

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.575(088.8)

Підвищення енергетичної ефективності абсорбційних холодильних приладів

О. С. Титлов¹, Т. І. Гратій²¹⁻² Одеський національний технологічний університет, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна✉ e-mail: ¹titlov1959@gmail.comORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>; ²<https://orcid.org/0000-0002-3525-8410>

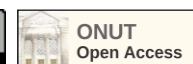
В статті розглядається інтенсифікація процесів конвективного теплообміну на зовнішніх поверхнях теплорозсіювальних елементів холодильної машини або агрегату. Максимальний ефект інтенсифікації зовнішнього конвективного теплообміну має місце в абсорбційному холодильному агрегаті (АХА). В абсорбері здійснюється переохолодження водоаміачного розчину (ВАР), підвищене очищення та зниження температури парогазової суміші (ПГС), що надходить у випарник АХА, а в конденсаторі – переохолодження рідкого аміаку на вході у випарник АХА. Інтенсифікацію конвективного теплообміну здійснювали за допомогою установки кожуха на задній стінці холодильної шафи. Кожух дозволяє організувати теплий повітряний вертикальний стовп і збільшити швидкість повітряного потоку в зоні розташування теплорозсіювальних елементів. З урахуванням складності математичного моделювання процесів природної конвекції на елементах АХА було проведено експериментальні дослідження. Об'єктом експериментальних досліджень став абсорбційний холодильний прилад «Кристал» виробництва Васильківського заводу холодильників. Холодильний прилад містить низькотемпературне відділення (НТВ) об'ємом 11 дм³ та холодильну камеру (ХК) об'ємом 144 дм³. В процесі експериментальних досліджень було зафіксовано зниження добового енергоспоживання АХА на 7,6 % (ширина кожуха 150 мм) та на 21 % (ширина кожуха 170 мм). Результати проведених експериментальних досліджень способів інтенсифікації дозволив розробити нові конструкції комбінованого побутового приладу – абсорбційного холодильного приладу з нагрівальною камерою. Подача теплового навантаження від дефлегматора до нагрівальної камери здійснювалося за допомогою двофазного термосифона (ДФТС). Випробування показали, що в режимі компенсації теплових втрат нагрівальної камери в навколишнє середовище добове енергоспоживання АХА за 6 годин та 12 годин роботи склало 1,536 кВт·год та 1,564 кВт·год відповідно, тобто не перевищувало значень 1,65 кВт·год згідно з нормативним документом.

Ключові слова: Абсорбційний холодильний прилад; Абсорбційний холодильний агрегат; Інтенсифікація конвективного теплообміну; Енергозбереження; Утилізація скидного тепла холодильного циклу; Додаткова нагрівальна камера

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v58i4.2569>

© The Author(s) 2022. 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

Одним із напрямів підвищення енергоефективності в холодильній техніці є інтенсифікація про-

цесів конвективного теплообміну на зовнішніх поверхнях теплорозсіювальних елементів холодильної машини або агрегату [1].

Особливе значення це має для холодильних

агрегатів побутової техніки, де як правило відведення тепла холодильного циклу, проходить в режимі природної конвекції. При цьому як показує аналіз, частка променистого теплообміну через невелику різницю температур із зовнішнім повітрям (15-20 °С) незначна [2].

У холодильних агрегатах компресійного типу тепло відводиться від конденсатора, в абсорбційних – від конденсатора, абсорбера та дефлегматора. Якщо в першому випадку ефект від застосування способів інтенсифікації конвективної тепловіддачі, зокрема і з допомогою роботи вентиляторів, значний [1,3], то в другому немає однозначної думки про доцільність їх застосування [4].

Слід особливо наголосити на позитивних моментах в інтенсифікації процесів зовнішнього конвективного теплообміну в елементах абсорбційного холодильного агрегату (АХА).

В абсорбері має місце переохолодження водоміачного розчину (ВАР) і, відповідно – підвищене очищення та зниження температури парогазової суміші (ПГС), що надходить у випарник АХА, а для конденсатора – переохолодження рідкого аміаку також на вході у випарник АХА. Як показав теоретичний аналіз, це дозволяє підвищити холодопродуктивність випарника АХА без збільшення теплового навантаження, що підводиться на генератор АХА, тобто підвищити енергетичну ефективність абсорбційних холодильних приладів

Так, наприклад, для охолодження очищеної ПГС у всіх моделях холодильників фірми Sibir з об'ємом понад 180 дм³ встановлена додаткова петля в контурі природної циркуляції між випарником і абсорбером АХА [5].

У той же час абсорбційні холодильні прилади з інтенсифікацією зовнішнього конвективного теплообміну на теплорозсіювальних елементах не знайшли широкого застосування у продукції провідних виробників.

Як показав аналіз, така ситуація пов'язана з відсутністю значущого ефекту енергозбереження при використанні інтенсифікуючих впливів. Аналіз результатів відомих досліджень та технічних пропозицій показав, що в них не звертали уваги, по-перше, на геометричні параметри витяжного кожуха, що закриває теплорозсіювальні елементи АХА, а по-друге – на вплив зовнішньої тепловіддачі на режими роботи дефлегматора.

У дефлегматорі АХА, навпаки, інтенсифікація зовнішнього конвективного теплообміну буде при-

зводити до додаткового зрідження пари аміаку на шляху руху в конденсатор і випарник АХА і, відповідно, до зниження холодопродуктивності абсорбційного холодильного приладу.

Просторова складність типових конструкцій конденсатора та абсорбера АХА, на прикладі моделей Васильківського заводу холодильників (рис.1) [6] не дозволяє достовірно розрахувати параметри повітряного потоку у витяжному кожусі, а найбільш прийнятним у цьому випадку є метод експериментальних досліджень.

