

УДК 664

**Ощипок І. М.**

him1960@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5427-3376

ResearcherID: F-4641-2019

д.т.н., проф., завідувач кафедри харчових технологій,  
Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

**Онишко Л. Й.**

onyszko@ukr.net

к.т.н., доц., доцент кафедри харчових технологій,  
Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

## СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В ГРОМАДСЬКОМУ ХАРЧУВАННІ І ТОРГІВЛІ

**Анотація.** У статті підняті важливі питання розвитку холодильної техніки і технології в громадському харчуванні і торгівлі України. Показана необхідність дослідження задач холодильної техніки у сфері інтелектуального цифрового управління морозильними компресорними машинами і розробки та поліпшення принципово нових автоматизованих систем їх керування. Задачі, які розглядаються в холодозабезпеченні підприємств, є з достатньо великою кількістю лінійних зв'язків і різними температурами заморожування та енергозаощадження, а тому оптимізація добротності зберігання продуктів харчування з стабілізацією температурних режимів і локального мікроклімату в морозильних камерах вимагає застосування спеціальних і досить складних алгоритмів управління. Найважливішою серед них є задача підтримання відповідних процесів теплообміну між повітрям і продуктами, необхідна для зменшення уповільнення заморожування, і скорочення значних втрат маси продуктів. Розглянуто основні напрями розвитку холодильної технології харчової галузі і торгівлі в застосуванні сучасних екологічно нешкідливих установок, які працюють на нових робочих речовинах, що зменшують озоноруйнівний вплив і викиди парникових газів. Простежено нові розробки холодильного обладнання і техніки швидкого заморожування для суттєвого приросту випуску і зберігання швидкозамороженої продукції та виробництва окремих заморожених напівфабрикатів. Показано, що енергетичні показники холодильних агрегатів підвищуються вдосконаленням основних елементів обладнання, до яких відносяться компресори та теплообмінні апарати, застосуванням сучасних засобів регулювання та автоматизації. Згадані нові сучасні розробки холодильних машин спрямовані на використання ежсекторних холодильних систем, які мають переваги над компресорними машинами, які сьогодні дуже поширені. Відображено напрямок створення теплообмінних апаратів з міні-каналами, з гідравлічним діаметром каналу 0,5–1,0 мм, який на сьогодні активно розвивається, і показані дослідження твердотільних охолоджувачів. Стверджується, що нові матеріали з використанням нанотехнологій дадуть можливість значно покращити енергетичні характеристики термоелектричних систем та розширити сфери їх застосування.

**Ключові слова:** холодильна техніка, технологія, громадське харчування, торгівля, розробка, енергетичні характеристики.

**Oshchypok Ihor**

him1960@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5427-3376

ResearcherID: F-4641-2019

Doctor of Engineering,  
Professor, Head at the Department of Food Technologies,  
Lviv University of Trade and Economics, Lviv

**Onyshko Liubov**

onyszko@ukr.net

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor  
of the Department at Food Technologies,  
Lviv University of Trade and Economics, Lviv

## CURRENT DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF REFRIGERATION EQUIPMENT IN CATERING AND TRADE

**Abstract.** The article raises important issues of the development of refrigeration equipment and technology in catering and trade of Ukraine. The necessity of researching the problems of refrigerating equipment in the field of intelligent digital control of freezer compressor machines and the development and improvement of fundamentally new automated systems of their control is shown. The tasks that are considered in the area of refrigeration supply of enterprises are with a sufficiently large number of linear connections and different freezing temperatures and energy saving, and therefore the optimization of the quality of food storage with the stabilization of temperature regimes and the local microclimate in freezers requires the use of special and rather complex control algorithms. The most important among them is the task of maintaining the appropriate processes of heat exchange between air and products necessary to reduce the slowing down of freezing, and reducing significant losses of product mass. We considered the main directions of development of refrigeration technologies of the food industry and trade in the application of modern environmentally friendly installations that work on new working substances that reduce ozone-depleting effects and greenhouse gas emissions. New developments of refrigerating equipment and quick-freezing techniques were tracked, for a significant increase in the production and storage of quick-frozen products and the production of certain frozen semi-finished products. It is shown that the energy performance of refrigerating units is increased by improving the main equipment elements, which include compressors and heat exchangers, by using modern means of regulation and automation. The mentioned new modern developments of refrigerating machines are aimed at the use of ejector refrigerating systems, which have advantages over compressor machines, which are very common today. The direction of creation of heat exchange devices with mini-channels, with a hydraulic channel diameter of 0.5-1.0 mm, which is currently actively developing, is shown, and studies of solid-state coolers are shown. It is claimed that new materials with the use of nanotechnology will make it possible to significantly improve the energy characteristics of thermoelectric systems and expand the scope of their use.

