

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.564.2:620.179.1

Функціональне діагностування промислового льодогенератора у період наморожування кубикового льоду

В. В. Москін¹✉, Л. І. Морозюк²¹⁻²Одеський національний технологічний університет, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна✉ e-mail: ¹vasiaarec@gmail.comORCID: ¹<https://orcid.org/0009-0006-9563-8438>; ²<https://orcid.org/0000-0003-4133-1984>

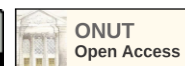
У роботі представлено часткові результати функціонального діагностування промислового льодогенератора у період наморожування кубикового льоду. Льодогенератор являє собою типового представника низькотемпературних теплових процесів, де перетворення води у лід є корисним ефектом. Метою роботи є функціональне діагностування температурних характеристик елементів промислової льодогенерувальної системи з відхиленнями від проектного режиму, а також аналіз ефективності технічних рішень, спрямованих на повернення її працездатності. Запропонований підхід базується на поєднанні фактичних вимірювань і енергетичного моделювання, що дозволяє кількісно оцінити вплив реконструкції на загальну ефективність установки. Установка реалізує одноступеневий парокомпресорний холодильний цикл. Основними системами установки є: холодильна машина з набором додаткового устаткування, система генерації льоду (два випарники касетного типу для формування льоду та два водяні теплообмінники, підсистема відтавання). Відтавання забезпечено гарячою парою холодоагента через систему трубопроводів з регулюючими пристроями. Автоматичне регулювання забезпечує льодогенерацію у випарниках з сувом у часі та постійну роботу компресора. Параметром діагностування є температура, що відображає перебіг робочого процесу та відхилення від сталого режиму. Діагностування проведено у два етапи. На першому етапі температурний режим досліджено у базовій конфігурації установки, на другому – після впровадження модернізації. Результати вимірювань поточних робочих температур надано графічно у системі координат «Температура - час». Автоматично тривалість робочого циклу наморожування встановлено 1220 с, інтервал відтавання – 80 с, зсув за часом у циклах випарників – 112 с. Аналіз встановив, що проблемою є розбіжність масових витрат холодоагента у дросельних пристроях, що ліквідовано модернізацією.

Ключові слова: Льодогенератор; Функціональна діагностика; Температура; Наморожування; Відтавання; Кубиковий лід.

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v62i1.3467>

© The Author(s) 2026. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Вступ

Теплові процеси в середовищі, що рухається природно або примусово, при температурах близько 0 °C заслуговують на особливу увагу, оскільки в цих умовах за наявності води можливі фазові перетворення – замерзання води і утворення льоду на поверхнях. Водний лід має особливі теплофі-

зичні властивості, повністю сумісний з навколишнім середовищем, доступний як продукт технологічного процесу, має відносно низьку вартість, Переважні галузі застосування: сільське господарство, харчова промисловість, торгівля та громадське харчування, будівельна справа та ін. Зростає застосування водного льоду в різних його формах і модифікаціях, зокрема, як автономне джерело

холоду з постійною температурою і агрегатним станом, що змінюється. У холодильній техніці процес штучного отримання льоду, реалізується в льодогенераторах. [1]. Особливо поширеним є виробництво кубикового льоду, що відрізняється придатністю до автоматизованого подавання. Енерго-ефективність і надійність роботи льодогенераторів безпосередньо впливають на експлуатаційні витрати комерційних підприємств і сталість виробничих циклів [2]; Проте на практиці більшість льодогенераторів з тривалим циклічним технологічним процесом за часом набувають відхилення від проектних параметрів. Серед типових явищ – знижена продуктивність товарного продукту, підвищене енергоспоживання, нерівномірне утворення льоду, узгодження циклів відтавання та перевантаження компресорів. Основними причинами є втрати тепла в теплообмінниках, порушення та недостатня адаптивність системи керування. У наукових публікаціях відносно до льодогенераторів розглядаються різні питання щодо підвищення енергоефективності, зокрема: оптимізація режимів роботи холодильної машини [3]; вдосконалення системи відтавання та конструкції теплообмінників [4,5]; впровадження інтелектуальних та адаптивних систем керування [6]. Численні дослідження у сфері льодогенерації стосуються окремих аспектів або зосереджені переважно на числовому моделюванні. Автори роботи [7] пропонують математичне моделювання роботи автоматичних льодогенераторів, зокрема з використанням Simulink та EnergyPlus, але моделі не були перевірені на реальних промислових установках з врахуванням ефекту реального технічного стану устаткування. Варто відзначити роботу [7], у якій проаналізовано енергоефективність автоматичного льодогенератора кубикового типу в різних температурних режимах. Автори навели дані з енергоспоживання та тривалості циклів, проте не розглядали впровадження аналізу до та після реконструкційних заходів. Окремі дослідження аналізували геометрії випарників [8], вибір холодоагентів [9], не охоплюючи системну взаємодію функціональних блоків у промислових умовах. Крім того, в літературі присутні переважно дослідження комерційних та побутових льодогенераторів: [10,11,12]. Окремі роботи аналізують процеси відтавання льодогенератора як складової частини технологічного процесу [13,14,15,16] Безсумнівно наведений огляд надає важливу технічну інформацію, але не адаптований до умов експлуатації промислових холо-