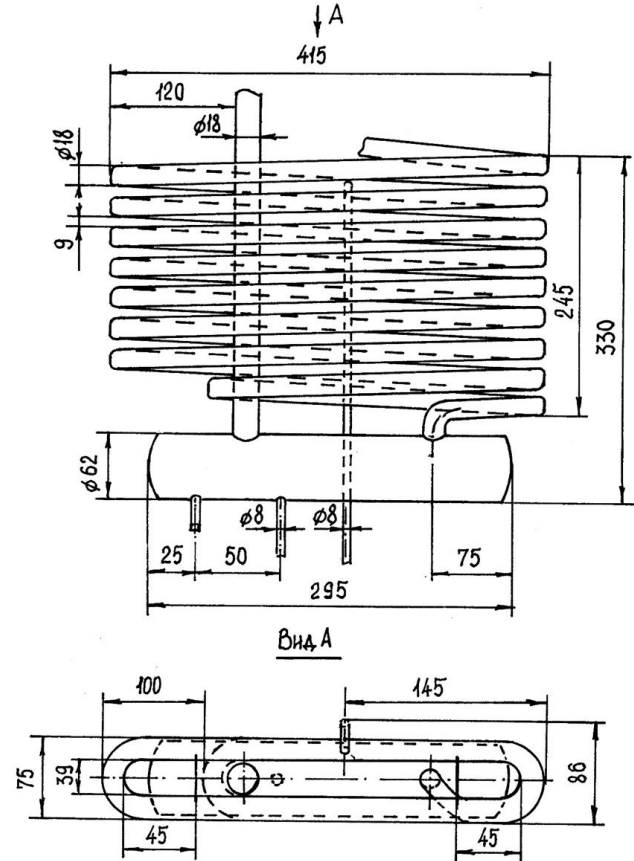


Рисунок 1 – Типова конструкція змійникового абсорбера АХА для моделей АШ-155, АШ-160 Васильківського заводу холодильників

2. Результати експериментальних досліджень та їх аналіз

Об'єктом досліджень був абсорбційний холодильний прилад «Кристал-404-1» АШ-155 виробництва Васильківського заводу холодильників. Холодильний прилад містить низькотемпературне відділення (НТВ) об'ємом 11 дм³ та холодильну камеру (ХК) об'ємом 144 дм³.

Витяжний кожух у процесі експериментальних досліджень встановлювали на задній стінці холодильної шафи так, щоб повністю закривати задню стінку з навісним АХА (рис. 2) [7].

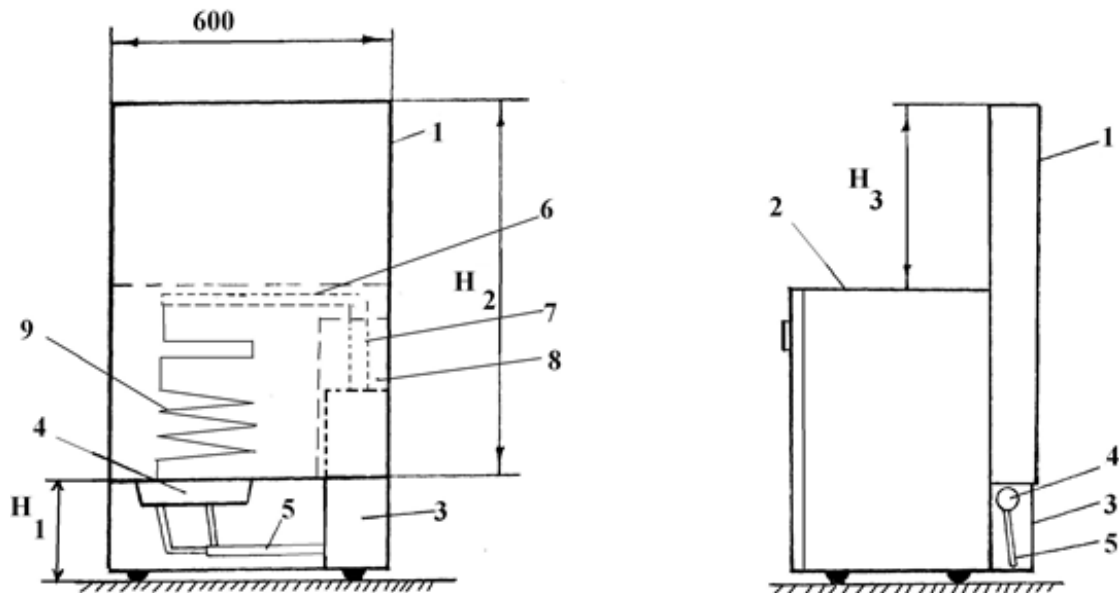


Рисунок 2 – Об'єкт досліджень – серійний холодильник «Кристал-404-1»: 1 – витяжний кожух; 2 – корпус; 3 – генераторний вузол; 4 – бачок абсорбера (ресивер міцного розчину); 5 – рідинний теплообмінник; 6 – конденсатор; 7 – дефлегматор; 8 – повітряна порожнина у зоні розташування дефлегматора; 9 – абсорбер. Конденсатор та абсорбер розташовані у внутрішній порожнині витяжного кожуха.

Ширина каналу повітряного потоку у процесі проведення експериментальних досліджень становила 100, 150 та 170 мм. За ширини 100 мм стінка витяжного короба прилягала до елементів АХА. Висота кожуха над холодильником (H_3) змінювалася: 0, 400 та 800 мм.

Експериментальні дослідження проводилися на стендовому обладнанні кафедри нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики ОНТУ.

Експериментальна установка містить систему вимірювання та реєстрації температур, систему підведення, стабілізації електричної потужності та досліджуваний зразок АВТ [8] (рис.3). Електронагрівач АВТ пов'язаний із системою підведення, регулювання, стабілізації та вимірювання електричної потужності.

Подача електричної потужності на регулятор 3, у ролі якого використовується ЛАТР-2, відбувається через стабілізатор напруги В2-3 4 і реєструється за допомогою вимірювального комплексу К-50 5.

Усі температури в характерних точках об'єкта дослідження вимірювалися згідно з наведеною вище методикою за допомогою терморезисторів Pt1000 4, а їх комутація здійснюється на автоматизовану систему вимірювань, реєстрації та управління типу «Fenix» 5 (рис.4).

Проведено оцінку похибки вимірювання температури, електричної потужності та добового споживання електроенергії показали, що абсолютна похибка вимірювання складає відповідно, не

вище $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, не більше $0,5\text{ Вт}$, не більше $0,01\text{ кВт}\cdot\text{год/добу}$.