**Key words:** refrigeration equipment, technology, catering, trade, development, energy characteristics.

**JEL Classification:** L7, L64, O13

**DOI:** <https://doi.org/10.32782/2522-1256-2022-34-07>

**Постановка проблеми.** В Україні зростає виробництво заморожених напівфабрикатів, готових перших і других страв, спеціальних продуктів для різних груп населення, у тому числі з лікувальними та радіопротекторними властивостями. Особливу групу становлять фруктово-ягідні десерти з чорної смородини, полуниці, малини, вишні, сливи, чорноплідної горобини тощо; салати на базі гарбуза, яблук, зеленого горошку; м'ясо-рослинні другі страви. Вони зберігають натуральні властивості і харчову цінність сировини завдяки швидкому заморожуванню. Також виготовляють м'ясні та рибні заморожені напівфабрикати – стейки, котлети філе тощо.

Створення нових видів холодильного обладнання, техніки швидкого заморожування для підприємств громадського харчування продиктоване суттєвим приростом випуску згаданої продукції та виробництва окремих заморожених напівфабрикатів. Разом з тим, значну кількість холодильного обладнання в українських закладах харчування необхідно замінити сучасними вітчизняними скороморозильними апаратами. Через те, що іноземні виробники холодильного обладнання, які зуміли свого часу вийти на український ринок

мають вплив на вітчизняних фахівців, то останні надають перевагу імпортному обладнанню.

Огляд світових тенденцій холодовиробництва показує необхідність переведення холодильних установок на нові екологічно нешкідливі робочі речовини через необхідність переобладнання підприємств та використання в них озоноруйнівних і парникових газів з метою дотримання міжнародних вимог щодо охорони навколишнього середовища при експлуатації холодильних машин.

За оцінками Міжнародного інституту холоду, 15% всієї електроенергії, яка виробляється, зазвичай використовується в процесах охолодження та кондиціонування повітря [9]. У Канаді, за даними оцінки Міністерства природних ресурсів, використовується 10% споживаної енергії для отримання холоду. У той же час зростає інтерес до зниження темпів споживання енергетичних ресурсів і зниження шкідливого впливу цього споживання на навколишнє середовище.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У теперішній час важливим завданням холодозабезпечення є оптимізація морозильних машин, процесів холодопостачання, їх автоматичного управління. Цими питаннями займалися і займа-

ються науковці: М. Г. Хмельнюк, В. М. Василенко, С. Ф. Горикін, А. С. Підмазко, Н. В. Іващенко, М. М. Масліков, В. М. Володимиров, А. С. Тітов, І. Г. Чумак, В. В. Покотилів [3–8]. Функціональні дослідження проводяться у сфері інтелектуального цифрового управління морозильними компресорними машинами щодо розробки та поліпшення принципово нових автоматичних систем їх управління [7; 8]. У більшості наукових праць автори підкреслюють складність поставлених завдань і недостатність відомостей з автоматичного управління технологічними процесами заморожування продуктів у морозильних камерах великої продуктивності (більше 1,5...2 т) з різною температурою заморожування і зберігання. У наукових роботах [7; 8] доведено, що об'єкти холодозабезпечення, означені авторами, належать до задач з достатньо великою кількістю лінійних зв'язків і різними температурами заморожування та заощадження, а тому оптимізація якості зберігання продуктів харчування, тобто стабілізація температурних режимів і локального мікроклімату в морозильних камерах, вимагає застосування спеціальних і досить складних алгоритмів керування. Традиційні системи регулювання в даній задачі управління технологічними процесами заморожування (охолодження) продуктів без втрати їх якості в умовах, наприклад з лімітованою потужністю енергосистеми, не передбачають багатозв'язковості показників і їх нелінійності. У той же час підтримання показників холодозабезпечення в морозильних камерах у цих межах ще повністю не вирішує завдання управління, тому що найважливішим є підтримання відповідних процесів теплообміну між повітрям і продуктами, що призводить до уповільнення заморожування, у зв'язку з чим відзначаються значні втрати маси продукту, отже, знадобиться велика виробнича площа для камер морозильної обробки

[7; 8]. У цьому вбачається перспективність використання інтелектуальних технологій управління процесами заморожування (охолодження) у харчовій промисловості з максимальним урахуванням рекомендацій виробничого персоналу і результатів досліджень різноманітних процесів заморожування за умов багаторівневого управління промисловим морозильником.