дильних систем з високою продуктивністю та тривалими виробничими циклами. Отже, у наявній літературі відсутні результати експериментальних досліджень промислових льодогенераторів у реальних умовах, які б одночасно включали діагностику, усунення технічних дефектів та оцінку ефективності конструктивних змін. Своєчасна діагностика (виявлення та моніторинг) теплових процесів з фазовими перетвореннями у потоці середовища дозволяє оптимізувати конкретні системи. Льодогенератор являє собою типового представника низькотемпературних теплових процесів, де перетворення води у лід є корисним ефектом. Це зумовлює необхідність проведення даного дослідження. Метою роботи є функціональне діагностування температурних характеристик елементів промислової льодогенерувальної системи з відхиленнями від проектного режиму, а також аналіз ефективності технічних рішень, спрямованих на повернення її працездатності. Запропонований підхід базується на поєднанні фактичних вимірювань і енергетичного моделювання, що дозволяє кількісно оцінити вплив реконструкції на загальну ефективність установки. Практична цінність роботи полягає в обґрунтуванні рішень для підвищення надійності та зменшення енергоспоживання в реальних умовах експлуатації. У роботі представлено результати функціонального діагностування льодогенератора, дослідження характерна зміни температурного режиму системи утворення кубикового льоду у реальному часі промислової експлуатації. Дослідження проведено з залученням окремих положень методології діагностування технічного об'єкта [19]. Об'єкт, що відповідає всім вимогам нормативно-технічної документації, знаходиться у справному стані. Непрацездатність технічного об'єкта визначають шляхом пошуку конкретних дефектів, спеціальними засобами діагностування. Засіб та об'єкт дослідження утворюють систему тестового або функціонального діагностування. У таких системах на об'єкт надходять лише робочі процеси, передбачені його алгоритмом експлуатації. Засіб діагностування у загальному випадку складається з сукупності елементарних перевірок об'єкта і правил аналізу результатів останніх. Кожна елементарна перевірка визначається своїм робочим впливом, що подається або надходить на об'єкт, та складом контрольних точок, з яких знімаються відповідні дані об'єкта. Системи функціонального діагностування взаємодіють з обладнанням, що виконує технологічний процес. Під

час розробки алгоритму діагностування складають моделі об'єкта спостереження, які можуть бути формалізованими чи неявними. Формалізованою моделлю об'єкта є його опис в аналітичній, графічній, чи іншій формі. У завданнях функціонального діагностування вхідні засоби елементарних перевірок визначені заздалегідь.

2. Модель об'єкту для дослідження

Льодогенератор моделі CV3000 (торгова марка CBFI) призначений для виробництва кубикового льоду. Установка є блоком технологічного процесу промислового підприємства. Це обладнання належить до середньотоннажного класу і використо-

вується в харчовій промисловості, у кейтерингу та логістичних центрах. На рис.1 та 2 представлено загальний вигляд елементів технологічної схеми льодогенератора. Графічна модель технологічної схеми та сукупність контрольних точок, з яких знімаються відповідні дані об'єкта, надано на рис. 3. Установка реалізує одноступеневий парокомпресорний холодильний цикл з використанням холодоагенту R404A. Основними системами установки є: холодильна машина з набором традиційного додаткового устаткування (система зворотного охолодження води у градирні не наведена); система генерації льоду (два випарники касетного типу для формування льоду та два теплообмінники попереднього охолодження води, підсистема відтавання).



Рисунок 1 – Холодильна машина

Льодогенератор виробляє лід тільки однієї форми. Для цього випарник має відповідну форму для легкого і швидкого вивантаження готового продукту. Кожний випарник має 6 секцій касет вертикально орієнтованих з формуючими окремими осередками для льоду (рис.2а), Касети розміщено у замкненому просторі, зрошуються водою, внаслідок цього на поверхні відбувається наростання шару льоду. Кипіння холодоагенту здійсню-



а)



б)

Рисунок 2 – Випарник касетного типу формування кубикового льоду: а) – вид з боку формування льоду; б) – вид з боку змійовика випарника

ється у горизонтально орієнтованому змійовику (рис.2б), Відтавання забезпечено гарячою парою холодоагенту через систему трубопроводів з регулюючими пристроями, що з'єднують нагнітальну лінію компресора з випарниками (рис.3). Автоматичне регулювання технологічним процесом забезпечує льодогенерацію у випарниках В1 та В2 в сувом у часі та постійну роботу компресора з регулюванням продуктивності. З точки зору термо-