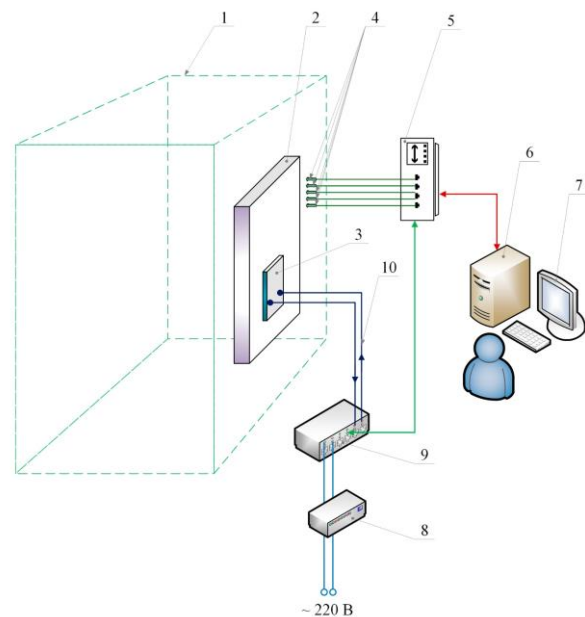


Рисунок 3 – Схема експериментальної установки: 1 – термокамера; 2 – АВТ; 3 – джерело теплового навантаження – стандартний ніхромовий електронагрівач; 4 – датчики температур; 5 – автоматизована система вимірювання, реєстрації та управління типу «Fenix»; 6 – ПК; 7 – монітор ПК; 8 – стабілізатор електричної напруги типу «В2-3»; 9 – система підведення та регулювання електричного навантаження в генераторі-термосифоні АВТ; 10 – електропроводка.



Рисунок 4 – Автоматизована система вимірювання, реєстрації та управління типу «Fenix»

У процесі експериментальних досліджень вимірювалися величини температур у характерних точках елементів АХА, холодильної шафи та температури навколишнього повітря, у тому числі й усередині витяжного кожуха. У НТВ дві хромелькапелеві термомпари були рівномірно віддалені від бічних стінок на 100 мм і один від одного на 150 мм. Відстань від стелі ХК до верхньої термомпари складала 200 мм. Між верхньою та нижньою термомпарами у ХК – 150 мм.

Вимірювання температурного поля повітряного потоку проводилося за схемою, наведеною на рис. 5

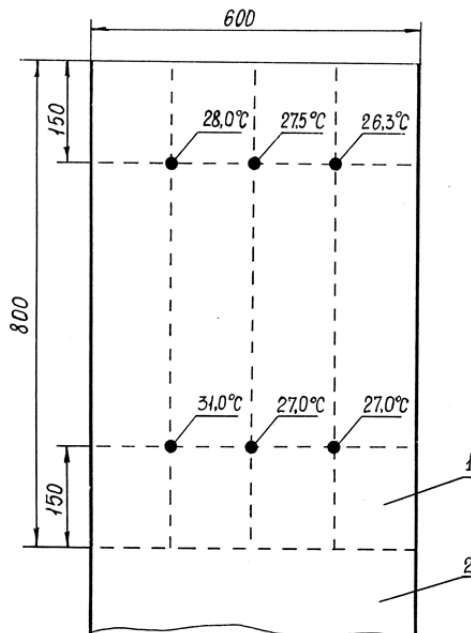


Рисунок 5 – Температурне поле повітряного потоку у витяжному кожусі при температурі повітря у приміщенні 25 °C з максимальною висотою кожуха: 1- витяжний кожух; 2 – холодильна шафа.

При виході холодильника режим за допомогою крильчатого анемометра вимірювалася швидкість повітряного потоку.

При роботі без витяжного кожуха вимірювання швидкості проводилося на висоті 60 мм від теплорозсіювальних елементів АХА (конденсатора, абсорбера та ізоляційного кожуха генератора). Вимірювання швидкості повітряного потоку при встановленні кожуха проводилося у трьох зонах по довжині конденсатора на виході каналу (рис.6).

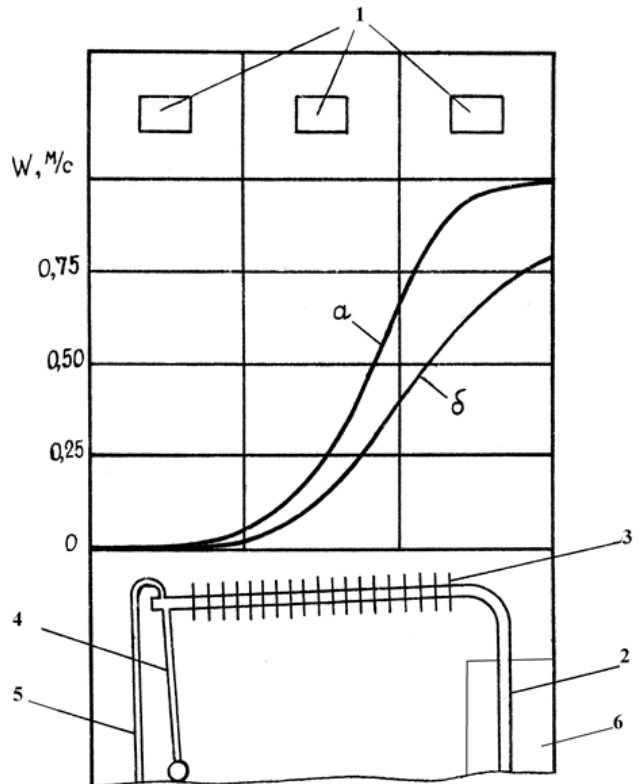


Рисунок 6 – Профіль зміни швидкостей повітряних потоків під час проведення досліджень. Температура повітря у приміщенні: а) 19 °C; б) 25 °C; 1 – місця встановлення анемометрів; 2 – дефлегматор; 3 – конденсатор; 4 – канал рідкого аміаку; 5 – зрівняльна магістраль; 6 – повітряна порожнина у зоні розташування дефлегматора

Виміри швидкості повітряного потоку при роботі абсорбційного холодильного приладу без витяжного кожуха показали, що за допомогою крильчатого анемометра швидкість повітряного потоку над абсорбером і теплоізоляційним кожухом генераторного вузла не фіксувалася (нижня межа чутливості анемометра становить 0,10).

Швидкість повітря фіксувалася тільки в зоні конденсатора, що має максимально високу температуру з усіх типів теплорозсіювальних елементів АХА (до 52°C). Максимальна швидкість потоку, як і слід було очікувати, була на початковій (най-

більш нагрітій) ділянці конденсатора – 0,50 м/с. У середній частині конденсатора на довжині 200 мм швидкість повітря змінювалася від 0,38 до 0,28 м/с.

У разі встановлення витяжного кожуха характер розподілу повітряного потоку не змінився. На початковій ділянці конденсатора АХА також фіксувалася максимальна швидкість потоку, потім зниження, але в останній третині (200 мм) швидкість не фіксується. За рахунок збільшення виштовхувальної сили, при організації руху повітряного потоку в підйомному каналі зросли абсолютні величини швидкостей. Так, у внутрішній порожнині кожуха шириною 170 мм при температурі повітря в приміщенні 19 °С максимальна швидкість складала 0,98 м/с, а при температурі 24 °С – 0,78 м/с. Збільшення величини швидкості тут пов'язане зі зростанням різниці температур між нагрітим повітрям і зовнішнім повітрям і відповідною різницею густин.