**Постановка завдання.** Простежити розробки нових видів холодильного обладнання і техніки швидкого заморожування для підприємств громадського харчування і торгівлі з метою суттєвого приросту випуску швидкозамороженої продукції та виробництва окремих заморожених напівфабрикатів. Показати розвиток сучасних екологічно нешкідливих установок, які працюють на нових робочих речовинах, що зменшують озоноруйнівний вплив і викиди парникових газів Розглянути основні сучасні розробки холодильної технології харчової галузі і торгівлі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В даний час основними напрямками розвитку холодильної технології харчової галузі є наступні (рис. 1).

Попит на низькотемпературні установки щороку зростає на 15–30% і надалі буде збільшуватися, оскільки діючі підприємства не в змозі забезпечити наростаючу потребу в них закладів харчування.

Енергетичні показники холодильних агрегатів підвищуються вдосконаленням основних елементів обладнання, до яких відносяться компресори та теплообмінні апарати, застосуванням сучасних засобів регулювання та автоматизації.

Застосовувані в даний час традиційні типи компресорів в основному практично вичерпали ресурси підвищення ефективності. Розвиток компресоробудування піде шляхом удосконалення окремих вузлів. Зокрема, у відцентрових



Рис. 1. Основні напрями розвитку холодильної технології харчової галузі

компресорах зможуть ширше застосовуватися газові підшипники, що дозволять вирішити цілу низку експлуатаційних проблем.

Новим для холодильної техніки є застосування хвильових компресорів, які використовують технології, що прийшли з реактивної авіації та ґрунтуються на теорії хвильових коливань компримованого середовища при високих швидкостях. Поки що нові компресори позиціонуються як альтернатива відцентровим і осьовим, які мають велику продуктивність. Тут можливе досягнення ефекту як з енергетичних, так і за масогабаритних показників.

В області холодильних машин малої продуктивності перспективними є лінійні поршневі компресори, які динамічно врівноважені, безшумні і успішно застосовуються за кордоном і у домашніх холодильниках. У перспективі можливе їх використання в комерційному холоді і закладах торгівлі.

Загалом з позиції підвищення енергоефективності провідну роль відіграватимуть розробки для компресорів досконалих двигунів та систем регулювання. До них відноситься, зокрема, інверторне регулювання роботи компресора, що забезпечує до 30% економії електроенергії при його роботі в різних режимах.

Сучасні розробки холодильних машин спрямовані на використання ежекторних холодильних систем, які мають переваги над компресорними системами, які дуже поширені. Ежектор може бути вбудований у систему охолодження кількома способами: заміною компресора або використаний для зменшення навантаження на нього. Інші системи використовують ежектор для часткової заміни компресора або як запобіжний клапан.

Ежектор являє собою пристрій дуже простої форми, що не має частин, які рухаються. Ця простота конструкції знижує вимоги до технічного обслуговування в процесах холодовиробництва. Ежектор, на відміну від компресора, може бути розрахований для роботи з рідинами, газами чи їх комбінацією. У всіх цих випадках коефіцієнт продуктивності використовується для порівняння холодильних систем. В цілому низький ККД ежекторних систем є їх найбільшим недоліком.

Важливим аспектом підвищення екологічної безпеки техніки низьких температур є реалізація положень Монреальського та Кіотського протоколів щодо виводу з обігу холодоагентів з високими значеннями потенціалів руйнування озонного шару та глобального потепління. Вирішенню даної проблеми також сприяє зменшення заправки холодоагенту в систему.

У даний час гостро постає проблема оптимального вибору холодоагенту. Досить непросто вибрати інше робоче тіло, що відповідає всім експлуатаційним та екологічним вимогам.

