварійних ситуацій та аварій в системі передбачені операції: блокування, індикації технологічних ситуацій, індикації поточного стану випарників, ведення архіву та журналу ОПР.

Висновки. Запропоновано нову структуру інтелектуальної системи узгодженого керування аміачними холодильними установками (холодильними машинами, холодопостачанням холодильних камер) і споживчими характеристиками продуктів заморожування, вихідними параметрами витрат електрики та викидами CO₂, що дає можливості оператору-технологу оперативно розпізнавати технологічні виробничі ситуації, аварії та аварійні ситуації та вчасно приймати відповідні рішення.

Список літератури

1. Хмельнюк М. Г., Пагутін А. Ю., Кочетов В. П., Томчик О. М. Важливість стану холодильного господарства у забезпеченні продовольчої безпеки України. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2014. Вип. 45 (1). С. 116–121. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2014_45%281%29_24 (дата звернення: 14.04.2023).
2. 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. <https://doi.org/10.15673/ret.v52i6.464>.
3. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Омельченко О. В., Петрушина Ю. М. Ідентифікація та прогнозування аварійних технологічних ситуацій холодопостачання промислових холодильників на базі штучного інтелекту. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2022. Вип. 2 (45). С. 53–71. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2022-45-2-53-71>.
4. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Консультування підприємств щодо енергоефективності / Чернявський Анатолій та ін. Київ, 2020. 148с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57359> (дата звернення: 14.04.2023).
5. Dossat, Roy J., Horan, Thomas J. Principles of Refrigeration. Prentice Hall, 2008. 464 p.
6. Войтко А. М., Толмачов І. П., Войтко О. А., Войтко Д. А., Патлатій Ю. Г. Заморожування харчових продуктів у повітряних скороморозильних апаратах : монографія. Херсон : Олді-плюс, 2013. 226 с.
7. Хорольський В. П. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу: монографія. Дніпропетровськ : Січ, 2008. 448 с.
8. Хорольський В. П., Омельченко О. В., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Петрушина Ю. М. Холодозабезпечення холодильних камер смарт-промислових холодильників із системами нейронечіткого керування процесами заморожування продуктів харчування. *Вісник ХНУ. Серія «Технічні науки»*. 2022. Вип. 6 (303). С. 264–271. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2021-303-6-264-271>.

References

1. Khmelniuk, M.H., Pahutin, A.Iu., Kochetov, V.P., Tomchik, O.M. (2014). *Vazhlyvist stanu kholodylnoho hospodarstva u zabezpechenni prodovolchoi bezpeky Ukrainy* [The importance of the state of refrigeration in ensuring food security of Ukraine] / *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii* [Scientific works of the Odessa National Academy of Food Technologies], Vol. 45 (1), pp. 116–121. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2014_45%281%29_24 (date of application: 14.04.2023).
2. Ostapenko, O. V., Zimin, O. V., Podmazko, I. O., Khmelniuk, M. G. (2016). *Shliakhy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti kholodylnoi ustanovky pidpriemstva kharchovoi promyslovosti* [Power efficiency opportunities for industrial refrigeration system of food processing enterprise], *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia* [Refrigeration Engineering and Technology], 52(6), pp. 4–10. <https://doi.org/10.15673/ret.v52i6.464>.

3. Khorolskyi, V.P., Korenets, Yu.M., Omelchenko, O.V., Petrushyna, Yu.M. (2022). *Identyfikatsiia ta prohnouzuvannia avariinykh tekhnologichnykh sytuatsii kholodopostachannia promyslovykh kholodylnykh na bazi shuchnoho intelektu* [Identification and prediction of emergency technological situations of cold supply of industrial refrigerators based on artificial intelligence]. *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv* [Equipment and technologies of food production], Vol. 2 (45), pp. 53-71. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2022-45-2-53-71>.