Одночасно проводилися вимірювання температурного поля висотою витяжного кожуха. Результати досліджень при максимальній висоті витяжного кожуха наведено на рис. 6. Показано, що максимальні температури потоку перебувають у перерізі над початковою ділянкою конденсатора.

Проведені дослідження підтвердили попередній аналіз необхідності блокування зони дефлегматора від повітряних потоків.

Для цього повітряний потік у кожусі відокремлювався від зони дефлегматора перегородкою (рис. 2). В іншому випадку спостерігалася зниження холодопродуктивності АХА від 8 до 14%.

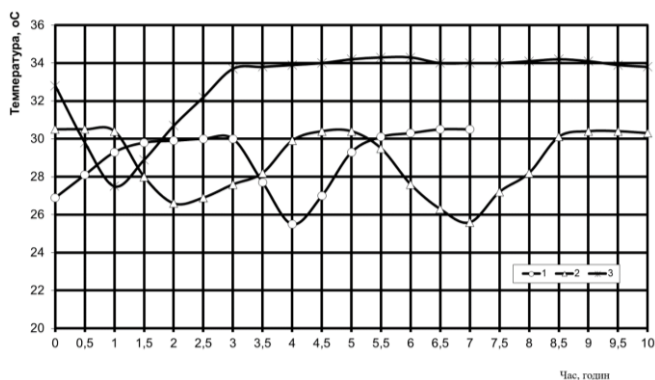


Рисунок 7 – Зміна температури абсорбера в часі (регулятор знаходиться в крайньому положенні – безперервний режим роботи): 1, 2 – режими роботи з витяжним кожухом; 3 – робота без витяжного кожуха. Ширина кожуха: 1 – 150 мм; 2 – 170 мм

Установка витяжного короба дозволила організувати інтенсивний рух повітряного середо-

вища в нижній частині абсорбера (рис. 7), що сприятливо позначилося на рівні температур абсорбера, ступені очищення ПГС і, в кінцевому рахунку, на холодопродуктивності АХА.

Відповідні рівні температур у НТВ та ХК представлені на рис. 8-9.

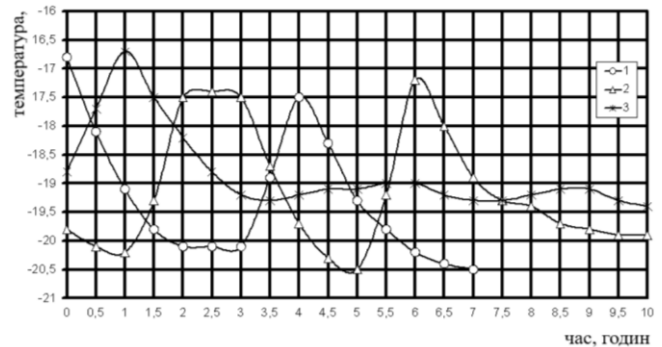


Рисунок 8 – Зміна середньої температури НТВ в часі (регулятор знаходиться в крайньому положенні – безперервний режим роботи): 1, 2 – режими роботи з витяжним кожухом; 3 – робота без витяжного кожуха. Ширина кожуха: 1 – 150 мм; 2 – 170 мм

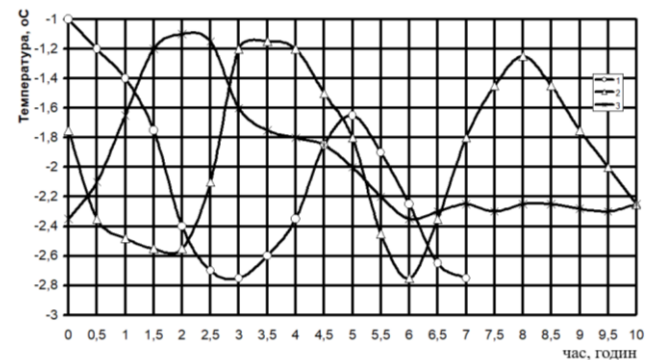


Рисунок 9 – Зміна середньої температури ХК в часі (регулятор знаходиться в крайньому положенні – безперервний режим роботи): 1, 2 – режими роботи з витяжним кожухом; 3 – робота без витяжного кожуха. Ширина кожуха: 1 – 150 мм; 2 – 170 мм

Дослідження показали, що висота зони забору повітря повинна бути на рівні бачка абсорбера. Це знижує гідравлічний опір при проході повітря через внутрішню порожнину кожуха і дозволяє повітрю з приміщення безпосередньо контактувати з абсорбером АХА.

Зростання холодопродуктивності АХА пов'язане зі збільшенням ступеня очищення ПГС в абсорбері та зниженням її температури. Зниження рівня температур на абсорбері при роботі холодильника з кожухом становить приблизно 4 °С (на-

вколишнє повітря мало температуру 25 °С). На відміну від традиційної схеми роботи холодильника, при використанні витяжного кожуха в режимі «регулятор в положенні 7» (безперервний режим роботи) забезпечувалося періодичне відключення генераторного вузла, при цьому середній рівень температур у камерах не перевищував температур при безперервній роботі.

При роботі з вищою холодопродуктивністю в позиційному режимі управління за рахунок періодичного відключення джерела електричної потужності було зафіксовано зниження добового енергоспоживання на 7,6 % (ширина кожуха 150 мм) та на 21 % (ширина кожуха 170 мм).

Досвід проведених експериментальних досліджень інтенсифікуючих способів дозволив розробити нові конструкції комбінованого побутового приладу – абсорбційного холодильного приладу з нагрівальною камерою.

3. Розробка нових конструкцій комбінованих абсорбційних холодильних приладів з нагрівальною камерою

Нова конструкція була розроблена на базі моделі абсорбційного холодильного приладу з нагрівальною рідинною камерою (рис. 10).

Для підтвердження результатів експериментальних досліджень щодо інтенсифікації зовнішнього конвективного теплообміну було проведено відповідні дослідження комбінованого абсорбційного холодильного приладу з нагрівальною камерою. Висота кожуха становила 1400 мм, повітряний прошарок 170 мм.

Подача теплового навантаження на нагрівальну камеру здійснювалося двофазним термосифоном (ДФТС) [11].