Скорочення викидів в атмосферу озоноруйнівних речовин дозволить певною мірою стабілізувати ситуацію з виснаження озонного шару Землі. У той час глобальне потепління клімату Землі в останні роки серйозно турбує світове співтовариство. У технології низьких температур (ТНТ) у перспективі переважне використання матимуть холодоагенти, отримані природним шляхом. Однак вони, мабуть, не зможуть перекрити весь діапазон потужностей і температур охолодження, тому синтетичні холодоагенти також будуть застосовуватися. Для них Міжнародний інститут холоду (МІХ) вважає прийнятним потенціал глобального потепління не більше 150. При цьому має бути забезпечена висока енергетична ефективність холодильних агрегатів.

Вибір холодоагентів першого покоління, які застосовувалися в морозильному устаткуванні до 1930-х років, базувався на їхній доступності та термічній стабільності. У перших морозильних машинах в основному застосовували аміак, діетиловий та диметиловий ефіри, вуглеводні, сірчистий ангідрид, закис азоту та інші речовини для компресорних морозильних машин. Переважна більшість із них мали значні дефекти. Серед них: драгівливий аромат, токсичність, хімічна активність до конструктивних складових установок, вибухо- та пожежонебезпечність

Розробка і пошук нових холодоносіїв є актуальним завданням для холодильної техніки. Створюються методи підбору холодоносіїв з прогнозованими теплофізичними та фізико-хімічними властивостями, на підставі яких запропоновано ряд нових холодоносіїв для застосування.

Виробництво нових синтетичних холодоагентів (групи HFC) для пароконпресорних холодильних машин (ПКХМ) лобюється урядами таких країн, як США, Японія, а також транснаціональними корпораціями “Дюпон”, “Данфосс” та ін. Впровадження альтернативних холодоагентів здійснюється з урахуванням технологічного характеру роботи ПКХМ, аналізу термодинамічної ефективності нових робочих тіл у різних типах холодильного обладнання, вивчення процесів тепломасообміну в конденсаторі та випарнику холодильної машини. З іншого боку, синтез нових речовин, розробка технологій їх отримання та створення відповідного холодильного обладнання – тривалий і дорогий процес. Виробники холодоагентів не приховують, що нові, пропонувані сьогодні на ринку, холодоагенти відіграють роль перехідних, їм на зміну прийдуть інші, можливо, трохи кращі, але ніхто не гарантує, що і вони надовго затримаються у холодильній промисловості.

Отже, дослідження щодо синтезу нових холодоагентів з високими термодинамічними характеристиками та низьким потенціалом руйну-

вання озонного шару та глобального потепління триватимуть.

У зв'язку з цим велике значення має створення універсальних аналітичних рівнянь, що дозволяють з великою достовірністю розраховувати властивості холодоагентів у широкому діапазоні параметрів.

В останні десятиліття активно розвивається напрямок створення теплообмінних апаратів з міні-каналами, з гідравлічним діаметром каналу 0,5–1,0 мм.

Деякі фірми випускають мініканальні конденсатори з повітряним охолодженням для фреонових холодильних машин та кондиціонерів. Застосування таких конденсаторів дозволяє зменшити масу апарату в 2–3 рази в порівнянні з трубчасторебристими, скоротити заправку системи холодоагентом на 20%, підвищити холодильний коефіцієнт агрегатів на 3–4%. Ведуться роботи зі створення аміачних конденсаторів із міні-каналами, а також мініканальних випарників. Застосування останніх апаратів ще більше скоротить питому заправку системи холодоагентом.

Сьогодні вже існують агрегати, в яких заправка холодоагенту складає 0,18 кг/кВт холодопродуктивності. За оцінками американських дослідників, у разі застосування мініканальних конденсаторів та випарників маса холодоагенту в системі може бути скорочена до 0,1 кг/кВт холодопродуктивності.

Мініканальні випарники для охолодження рідких середовищ слід розглядати як наступне покоління відомих пластинчастих. Питання зіставлення цих типів теплообмінників до кінця не вивчене, хоча, за даними американських вче-

них, мініканальні технології дозволяють підвищити теплопередачу до 20%.