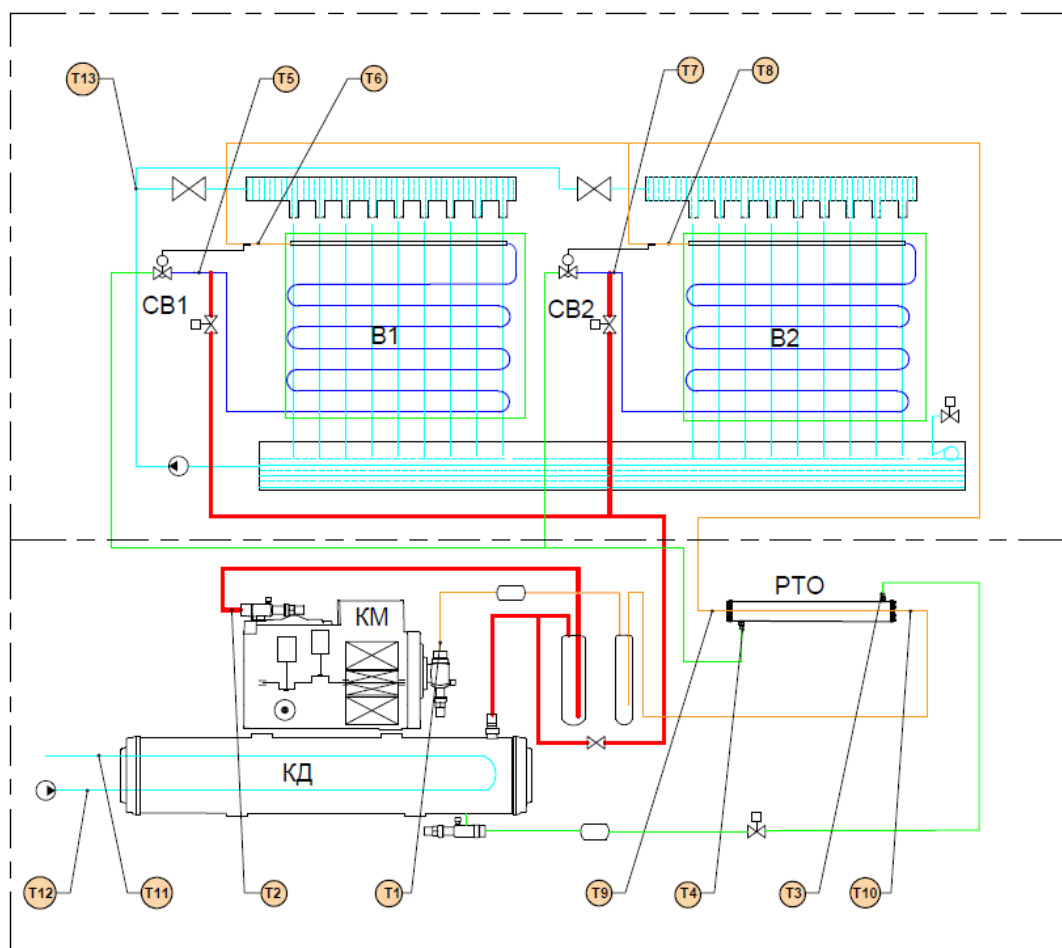


Рисунок 3 – Графічна модель технологічної схеми

динаміки, процес виробництва льоду супроводжується додатковими специфічними необоротними втратами та має низьку енергоефективність.

3. Діагностичні засоби для дослідження

Діагностичні засоби для дослідження процесу льодогенерації включають таке: аналіз процесів, з метою виявлення причин виникнення дефектів, а також порушення технологічного процесу; вибір діагностичних параметрів (прямих та непрямих), що характеризують технічний стан льодогенератора та забезпечують можливість пошуку дефектів; вибір методу діагностування для кожного об'єкта параметра.

Контроль температури є важливим аспектом оцінки стану технічного обладнання. За загальною оцінкою до 95% усіх форм енергії, що створюється і передається машинами прямо або частково, перетворюється на теплову енергію. Параметром теплового діагностування є температура, що відображає перебіг робочого процесу та розвиток відхилень від сталого режиму. Для цього розроблено широкий спектр методів та засобів вимірювання,

від класичних контактних датчиків температури до сучасних бездротових оптико-електронних систем [17]. Перелік параметрів циклу, що піддаються перевіркам у дослідженні (рис.3), наведено у таблиці.

Таблиця – Діагностичні параметри циклу

Назва параметра	Позн
Температура на всмоктуванні КМ	T1
Температура на нагнітанні КМ	T2
Температура рідини на вході РТО	T3
Температура рідини на виході РТО	T4
Температура на вході у випарник B1	T5
Температура на виході з випарника B1	T6
Температура на вході у випарник B2	T7
Температура на виході з випарника B2	T8
Температура пари на вході РТО	T9
Температура пари на виході РТО	T10
Температура води на виході з КД	T11
Температура води на вході у КД	T12
Температура води на вході у ВТО	T13
Тиск на всмоктуванні КМ	P1
Тиск на нагнітанні КМ	P2
Тривалість повного робочого циклу	τ
Маса льоду, що отримано за цикл	мл

У дослідженні використано датчики, що вимірюють температуру середовища чи поверхні через прямий тепловий контакт. Такі датчики дають точне локальне вимірювання температури у місці установки. В умовах близько 0 °C контактні сенсори можуть як реєструвати саму температуру середовища, так і фіксувати моменти фазового переходу. Для динамічних процесів кращі датчики з малою тепловою інерцією. Контактні термометри прості, надійні та добре налагоджені у вимірювальній техніці. Вони забезпечують досить високу точність та дозвіл за часом. Термопари особливо швидкі в динаміці та працюють у широкому діапазоні температур, включаючи від'ємні. Температу-

ра у точках вимірювалася температурними датчиками DS18B20, клас точності $\pm 0,5$ °C, з'єднаними з цифровим контролером Arduino UNO R3. Контролер в реальному часі фіксує показники 13-ти температурних датчиків. Через програми PUTTY, LOG записані дані, і далі здійснюється конвертування їх у числові значення (ексель) для обробки та створення графічної моделі температурного режиму процесів льодовиробництва. Графічну модель загального температурного режиму льодогенератора демонструє рис. 4. Автоматично тривалість повного робочого циклу встановлено 1220 с, інтервал відтавання – 80 с, зсув за часом у циклах випарників – 112 с.

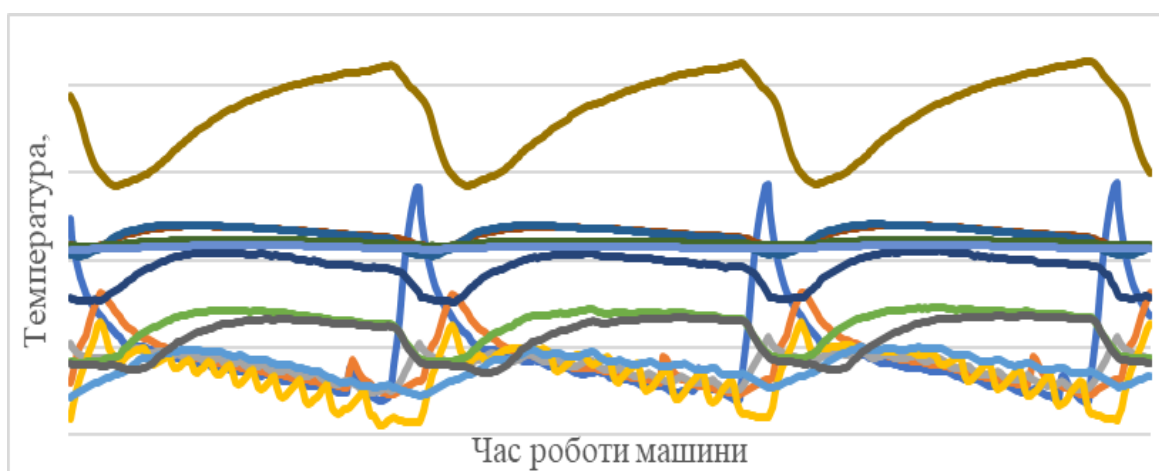


Рисунок 4 – Графічна модель температурного режиму процесу льодогенерації (3 цикли намерзання)

Контроль температури дозволяє отримати такі діагностичні параметри:

- абсолютне значення у локальних точках;
- різницю температур потоків на кінцях теплообмінних апаратів;
- інтенсивність зміни температури теплообмінної поверхні під час процесу намерзання льоду.