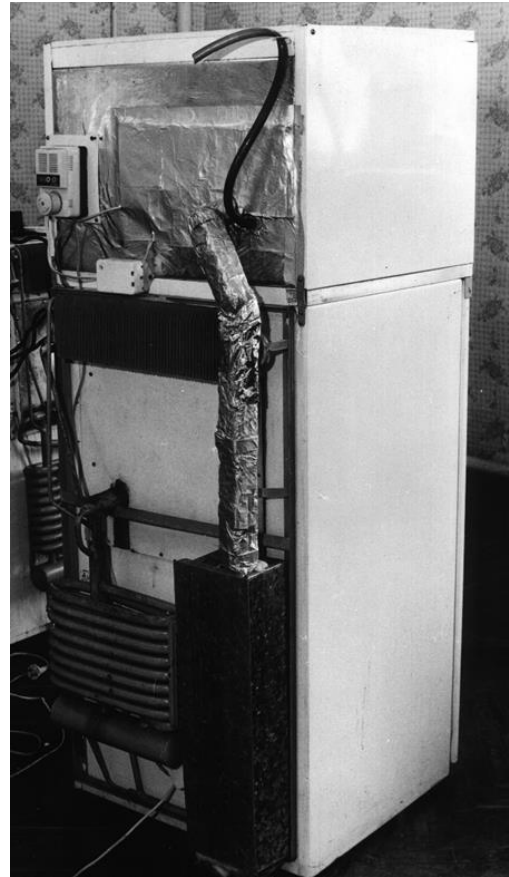


Рисунок 10 – Вид ззаду комбінованого абсорбційного холодильного приладу з нагрівальною рідинною камерою (витяжний кожух знятий)

У процесі проведення випробувань фіксувалися:

- температури у характерних точках холодильної шафи, нагрівальної камери та АХА;
- теплова потужність, що підводиться до генератора АХА;
- температура навколишнього середовища;
- добове енергоспоживання згідно з нормативним документом [10].

Результати випробувань наведено у таблицю.

Таблиця – Протокол випробувань комбінованого абсорбційного холодильного приладу з рідинною нагрівальною камерою (заправка АХА – 36,5 %, початковий тиск 15,5 бар, абсорбер – діаметром 18x1,5 мм з внутрішньою насічкою)

Час роботи, година	Теплова потужність генератора, Вт	Температура у характерних точках			
		НТВ	ХК	Нагрівальна камера	Довкілля
1	2	3	4	5	6
Нагрівальна камера заповнена 30 літрами води з температурою 21 °С					
0,5	110	-18	0	24,0	32,2
4	110	-17,8	-0,2	42,0	32,0
7,8	75	-17,0	5,8	53,5	25,5

Продовження таблиці

Час роботи, година	Теплова потужність генератора, Вт	Температура у характерних точках			
		НТВ	ХК	Нагрівальна камера	Довкілля
1	2	3	4	5	6
Протягом 9,5 годин роботи з тепловим навантаженням генератора 110 Вт, додатковий нагрівач вимкнено					
9,5	110	-22,0	-4,8	56,5	26,0
Перехід на теплове навантаження генератора 60 Вт					
1,0	60	-21,1	-1,9	56,0	25,0
5,6	60	-20,1	3,0	54,5	25,1
8,5	60	-19,9	4,2	53,5	25,2
Протягом 16 годин робота теплового навантаження генератора 110 Вт, додатковий нагрівач вимкнено					
16	110	-22,2	-4,9	48,0	25,1
Температура води 9,5 °С. Протягом години працював додатковий нагрівач					
1	110	-16,9	-1,1	13,0	32,0
4,8	110	-16,2	-0,2	16,5	32,5
10	110	-16,0	0,0	19,0	33,0
25,4	110	-16,9	-0,5	27,5	32,1
36,4	110	-16,0	-0,1	31,0	32,2
Протягом 10 годин робота зі змінною температурою навколишнього повітря					
46,7	110	-18,0	-1,0	34,5	29,2
Ручка терморегулятора у положенні «1,5»					
59	0	-12,8	5,2	35,5	25,1
59,8	110	-18,2	5,0	35,5	25,5
60,0	0	-13,2	5,2	35,5	25,5
61,1	110	-18,0	5,0	35,5	25,2

Примітка: за час роботи апарату добова витрата електроенергії склала 1,564 кВт·год.

Аналіз результатів показує, що на першому етапі мали місце значні тепловтрати від генератора через конструктивні недоробки – достатнього заповнення кожуха ізоляцією.

Це призвело до часткового зниження холодної потужності у ХК. Так, при 90 Вт теплової потужності, що підводиться, рівень температур у ХК у першому випадку становив у середньому 6...7 °С, а у другому випадку – 3...3,5 °С і не перевищував 3,8 °С. Проведені вимірювання показали, що при постійному режимі роботи, теплової потужності на генераторі 70 Вт, температурі навколишнього повітря 25 °С, температурі в НТВ -18...-19 °С, а ХК - 4,0 ... 4,5 °С, величина добового енергоспоживання склала 1,68 кВт·год, що відповідає вимогам нормативного документа [10].

Температура в нагрівальній камері під час роботи АХА з тепловим навантаженням генератора 86...110 Вт становила 43...46 °С. Вихід на стаціонарний режим незавантаженої нагрівальної ка-

мери здійснювався за 4 години при навантаженні на генераторі 110 Вт та температурі навколишнього повітря 32 °С. Для скорочення часу виходу режим було передбачено додатковий нагрівач потужністю 190 Вт.

При температурі 32 °С навколишнього повітря та 30 літрів води в нагрівальній камері підігрів води від 21 до 50 °С здійснювався за 5 годин. При цьому АХА працював у постійному режимі із тепловою потужністю на генераторі 110 Вт. Слід зазначити, що АХА працював із запасом холодопродуктивності (середні температури у ХК були нижчими 0 °С, а в НТВ наближалися до -18°С). Надалі у випробуваннях теплової потужності на генераторі була знижена до 75 Вт, додатковий нагрівач був вимкнений і був здійснений перехід з 32 до 25 °С навколишнього повітря.

Після цього зростання температури води в нагрівальній камері припинилося, проте падіння рівня температур в об'ємі води протягом 2-3 годин

зафіксовано не було. Звідси випливає, що компенсація теплових втрат із нагрівальної камери досягалася роботою ДФТС, закріпленим на підйомній ділянці дефлегматора АХА.

З теплового навантаження на генераторі АХА 75 Вт був здійснений перехід на 110 Вт і протягом 9,5 години холодильний прилад працював при температурі навколишнього повітря 25 °С.

Після цього було зафіксовано зростання температури води у нагрівальній камері з 53,5 до 56,5 °С.

Таким чином, ДФТС, що утилізує відведену теплоту циклу АХА, дозволяє підтримувати необхідний температурний режим нагрівальної камери на рівні 50...60 °С шляхом компенсації тепловтрат від її конструкції в навколишнє середовище.