Завдання створення мініканальних випарників значно складніше порівняно з конденсаторами. Для забезпечення сталої та ефективної роботи випарників вимагають вирішення питання рівномірного розподілу холодоагенту каналами, число яких може бути досить великим. Необхідно виключити реверс потоку, значні коливання температури та градієнта тиску. На підставі виконаних експериментальних досліджень динаміки потоків та теплообміну при кипінні R 134a в міні-каналах з гідравлічним діаметром 0,5 мм встановлено наступне (рис. 2).

Ефективною областю експлуатації мініканального випарника є область масових паровмістів до 0,5. Коефіцієнт тепловіддачі зростає до настання висихання стінок каналу (рис. 2).

Нестійкі процеси, які спостерігаються при малих масових витратах (до 70 кг/(м<sup>2</sup>с)) і теплових потоках близько 10 кВт/м<sup>2</sup>, викликають різкі коливання витрати і тиску в системі, температури стінок каналів, а також призводять до зворотного перебігу потоку. У стаціонарному режимі роботи коливання, що виникли, можуть бути незатухаючими. Прояв таких нестійких процесів небезпечний для експлуатації мініканального теплообмінника, оскільки він може призвести до значних вібрацій у холодильній системі, до механічної та термічної втоми матеріалу теплообмінника, а також до зниження показників теплообміну.

Для скорочення заправки холодоагенту у промислових холодильних установках все більшого поширення набувають системи з вторинним контуром охолодження.

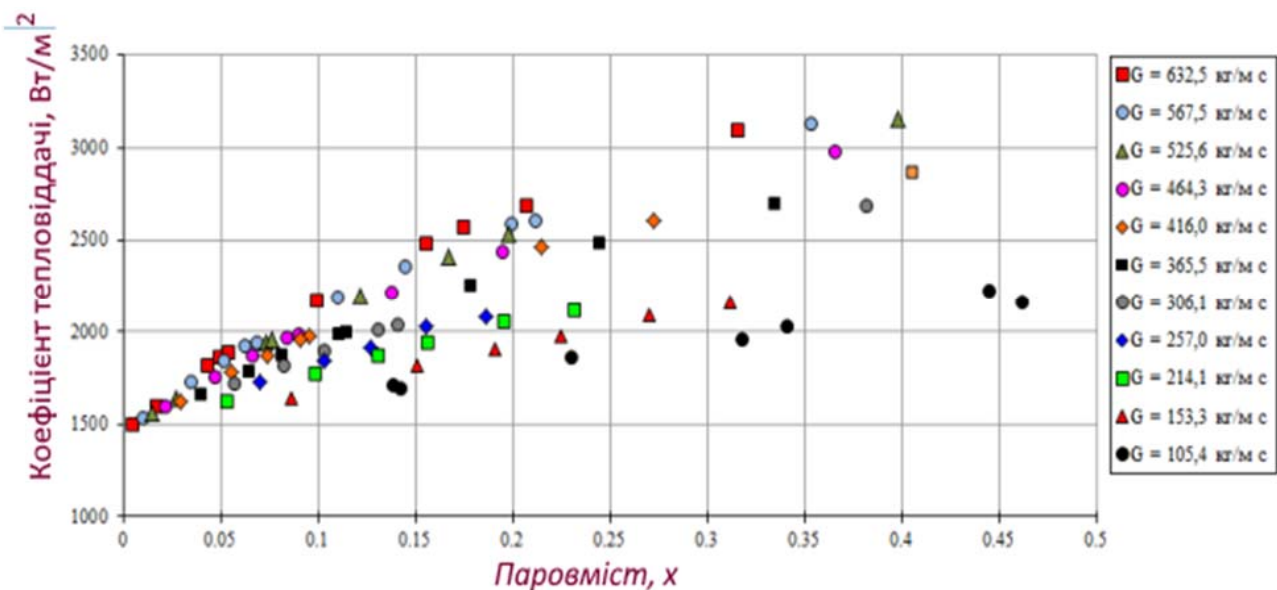


Рис. 2. Експериментальні дані щодо визначення коефіцієнта тепловіддачі при кипінні R134a,  $D_h = 538 \mu\text{m}$ ,  $t_{\text{нас}} = +29,4^\circ\text{C}$ ,  $q = 2,2 \text{ кВт/м}^2$

Джерело: [11]

У сьогоднішні ведуться дослідження твердотільних охолоджувачів, важливою обставиною при цьому є те, що всі вони мають ряд переваг:

- зручність та простота експлуатації, не потрібне сервісне обслуговування;
- безшумність;
- незалежність від орієнтації у просторі;
- легкість та зручність дистанційного керування;
- можливість використання гібридних систем, коли в одному технологічному циклі виготовляються і охолоджувач та функціональна електронна схема;
- екологічна чистота.