4. Cherniavskiy, Anatolii. (2020). *Praktychnyi posibnyk z enerhetychnoho audytu promyslovykh pidpriemstv. Konsultuvannia pidpriemstv shchodo enerhoefektyvnosti* [Practical manual on energy audit of industrial enterprises. Consulting enterprises on energy efficiency], Kyiv, 148 p. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57359> (date of application: 14.04.2023).

5. Dossat, Roy J., Horan, Thomas J. Principles of Refrigeration. Prentice Hall, 2008, 464 p.

6. Voitko, A. M., Tolmachov, I. P., Voitko, O. A., Voitko, D. A., Patlatii, Yu. H. (2013). *Zamorozhuvannia kharchovykh produktiv u povitrianykh skoromorozylnykh aparatakh* [Freezing food in air freezers], Kherson, Oldy-plus, 226 p.

7. Khorolskyi, V. P. (2008). *Intehrovane intelektualne upravlinnia tekhnologichnymy protsesamy v ekonomichnykh systemakh korporatyvnykh pidpriemstv hirnycho-metalurhiinoho kompleksu: monohrafiia* [Integration of intelligent management of technological processes in economic systems of corporate enterprises of the mining and metallurgical complex: monograph], Dnipropetrovsk, Sich, 448 p.

8. Khorolskyi, V. P., Omelchenko, O. V., Korenets, Yu. M., Honcharenko, V. A., Petrushyna, Yu. M. (2021). *Kholodozabezpechennia kholodylnykh kamer smart – promyslovykh kholodylnykh iz systemamy neiro – nechitkoho keruvannia protsesamy zamorozhuvannia produktiv kharchuvannia* [Refrigeration chambers refrigeration smart - industrial refrigerators with systems of neuro - fuzzy cooking by processes of freezing food products.], *Visnyk KhNU. Seriya "Tekhnichni nauky"* [Bulletin of KhNU. Series "Technical Sciences"], 6 (303), pp. 264–271. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2021-303-6-264-271>.

Objective. The purpose of the article is to increase the performance of the refrigeration systems of industrial refrigerators due to the early recognition of emergency situations based on the information of neural network systems built into the ACS of industrial refrigerators.

Methods. The article uses methods of recognizing emergency situations and accidents that occur during the operation of refrigeration systems of industrial refrigerators. In order to obtain scientific results, the concept of the efficiency of refrigeration systems of industrial refrigerators was introduced, which is identified with an intelligent situational model of a complex refrigeration economy of an industrial refrigerator, which performs the functions of freezing products and keeps the operating parameters of the refrigerator within the limits established by regulatory documentation. Simulation studies were carried out on an experimental setup of emergency situations, production situations, which allows simulating the behavior of the OPR and the expert system for managing the performance of refrigerating machines. Neural network methods were used to identify emergency situations. The methods of neurocontrol and classification control were used in the synthesis of the control system of the industrial refrigerator control system.

Results. A new structure of the intelligent system of coordinated control of ammonia refrigeration units (refrigerators, cold supply of refrigerating chambers) and consumer characteristics of frozen products, output parameters of electricity consumption and minimization of CO₂ emissions is proposed, which allows the decision-maker to recognize technological production situations, accidents and emergency situations.

The method of optimizing the parameters of the technological process of cold supply of PRH refrigerating chambers as part of an intelligent refrigerating machine control system has been improved, which differs from existing analogues by a higher speed of convergence due to the use of neural network control systems for ammonia refrigerating units and product freezing systems in PRH refrigerating chambers.

The technology of distributed monitoring of production situations and emergency situations has been developed, which allows for the development of a subsystem for recognizing emergency situations and accidents and the hardware implementation of ISKHM in the control system of an industrial refrigerator.

The developed automatic control system of an industrial refrigerator with a subsystem for recognizing emergency situations and accidents with solving the problems of their identification in real time has the following functional advantages: the speed of algorithms for recognizing emergency situations and protecting equipment from accidents; the possibility of visualizing ODA emergency situations in real time and providing recommendations to operational personnel to speed up their overcoming.

Key words: *performance, refrigeration systems, emergency situations and recognition, expert system, intelligent automation, industrial refrigerator control systems.*