Вивчався також режим роботи під час переходу з більшої потужності генератора 110 Вт на меншу (60 Вт). При температурі навколишнього повітря 25 °С. Протягом 8,5 годин роботи зафіксовано зниження рівня температур у нагрівальній камері з 56 до 53,5 °С, тобто у такому своєрідному «економному» режимі роботи не спостерігалось істотного зниження температур у корисному обсязі нагрівальної камери та рівень температур при цьому становив у ХК не вище 4 °С, а в НТВ близько -20°С.

Проведено вивчення динамічного нагріву корисного об'єму камери нагрівання без додаткового нагрівача.

Температура води у початковий момент становила 13,0 °С при температурі навколишнього повітря 32 °С. АХА працював на тепловій потужності генератора 110 Вт протягом 36 годин, після чого температура води в нагрівальній камері склала 31 °С. Температура в ХК при цьому не перевищувала 0 °С (режим роботи постійний), а у НТВ температура становила -16°С.

Ці результати випробувань показали, що робота ДФТС лише в режимі нагрівання корисного об'єму рідинної нагрівальної камери неефективна і потребує значного часу, що робить недоцільним використання такого режиму домашнього господарства та побуту.

У період пуску (початкового прогріву нагрівальної камери), як показали випробування, необхідне використання додаткового джерела теплової потужності, яке допоможе зробити початковий розігрів за 4,5...5,5 години (у разі використання води).

Випробування також показали, що в режимі компенсації теплових втрат нагрівальної камери в довілля добове енергоспоживання АХА за 6 го-

дин та 12 годин роботи склало, відповідно, 1,536 кВт·год і 1,564 кВт·год, тобто не перевищувало значень 1,65 кВт·год згідно з нормативним документом [10].

Таким чином, проведені випробування показали, що введення до складу абсорбційного холодильного приладу додаткової нагрівальної камери, пов'язаної у тепловому відношенні з дефлегматором АХА за допомогою ДФТС, не призводить до зростання добового енергоспоживання (за результатами випробувань навіть нижче на 5 %) та не погіршує експлуатаційних характеристик холодильного приладу.

Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень дозволив запропонувати нову конструкцію, яка дозволяє найефективніше використовувати температурний потенціал повітряного потоку, що виходить із зон теплорозсіювання АХА (рис.8).

Характерною відмінністю пропонованої конструкції є збільшений, порівняно з традиційними типорозмірами, вертикальний розмір. Це дозволить збільшити висоту стовпа нагрітого повітря у внутрішньому просторі кожуха і відповідно збільшити рушійну силу природної конвекції [12]. Запропоновано збільшити вертикальний розмір за рахунок встановлення додаткової камери нагрівання (камери підігріву) зверху основний (рис.11).

Пристрій містить вертикальну теплоізолювану шафу, розділений поярусно на ХК 1, НТВ 2, камеру нагрівання 3 і камеру підігріву 4.

На задній стінці шафи встановлений АХА, що включає гарячий вузол 5, дефлегматор 6, конденсатор 7, низькотемпературний 8 і високотемпературний випарники 9 (НТВ та ВТВ), встановлені в НТВ 2 і ХК 1 відповідно, абсорбер 10, абсорберний бачок 11, рідинний теплообмінник 12.

На задній внутрішній стінці нагрівальної камери встановлено конденсаторну ділянку 14, ДФТС 13, причому нагрівальна ділянка (на рис.11 не показана) пов'язана з дефлегматором АХА в об'ємі теплоізоляційного кожуха гарячого вузла 5.

На задній стінці корпусу встановлений кожух 15, що утворює витяжну порожнину 16, причому нагрівальна камера 3 і камера підігріву 4 мають витяжні порожнини і на бічних стінках (на рис.11 не показані). Камери – ХК 1, НТВ 2, нагрівальна камера 3 та камера підігріву 4 мають роздільні теплоізолювані двері 18, 19, 20, 21 відповідно.

Запропонований пристрій працює наступним чином.

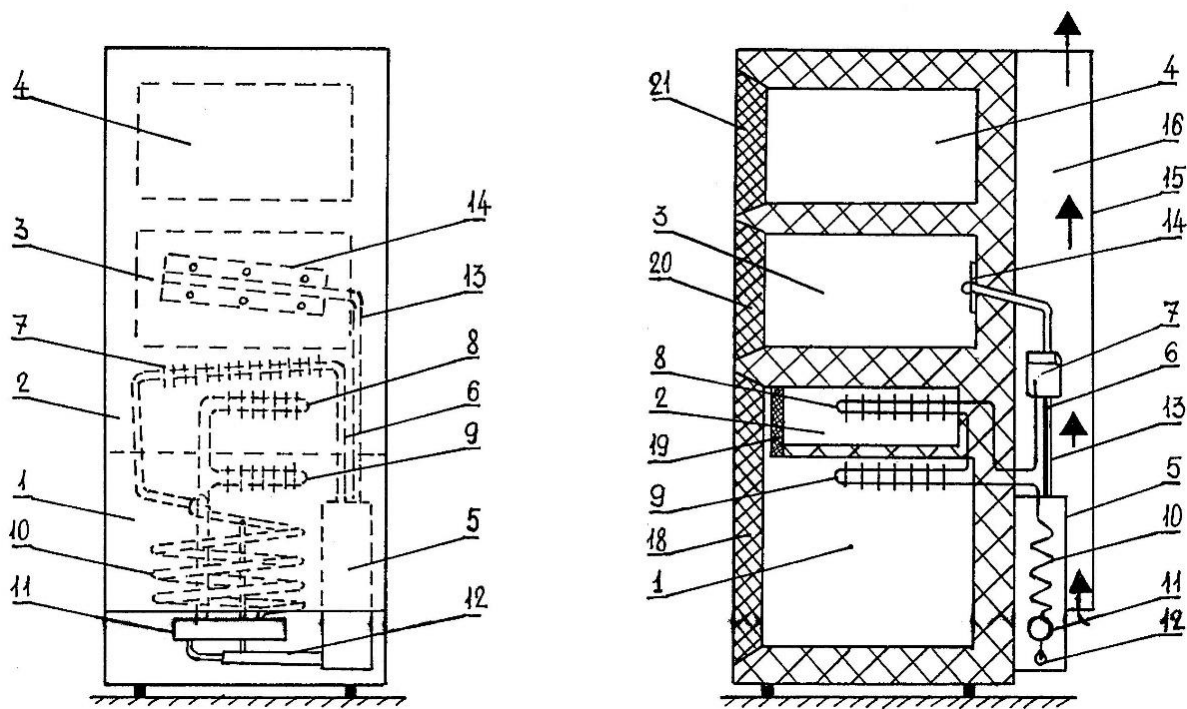


Рисунок 11 – Конструкція комбінованого абсорбційного холодильного приладу із двома нагрівальними камерами: а) вид ззаду; б) вид збоку (розріз); 1 – ХК; 2 – НТВ; 3 – нагрівальна камера; 4 – камера підігріву; 5 – генераторний вузол; 6 – дефлегматор; 7 – конденсатор; 8, 9 – випарники; 10 – абсорбер; 11 – бачок абсорбера; 12 – рідинний теплообмінник; 13 – ДФТС; 14 – конденсатор ДФТС; 15 – витяжний кожух; 16 – витяжна порожнина; 18-21 – теплоізовані двері камер