Забезпечення номінальних параметрів мікроклімату холодильної камери призводить, у свою чергу, до збереження необхідних властивостей продукту заморожування (охолодження) і збільшує термін його придатності. У той же час розробники нових ХМ повинні гарантувати оптимізацію витрат електроенергії (в фазі підтримки ефективної роботи морозильної машини), а за рахунок застосування передових систем контролювати викиди в атмосферу двоокису вуглецю та гарантувати не тільки їх мінімізацію, а й вибирати більш сучасні холодоагенти [1; 2].

У світовій практиці для аналізу впливу холодоагентів на довкілля користуються параметром

TEWI (Total Equivalent Warning Impact). Він має назву сумарної еквівалентної теплової дії [7].

$$TEWI = GWP \cdot M + \alpha BL, \quad (1)$$

де  $GWP$  – потенціал глобального потепління;  
 $M$  – маса емісії холодоагента в атмосферу;

$\alpha$  – коефіцієнт, що характеризує емісію двоокису вуглецю в атмосферу під час вироблення 1 кг  $CO_2$ /кВт·год. електроенергії;

$B$  – кількість електроенергії, спожитої за період роботи холодильної установки, кВт·год.;

$L$  – час роботи холодильної установки, год.

На рис. 3 наведена загальна структура взаємозв'язків вхідних і вихідних параметрів.

Блок 1 показує зовнішнє середовище з мінімізацією викидів  $CO_2 \rightarrow \min$  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  $\bar{Y}_{хол}$  та, відповідно, холодопродуктивність холодильних компресорних машин.

Блок 2 показує залежність втрат якості продукту заморожування  $X_{як}$ , від тривалості заморожування  $\tau_0$  продукту і чинників  $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\}$ , які визначають параметри якості заморожування продуктів та параметри мікроклімату  $\{M_{х.к.}\}$  холодильної камери (блок 3) промислового холодильника. Параметри мікроклімату  $\{M_{х.к.}\}$  холодильної камери тісно пов'язані з параметрами