4. Методика проведення діагностування

Метою експериментальної частини дослідження було отримання достовірних даних щодо температурного режиму роботи льодогенератора у реальних умовах експлуатації з подальшим використанням цих даних для відновлення енергоефективності промислового об'єкту. Діагностування проведено у два етапи. На першому етапі температурний режим досліджено у базовій конфігурації установки, на другому – після впровадження технічної модернізації. В обох випадках випробування виконувалися без демонтажу основних елементів,

що дозволило повністю зберегти умови реальної експлуатації. Випробування проводилися при температурах навколишнього середовища в межах 28–34 °C та номінальному подаванні води до випарників. На кожному етапі параметри визначалися з інтервалом 10 секунд протягом 1350 секунд з безпосереднім записом у комп'ютер для подальшої обробки.

На кожному етапі проводилися три незалежні повтори вимірювань з метою перевірки стабільності результатів. Критерієм прийнятності для температурних показників вважалася відносна розбіжність між серіями не більше: $\pm 2,5$ %. Для внутрішньої валідації параметрів задіяно перевірку стійкого режиму перед фіксацією результатів з залученням контролю поточних температур у циклі. Відхилення фактичних значень для температурних показників від паспортних характеристик не перевищувало: $\pm 0,5$ °C. Усі експериментальні дані вкладалися у встановлені допуски, що підтверджує достовірність проведених вимірювань та коректність

застосованої методики. Оброблені результати прямих вимірювань поточних робочих температур на першому етапі випробувань надано у графічному вигляді на рис. 5-8. Поточні температури на вході і виході у В1 надано на рис. 5 у відриві від системи. Поточні температури у В2 як самостійного елемента

але з впливом інших елементів надано на рис. 6. Поточні температури у В1 та В2 як єдиної системи демонструє рис. 7. Поточні температури у точках перевірки РТО системи холодильної машини надано на рис. 8. Позначення на графіках узгоджені з таблицею.