У процесі роботи АХА здійснюється виробництво штучного холоду в НТВ 6 і ВТВ 9, при цьому забезпечується охолодження НТВ 2 і ХК 1. Реалізація холодильного циклу АХА супроводжується розсіюванням тепла в навколишнє середовище з тепловантажених елементів – дефлегматора 6, конденсатора 7 і абсорбера 1. Очищення парів холодоагенту (аміаку) від парів абсорбенту (води) в дефлегматорі 6 здійснюється в процесі конденсації. Теплота фазового переходу передається випарній ділянці ДФТС, де відбувається генерація парів теплоносія. Пари теплоносія надходять у зону конденсації ДФТС 14, де зріджуються з відведенням теплоти пароутворення нагрівальну камеру 3. Цим забезпечується температурний режим камери 3 на рівні до 70 °С.

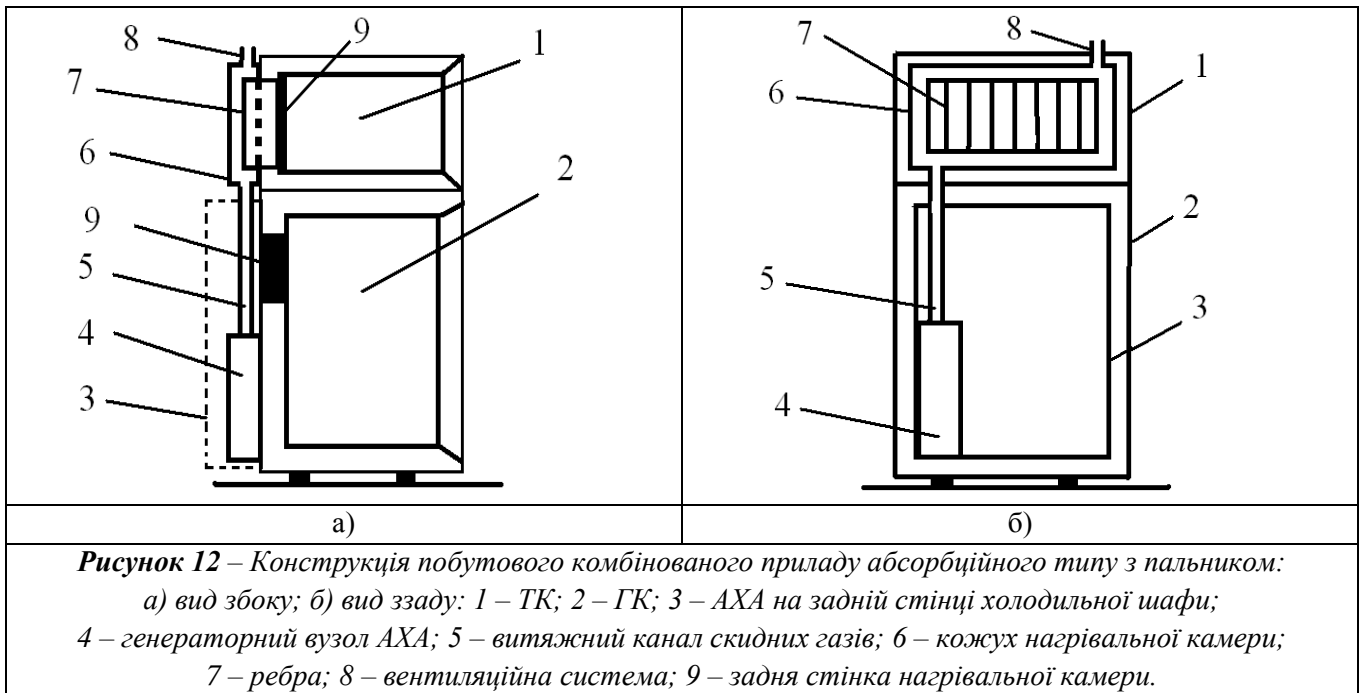
Наявність кожуха 15 на задній панелі шафи і біля бічних стінок нагрівальної камери 3 і камери підігріву 4 дозволяє організувати витяжні порожнини 16 і 17, що слугують для інтенсивної циркуляції повітря. Охолодження абсорбера 10 здійснюється в режимі вимушеної тяги, створюваної конденсатором 7 і ректифікатором 6.

Підігріте повітря омиває бічні та задні стінки нагрівальної камери 3 та камери підігріву 4, забезпечуючи зниження теплових втрат в навколишнє

середовище з нагрівальної камери 3 та камери підігріву 4.

Перспективною з точки зору використання непридатного тепла холодильного циклу представляється і схема комбінованого побутового апарату абсорбційного типу, в якій у якості джерела теплового навантаження генератора АХА використовується паликовий пристрій, а витяжний канал скидних газів, що мають температуру 350...450 °С [13], пов'язаний з теплосприймаючими поверхнями нагрівальної камери (рис. 12).

Задня стінка 9 внутрішнього корпусу нагрівальної камери 1 має зовнішні ребра 7 у вигляді вертикальних ребер. Скидні гази з генераторного вузла 4 теплоізованого каналу 5 надходять у кожух 6, встановлений на задній стінці нагрівальної камери 1, а потім виходять у вентиляційну систему по каналу 8. Як показали розрахунки, тепловий потік до нагрівальної камери від скидних газів може становити від 60 до 90 Вт, що перевищує можливості способу використання непридатного тепла циклу АХА. Недолік схеми з використанням тепла скидних газів пов'язаний з необхідністю частого очищення теплосприймаючих поверхонь нагрівальної камери від сажі, що утворюється в процесі експлуатації.