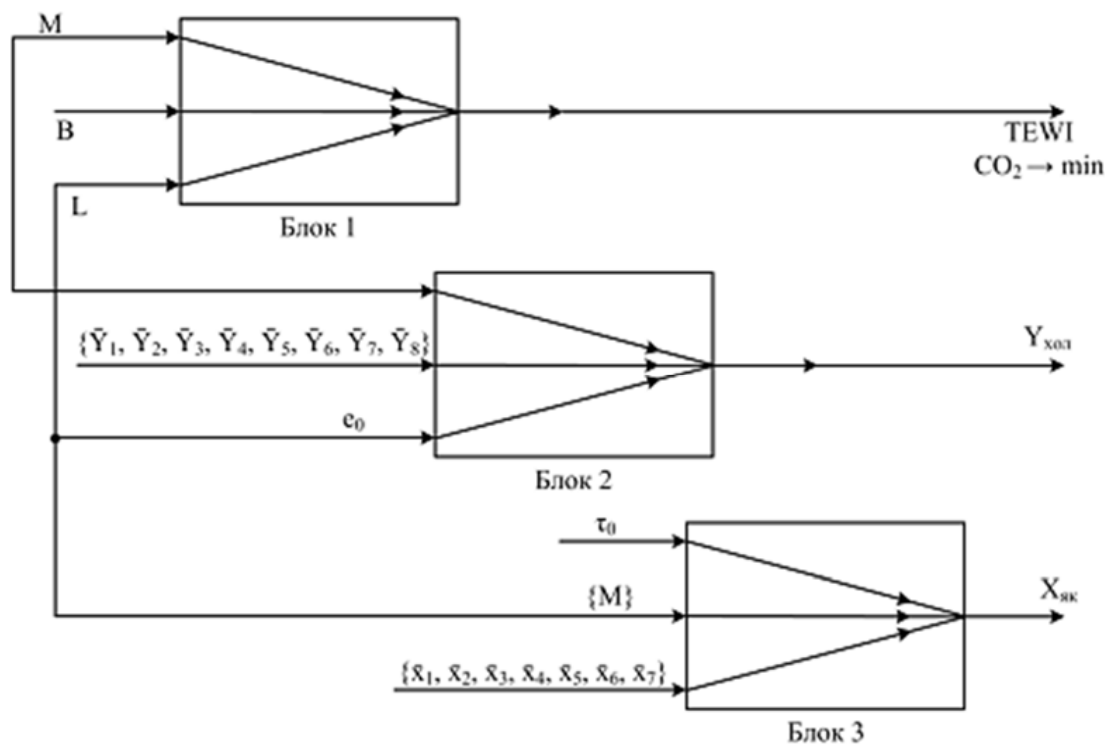


Рис. 3. Загальна структура взаємозв'язків вхідних і вихідних параметрів холодильної машини (ХМ) холодозабезпечення холодильної камери (ХК) промислового холодильника

Джерело: [8]

$X_{\text{як}}$ ,  $\bar{Y}_{\text{хол}}$ , TEWI,  $\tau_0$ ,  $e_0$  і на них впливають різні організаційні та збурюючі фактори. Отже, холодильна камера промислового холодильника, як об'єкта 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 основу якої слід покласти технології нечіткого оцінювання параметрів  $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \dots, \bar{Y}_9\}$  і  $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_7\}$  та технологій прийняття оптимальних рішень.

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,  $X_{\text{як}}$ ,  $\bar{Y}_{\text{хол}}$  у режимі реального часу.

Для побудови АСУТП холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника необхідно:

– визначити параметри, що 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 ознаки заморожуваного продукту харчування. У процесі визначення експертних знань та побудови бази даних із джерел використано ряд змінних, які визначають параметри холодозабезпечення, мікроклімат холодильних камер та параметри  $\text{CO}_2$ .

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;



Рис. 4. Функціональні блоки системи керування промисловим холодильником

Джерело: [8]

У6 – теплового балансу холодильної камери (приміщення охолодження);

У7 – тиску холодоагенту у випарнику;

У8 – швидкості заморожування продукту харчування;

У9 – геометрії заповнення холодильної камери продуктом заморожування.

Автоматизована інформаційна система та таблиці термодинамічних особливостей 3-х констанцій уже впроваджуються на виробництві під час модернізації морозильних установок і різноманітних систем кондиціонування.

Параметри візуалізації, які наведені на рис. 4, дозволяють технологу (АРМ-оператора) контролювати за допомогою МКП як якісні показники – параметри заморожуваного продукту, так і параметри мікроклімату холодильної камери, керуючі параметри, параметри збурень, енергетичні параметри холодильних машин.

Результати імітаційних досліджень на спеціальному лабораторному стенді [5] 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<sub>2</sub> та запобігає втраті смакових властивостей заморожуваних продуктів.

**Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі.** Майбутнє холодильної техніки значною мірою пов'язане з твердотільними охолоджувальними системами. Термоелектричні охолоджувачі досить давно відомі та застосовуються в побутових холодильниках, системах кондиціонування та для вирішення спеціальних завдань холодильної технології харчової галузі і торгівлі. Їх широке застосування стримується невисокою енергетичною ефективністю. Нові матеріали з використанням нанотехнологій дадуть можливість значно покращити енергетичні характеристики термоелектричних систем та розширити сфери їх застосування. Останнім часом активно ведуться фундаментальні та прикладні дослідження зі створення охолоджувачів на основі магнітно-калоричного та електрокалоричного ефектів.

Властивості холодоносіїв мають помітний вплив на енергетичну ефективність таких систем. Усі відомі холодоносії мають ті чи інші недоліки. Вибір холодоносія – завжди компроміс між його позитивними та негативними сторонами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень. URL: <https://studfiles.net/preview/5195121/page:3/>.

2. Кирик В. В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах : підручник / В. В. Кирик. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во “Політехніка”, 2019. 224 с.

3. Масліков М. М. Холодильна технологія харчових продуктів : навч. посіб. / М. М. Масліков. Київ : НУХТ, 2007. 335 с.