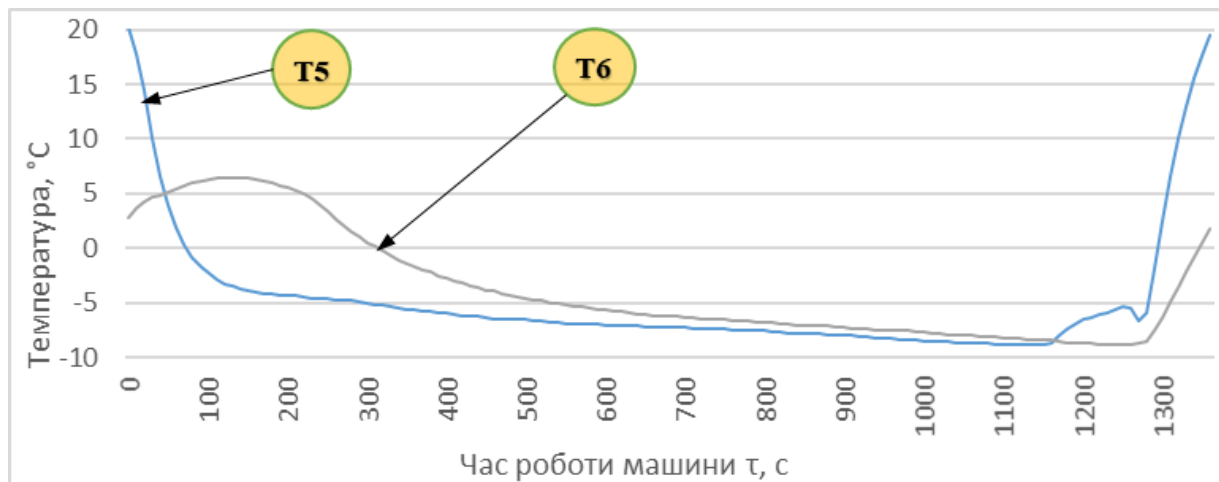


Рисунок 5 – Поточні температури на вході і виході у В1 до модернізації

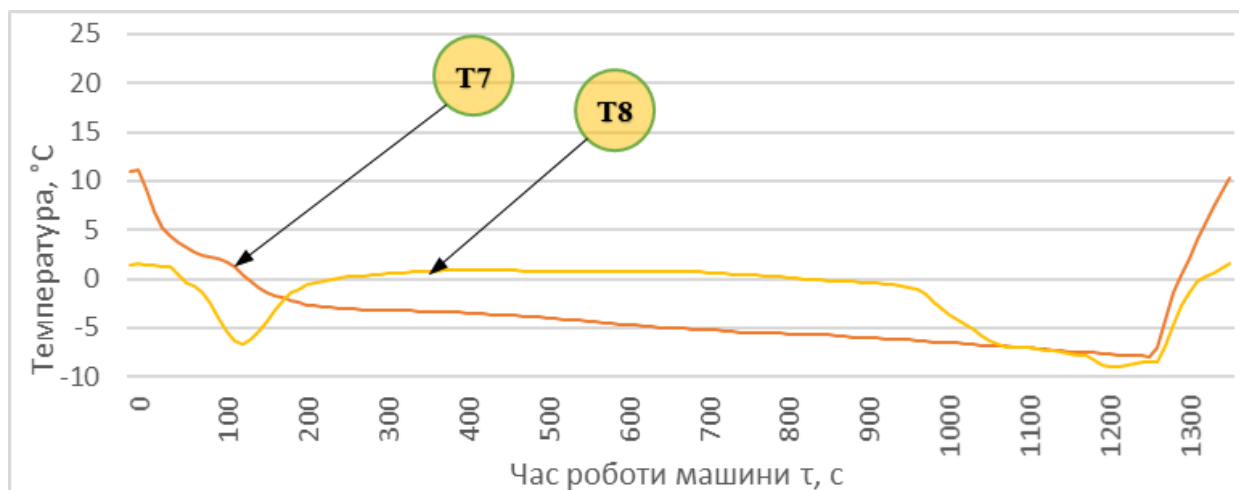


Рисунок 6 – Поточні температури на вході і виході у В2 до модернізації

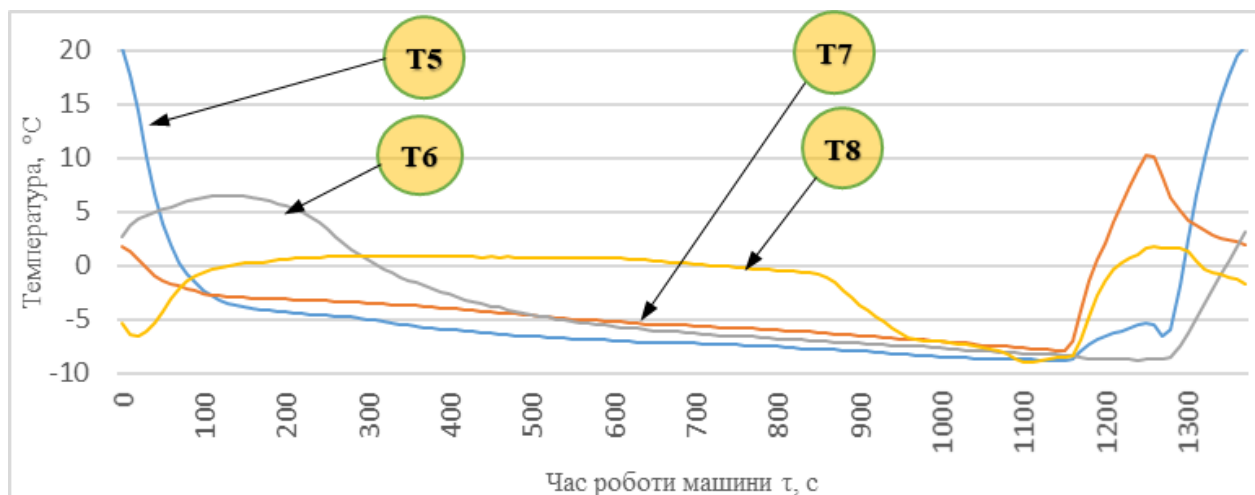


Рисунок 7 – Поточні температури у В1 та В2 як єдиної системи до модернізації

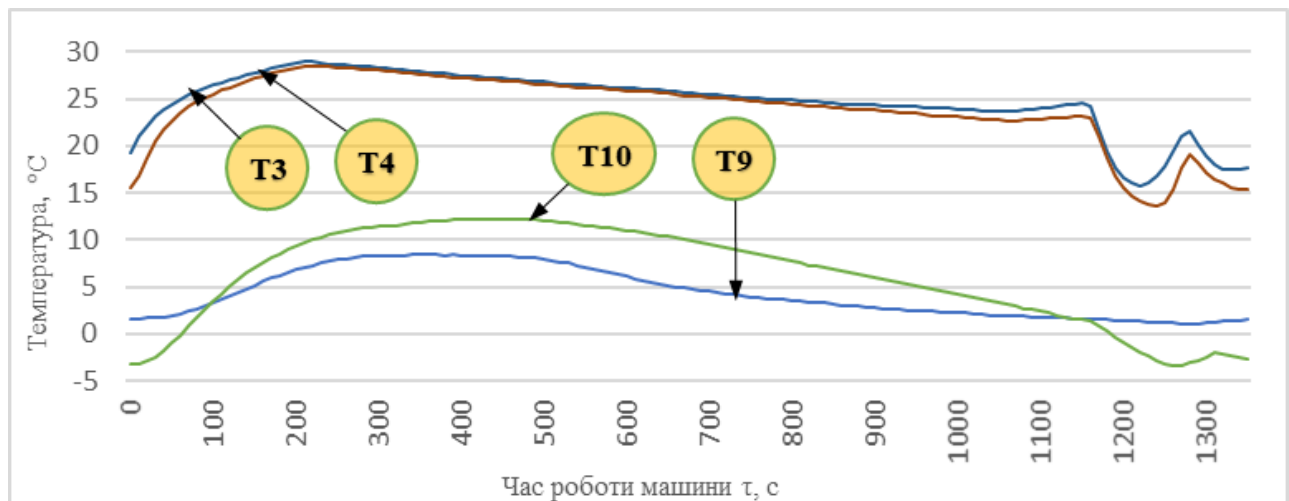


Рисунок 8 – Поточні температури у точках перевірки РТО до модернізації

Результати діагностування на другому етапі випробувань, що надано на рис. 9 та 10, демонструють найбільш важливі наслідки модернізації обладнання.

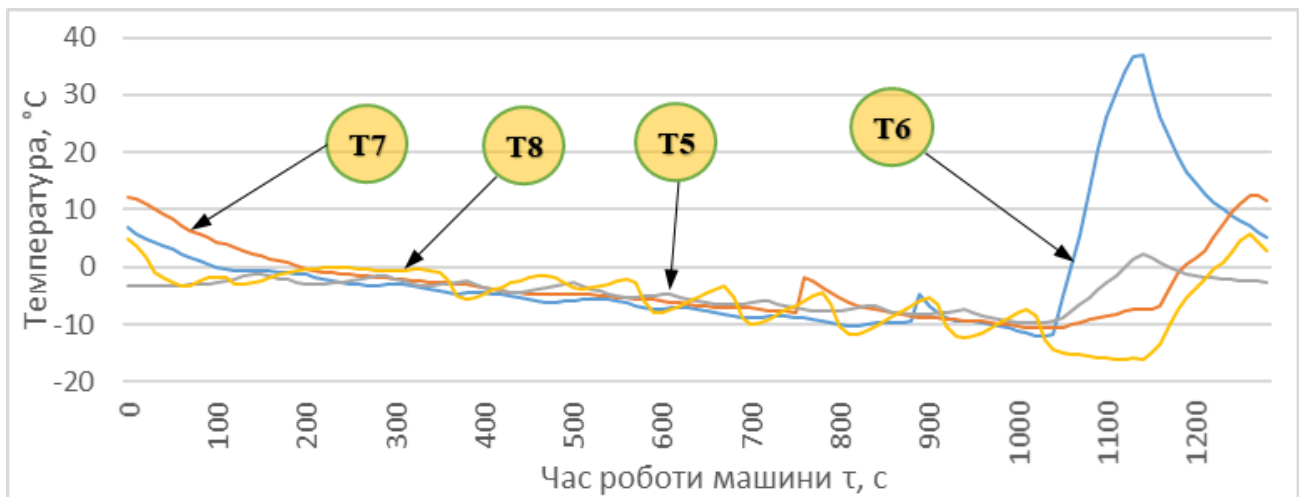


Рисунок 9 – Поточні температури у В1 та В2 як єдиної системи після модернізації

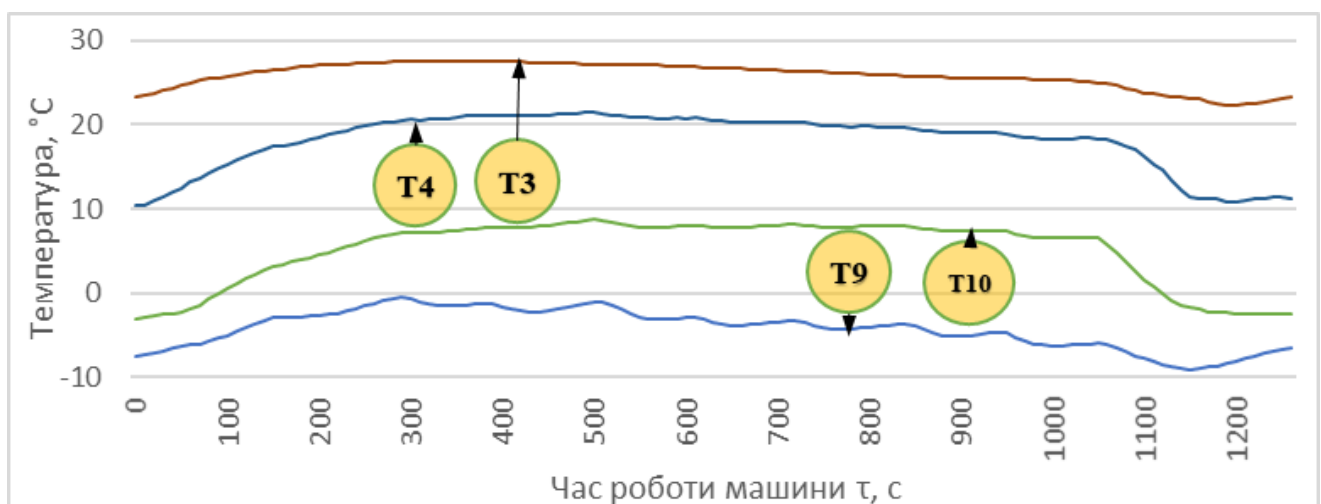


Рисунок 10 – Поточні температури у точках перевірки РТО після модернізації

Цикл генерації льоду складається з двох періодів: процесу наморозування та процесу відтавання. Для аналізу технологічного процесу початком циклу прийнято момент закриття електронного

вентиля CB1 подавання гарячої пари у B1 (рис. 3.). Закінчення циклу наморозування є момент автоматичного закриття CB1. Інтервал часу відтавання встановлено автоматичним управлінням. У цей період у B2 процеси відбуваються залежно від автоматичного регулювання. Згідно до графічної моделі процесу у B1 (рис. 5) цикл починається з процесу охолодження з монотонним зниженням температури на вході від 18,9 до 0 °C. З цього моменту перебіг температури змінюється в наслідок зміни умов теплопередавання, з'являються перші прояви утворення шару льоду. При досягненні температури холодоагенту -5 °C починається стабільний процес наморозування з відповідним зниженням температури. В момент часу 1220 с процес зупиняється, починається процес відтавання. Спочатку спостерігається зміна потоків йде стабілізація температурного поля, безпосередньо відтавання триває 80 с, після чого CB1 закривається. Зміна температури на виході з B1 повністю відповідає нормальному процесу кипіння в апараті. Згідно до графічної моделі процесу у B2 (рис. 6) послідовність процесів зберігається, але перебіг температур свідчить про зменшену витрату холодоагенту і, як результат, зменшення тривалості наморозування та вихід неякісного продукту. Графічна модель системи B1 та B2 (рис. 7) з врахуванням інтервалу часу між процесами підтверджує порушення нормативного інтервалу технологічного процесу, масових витрат між компресором та дросельними приладами. Аналіз роботи РТО свідчить про відсутність теплообміну (рис. 8).

Після модернізації вузла дросельного пристрою B2 проведено другий етап випробувань. Виробничий технологічний процес було збережено, Графічні моделі температурних режимів систем генерації льоду та РТО (рис. 9 та 10.) констатують відповідність отриманих даних нормативам підприємства. Тривалість циклів наморозування та відтавання в обох випарниках залишається постійною, Своєчасне виробництво продукту у B2 забезпечено зниженням температури кипіння холодоагенту, як слідство, інтенсифікацією теплообміну в апараті (рис.9). Зміна температурного режиму у B2 нормалізувала роботу РТО (рис.10).