4. Теплохолодотехніка : навч. посіб. / С. М. Василенко, В. І. Павелко, А. В. Форсюк та ін.; за заг. ред. С. М. Василенко. Київ : Ліра-К, 2019. 258 с.

5. Тітлов О. С. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості : навч. посіб. / О. С. Тітлов, С. Ф. Горикін. Львів : Новий світ 2000, 2011. 286 с.

6. Хмельнюк М. Г. Холодильні установки та сфери їх використання : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко, І. О. Подмазко. Херсон : ФОРМ Грін Д. С., 2014. 484 с.

7. 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.

8. Хорольський В. П., Омельченко О. В., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Петрушина Ю. М. Холодозабезпечення холодильних камер смарт-промислових холодильників із системами нейронного керування процесами заморожування продуктів харчування. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021 (303). № 6. С. 264–271.

9. Abdulateef J. M., Sopian K., Alghoul M. A., Sulaiman M. Y. Review on solardriven ejector réfrigératio. *Renewable i Sustainable Energy Reviews*. 2008.

10. Tanaka K. *Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach* / K. Tanaka, H. O. Wang. New York : John Wiley & Sons, Inc., 2001. 305 p.

11. Khovalyg D. M. *Metody rascheta gradiyenta davleniya dvukhfaznogo potoka pri kipenii v malykh kanalakh* / Khovalyg D. M., Baranenko A. V. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*. 2012. № 1.

## REFERENCES

1. Intelktual'ni systemy pidtrymky pryjnatia rishen, available at: <https://studfiles.net/preview/5195121/page:3/>.

2. Kyryk, V. V. (2019), *Matematychnyj aparat shtuchnogo intelektu v elektroenerhetychnykh systemakh : pidruchnyk* [Mathematical apparatus of artificial intelligence in electric power systems: textbook]. KPI im. Ihoria Sikors'koho, Vyd-vo “Politekhnik”, Kyiv, 224 p.

3. Maslikov, M. M. (2007), *Kholodylna tekhnolohiia kharchovykh produktiv : navch. posib* [Refrigeration technology of food products : a textbook].



tion technology of food products: academic. manual], NUKhT, Kyiv, 335 p.

4. Vasylenko S. M., Pavelko V. I., Forsiuk A. V. (2018) *Teplokhodotekhnika : navch. posib.* [Heat and cold engineering: teaching. manual], Lira-K, Kyiv, 258 p.

5. Titlov, O. S. Horykin, S. F. (2011), *Kholodyl'ne obladnannia pidpriemstv kharchovoi promyslovosti : navch. posib.* [Refrigeration equipment of food industry enterprises: academic. manual], Novyj svit 2000, L'viv, 286 p.

6. Khmel'niuk, M. H. Podmazko, O. S. and Podmazko, I. O. (2014), *Kholodyl'ni ustanovky ta sfery ikh vykorystannia : pidruchnyk* [Refrigeration plants and areas of their use: textbook], FOP Hrin' D. S., Kherson, 484 p.

7. Khorol'skyj, V. P. Korenets, Yu. M. Honcharenko, V. A. Yarovyj, D. V. and Raschekmarov, I. V. (2021), “Theoretical foundations of multi-level automated control of cold supply of industrial refrigerators”. *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv*, vol. 2 (43), pp. 122–130.

8. Khorol'skyj, V. P. Omel'chenko, O. V. Korenets', Yu. M. Honcharenko, V. A. and Petrushyna, Yu. M. (2021), “Cold supply of refrigerating chambers of smart industrial refrigerators with neuro-fuzzy control systems for food freezing processes”, *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*, vol. 303, no. 6, pp. 264–271.

9. Abdulateef, J. M. Sopian K. Alghoul, M. A. and Sulaiman, M. Y. (2008), Review on solardriven ejector réfrigératio. *Renewable i Sustainable Energy Reviews*.

10. Tanaka K. and Wang, H. O. (2001), *Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 305 p.

11. Khovalyg, D. M. and Baranenko, A. V. (2012), “Metody rascheta gradiyenta davleniya dvukhfaznogo potoka pri kipenii v malykh kanalakh”, *Vestnik Mezh-dunarodnoy akademii kholoda*, no. 1.

*Стаття надійшла до редакції 14 листопада 2022 р.*