5. Висновки

У роботі представлено результати другої частини комплексного експериментального дослідження промислового льодогенератора CV3000 (CBFI).

Попередній експериментальний аналіз характеристик льодогенератора виявив перевитрати енергії та зменшення маси виробленої продукції в технологічному процесі, результати дослідження до та після модернізації обладнання оприлюднено у роботі [18].

Дослідження, що обговорюється у роботі, містить функціональне діагностування температурного режиму процесів наморозування кубікового льоду та відтавання готового продукту. Особливість процесам надає наявність двох випарників, процеси у яких мають зсув у часі при безперервній роботі холодильної машини. Закінчення процесу відтавання у B1 співпадає з процесом наморозування у B2 (рис.7). Температура суміші потоків, що надходять до РТО, визначає температуру на всмоктуванні компресора і, як слідство, енергетичні характеристики льодогенератора. Модернізація та налаштування дросельного пристрою B2 проводилися під контролем поточних температур діагностичними засобами (рис. 9) до досягнення сталого режиму технологічного процесу льодогенерації. Порівняння отриманої діагностичної інформації з розрахунковими граничними величинами енергетичного аналізу, нормативними параметрами та критеріями промислового підприємства ухвалило рішення про працездатний стан виробничого технологічного процесу.

Особистий внесок авторів CRediT

Москін В.В.: дослідження (проведення експериментів); збір та обробка даних; створення експериментального стенду, написання – рецензування та редагування. **Морозюк Л.І.:** концептуалізація; методологія; верифікація результатів; аналіз та узагальнення даних; написання – початковий варіант рукопису.

Література

1. GSEICE. The Future of Ice Machines: Smart Features and Eco-Friendly Designs. – 2025. URL: <https://www.gseice.com/blogs/news/the-future-of-ice-machines-smart-features-and-eco-friendly-designs> (дата звернення: 23.02.2026).
2. Hamid M., Song M., Hadibi T. et al. Research progress and challenges in the preparation and application of ice-making technology // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2025. – Vol. 223. – Article 115996. – DOI: 10.1016/j.rser.2025.115996.

3. **Konda R., Chandan V., Crossno J., Pollard B., Walsh D., Bohonek R., Marden J.R.** Utilizing load shifting for optimal compressor sequencing in industrial refrigeration // arXiv preprint. – 2024. – DOI: 10.1016/arXiv:2403.07831.
4. **Phongsavath A. et al.** The study of coefficient of performance and energy efficiency of the 50 tons tube ice maker machine // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 138. – DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.079.
5. **Nakornsri S., Suntivarakorn R., Thanutwutthigorn K.** Performance improvement of tubular-ice making machine by reducing the feed water temperature with shell and tube heat exchanger // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 564. – P. 298-302.
6. **Tang H., Yu J., Geng Y., Liu X., Lin B.** Optimization of operational strategy for ice thermal energy storage in a district cooling system based on model predictive control // Journal of Energy Storage. – 2023. – Vol. 62. – Article 106872. – DOI: 10.1016/j.est.2023.106872.
7. **Shittu R., Titiladunayo I.** Experimental investigation of the performance and energy consumption of an automated ice-cube making machine // Journal of Engineering Research and Reports. – 2018. – Vol. 3, Issue 1. – P. 1-12. – DOI: 10.9734/JERR/2018/45239.
8. Grant Ice Systems. How do the ice machine evaporators work. URL: <https://www.grant-ice.com/how-do-the-ice-machine-evaporators-work/> (дата звернення: 23.02.2026).
9. **Mota-Babiloni A., Navarro-Esbri J., Peris B., Molés F., Verdú G.** Experimental evaluation of R448A as R404A lower-GWP alternative in refrigeration systems // Energy Conversion and Management. – 2015. – Vol. 105. – P. 756–762. – DOI: 10.1016/j.enconman.2015.08.034.
10. **Yashar D.A., Park K.J.** Energy consumption of automatic ice makers installed in domestic refrigerators // NIST Technical Note 1697. – Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2011. – 47 p.
11. **Haider I., Feng H., Radermacher R.** Experimental results of a household automatic icemaker in a refrigerator/freezer // ASHRAE Transactions. – 1996. – Vol. 102, Pt. 1. – P. 541-545.
12. **Angelo K., Fulenwider D.** A field study to characterize water and energy use of commercial ice-cube machines and quantify saving potential. – San Ramon (CA): Fisher-Nickel Inc., 2007. – 36 p.
13. **Murgham H., Myszk D.H., Bahel V., Rajendran R., Knapke K., Shivashankar S., Wynn K.** Simulation model of an automatic commercial ice machine // Proceedings of the ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE). – 2016. – Vol. 4. – P. V004T05A020. – DOI: 10.1115/IMECE2016-66685.
14. **Norton E.** A look at hot gas defrost // ASHRAE Journal. – 2000. – Vol. 42, No. 10. – P. 88-94.
15. **Liu Z., Tan H.** Thermal performance of ice-making machine with a multi-channel evaporator // International Journal of Green Energy. – 2019. – Vol. 16, No. 7. – P. 520-529. – DOI: 10.1080/15435075.2019.1597368.
16. **Liu G. et al.** Frosting and defrosting characteristics of household refrigerators and freezers: Recent progress and perspectives // Energy and Buildings. – 2024. – Vol. 303. – Article 113755. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113755.
17. **Aktekeli B., Aktaş M., Koşan M., Güven Y., Arslan E.** Experimental investigation of a new defrosting technique for sustainable refrigeration system // Thermal Science and Engineering Progress. – 2024. – Vol. 54. – Article 102849. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102849>.
18. **Морозюк Л. І., Москін В. В.** Експериментальний аналіз роботи промислового льодогенератора // Холодильна техніка та технологія. – 2025. – Т. 61(3). – С. 238-249. – DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i3.3282>.

Отримана в редакції 23.02.2026, прийнята до друку 03.03.2026

Functional diagnostics of the industrial ice maker during the phase of ice cubes forming

Vasyl Moskin^{1✉}, Larysa Morozyuk²

¹⁻²Odesa National University of Technology, 112 Kanatna str., Odesa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: ¹vasiaarec@gmail.com

ORCID: ¹<https://orcid.org/0009-0006-9563-8438>; ²<https://orcid.org/0000-0003-4133-1984>

The paper presents partial results of functional diagnostics of an industrial ice maker during the freezing

period of cube ice. An ice maker is a typical representative of low-temperature thermal processes, where the conversion of water into ice is a beneficial effect. The purpose of the paper is functional diagnostics of the temperature characteristics of the elements of an industrial ice maker system with deviations from the design regime, as well as analysis of the effectiveness of technical solutions aimed at restoring its operability. The proposed approach is based on a combination of actual measurements and energy modeling, which allows to quantitatively assess the impact of the reconstruction on the overall efficiency of the plant. The plant implements a single-stage vapor-compressor refrigeration cycle. The main systems of the plant are:– a refrigeration machine with a set of additional equipment, an ice generation system (two cassette-type evaporators for ice formation and two water heat exchangers, a defrosting subsystem). Defrosting is provided by hot refrigerant vapor through a system of pipelines with regulating devices. Automatic regulation ensures ice generation in evaporators with strict time limits and constant compressor operation. The diagnostic parameter is the temperature, which reflects the course of the working process and deviations from the steady state. The diagnosis is carried out in two stages. At the first stage, the temperature regime was investigated in the basic configuration of the installation, at the second - after the implementation of the modernization. The results of measurements of current operating temperatures are provided graphically in the "Temperature-time" coordinate system. The duration of the freezing operating cycle is automatically set to 1220 s, the defrost interval is 80 s, the time shift in the evaporator cycles is 112 s. The analysis established that the problem is the discrepancy in the mass flow rates of the refrigerant in the throttle devices, which is eliminated by the modernization.

Keywords: Ice maker; Functional diagnostics; Temperature; Freezing; Thawing; Cube ice.

References

1. (2025) GSEICE. The Future of Ice Machines: Smart Features and Eco-Friendly Designs. Retrieved 23 February 2026 from <https://www.gseice.com/blogs/news/the-future-of-ice-machines-smart-features-and-eco-friendly-designs>
2. Hamid, M., Song, M., Hadibi, T. et al. (2025) Research progress and challenges in the preparation and application of ice-making technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 223, 115996.
3. Konda, R., Chandan, V., Crossno, J., Pollard, B., Walsh, D., Bohonek, R., Marden, J.R. (2024) Utilizing load shifting for optimal compressor sequencing in industrial refrigeration. *arXiv preprint*.
4. Phongsavath, A. et al. (2017) The study of coefficient of performance and energy efficiency of the 50 tons tube ice maker machine. *Energy Procedia*, 138.
5. Nakornsri, S., Suntivarakorn, R., Thanutwuthigorn, K. (2014) Performance improvement of tubular-ice making machine by reducing the feed water temperature with shell and tube heat exchanger. *Applied Mechanics and Materials*, 564, 298-302.
6. Tang, H., Yu, J., Geng, Y., Liu, X., Lin, B. (2023) Optimization of operational strategy for ice thermal energy storage in a district cooling system based on model predictive control. *Journal of Energy Storage*, 62, 106872.
7. Shittu, R., Titiladunayo, I. (2018) Experimental investigation of the performance and energy consumption of an automated ice-cube making machine. *Journal of Engineering Research and Reports*, 3, 1, 1-12.
8. Grant Ice Systems. How do the ice machine evaporators work. Retrieved 23 February 2026 from <https://www.grant-ice.com/how-do-the-ice-machine-evaporators-work/>
9. Mota-Babiloni, A., Navarro-Esbrí, J., Peris, B., Molés, F., Verdú, G. (2015) Experimental evaluation of R448A as R404A lower-GWP alternative in refrigeration systems. *Energy Conversion and Management*, 105, 756-762.
10. Yashar, D.A., Park, K.J. (2011) Energy consumption of automatic ice makers installed in domestic refrigerators. NIST Technical Note 1697. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 47.
11. Haider, I., Feng, H., Radermacher, R. (1996) Experimental results of a household automatic icemaker in a refrigerator/freezer. *ASHRAE Transactions*, 102, 1, 541-545.
12. Angelo, K., Fulenwider, D. (2007) A field study to characterize water and energy use of commercial ice-cube machines and quantify saving potential. San Ramon (CA): Fisher-Nickel Inc., 36.
13. Murgham, H., Myszka, D.H., Bahel, V., Rajendran, R., Knapke, K., Shivashankar, S., Wynn, K. (2016) Simulation model of an automatic commercial ice machine. *Proceedings of the ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE)*, 4, V004T05A020.

-
14. **Norton, E.** (2000) A look at hot gas defrost. *ASHRAE Journal*, 42, 10, 88-94.
15. **Liu, Z., Tan, H.** (2019) Thermal performance of ice-making machine with a multi-channel evaporator. *International Journal of Green Energy*, 16, 7, 520-529.
16. **Liu, G. et al.** (2024) Frosting and defrosting characteristics of household refrigerators and freezers: Recent progress and perspectives. *Energy and Buildings*, 303, 113755.
17. **Aktekeli, B., Aktaş, M., Koşan, M., Güven, Y., Arslan, E.** (2024) Experimental investigation of a new defrosting technique for sustainable refrigeration system. *Thermal Science and Engineering Progress*, 54, 102849.
18. **Morozyuk, L., Moskin, V.** (2025) Experimental analysis of the operation of an industrial ice generator. *Refrigeration engineering and technology*, 61(3), 238-249.
-

Received 23 February 2026

Approved 03 March 2026

Available in Internet 31 March 2026