4. Висновки

Проведені експериментальні дослідження показали:

Установка витяжного кожуха з метою інтенсифікації процесів тепловіддачі на зовнішніх поверхнях теплоізолювальних елементів АХА дозволяє знизити добове енергоспоживання абсорбційних холодильних приладів, при цьому температури в НТВ та ХК практично не змінюються порівняно з холодильником традиційного виконання.

Температурний потенціал повітряного потоку у верхній частині витяжного кожуха дозволяє розширити функціональні можливості абсорбційних холодильників, наприклад, передбачити додаткову нагрівальну камеру для термічної обробки харчових продуктів, сировини та напівфабрикатів у побуті.

Отримані результати дозволяють рекомендувати повітряний кожух для встановлення на серійні моделі абсорбційних холодильників типу «Кристал» АШ-150 з висотою не менше 1400 мм, наприклад, комбіновані побутові прилади, що містять як холодильник, так і нагрівальну камеру.

Наявність витяжного кожуха, виконаного у вигляді фальш-панелі на задній стінці шафи, покращує зовнішній вигляд побутового приладу.

Особистий внесок авторів CRediT

Тітлов О.С.: концептуалізація, методологія, дослідження, формальний аналіз, написання – оригіна-

льний проект, адміністрування. **Гратій Т.І.:** перевірка, візуалізація, програмне забезпечення, написання – огляд та редагування.

Література

1. Селезньова Ю.А. Удосконалення теплоенергетичних характеристик побутових холодильників на основі дослідження повітря-теплообмінних процесів у їхньому компресорно-конденсаторному відділенні: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.14. – Одеса, 2002. – 277 с.
2. Тітлов О.С., Василів О.Б. Оптимізація конструкцій конденсаторів абсорбційно-дифузійних холодильних машин // Перспективні напрями розвитку екології, економіки, енергетики. – Одеса: ОЦНТЕІ, 1998. – С.140-144.
3. Бломберг П.Е. Заявка 0366633 ЄПВ, МКІ F25 В 15/10, F03 G 7/06. Абсорбційний холодильний апарат із вентиляторним охолодженням (Швеція). – Заявка №89850316.4; Заявл. 27.09.89; Опубл. 02.05.90.
4. Тітлов О.С., Завертаний В.В., Василів О.Б., Ленський Л.Р. Експериментальні дослідження температурно-енергетичних характеристик низькотемпературних камер на основі АДХМ // Тепло-ві режими та охолодження радіоелектронної апаратури. – 1998. – Вип.1. – С.60-67.
5. Steirlin H. Grose Reduction des Energieverbrauches bei den lautlosen Kuhlsschranksen – Eine neue Generation von Absorbtion Kuhlsschranksen // KiKli-

ma - Kalte -Heizung. –1980. – №9. – S. 363-368.

6. **Тітлов О.С.** Нові моделі побутової та торгової холодильної техніки на базі водоаміачних абсорбційно-дифузійних холодильних машин // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2003. – № 22. – С. 60-66.

7. **Тітлов О.С., Вольневич С.В., Войтенко О.К.** Розробка енергозберігаючих моделей холодильників абсорбційного типу // Холодильна техніка та продовольча безпека: зб. наук. тр. наук.-техн. конф. присвяченій 10-річчю Української філії Міжнародної академії холоду (Одеса, 22 грудня 2005 р.), (додаток до журналу «Холодильна техніка та технологія»). – 2005. – С. 31-38.

8. **Тітлов О.С., Осадчук Є.О.** Пошук енергоефективних режимів роботи систем отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів тепла і сонячних колекторів // Холодильна техніка та технологія. – 2020. – № 3-4. – С.78-91.

9. **Тітлов О.С., Козонова Ю.А., Приймак В.Г.** Розробка побутових комбінованих приладів аб-

сорбційного типу // Холодильна техніка та технологія. – 2018. – Т.54. – № 2. – С.10-24.

10. ДСТУ 3023-95 (ГОСТ 30204-95, ISO 5155-83, ISO 7371-85, ISO 8187-91). Прилади холодильні побутові. Експлуатаційні характеристики та методи випробувань. – Введено вперше 20.07.95. – К.: Держстандарт України, 1996. – 22 с.

11. **Гратій Т.І., Тітлов О.С.** Розробка апаратів для первинної термічної обробки і холодильного зберігання харчових продуктів // Холодильна техніка та технологія. – 2021. – Т.57. – № 3. – С.126-137.

12. **Морозюк Л.І.** Особливості розрахунку та конструювання парогазового теплообмінника абсорбційно-дифузійної холодильної машини // Холодильна техніка та технологія. – 1982. – №35. – С. 29-34.

13. **Titlov O., Vasyliv O., Sahala T., Bilenko N.** Evaluation of the prospects for preliminary cooling of natural gas on main pipelines before compression through the discharge of exhaust heat of gas-turbine units // EUREKA: Physics and Engineering. – 2019. – No. 5. – P. 47-55.

Отримана в редакції 28.10.2022, прийнята до друку 07.12.2022

Increasing the energy efficiency of absorption refrigeration appliances

Oleksandr Titlov^{✉1}, Tetiana Hratii²

¹⁻² Odesa National University of Technology, 112 Kanatnaya Str., Odessa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: ¹titlov1959@gmail.com

ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>; ²<https://orcid.org/0000-0002-3525-8410>

One of the ways to increase energy efficiency in refrigeration is to intensify the processes of convective heat transfer on the outer surfaces of the heat-dissipating elements of a refrigeration machine or unit. The maximum effect of the intensification of the processes of external convective heat transfer takes place in the absorption refrigeration unit (ARU). In the absorber, the supercooling of the water-ammonia solution, increased cleaning and lowering the temperature of the vapor-gas mixture entering the ARU evaporator is carried out, and in the condenser, liquid ammonia is supercooled at the inlet to the ARU evaporator. The intensification of convective heat transfer was carried out by installing a removable casing on the rear wall of the refrigerator. The casing allows you to organize a warm air vertical column and increase the speed of the air flow in the area where the heat-dissipating elements of the ARU are located. Taking into account the complexity of mathematical modeling of natural convection processes on ARU elements, experimental studies were carried out. The object of experimental research was the absorption refrigeration device "Crystal" produced by the Vasil'kovsky Refrigerator Plant. The refrigerating appliance contains a low-temperature compartment (LTC) with a volume of 11 dm³ and a refrigerating chamber (RC) with a volume of 144 dm³. In the process of experimental studies, a decrease in the daily energy consumption of ARU was recorded by 7,6 % (casing width 150 mm) and by 21 % (casing width 170 mm). The results of the experimental studies of intensifying methods made it possible to develop new designs of a combined household appliance – an absorption refrigeration appliance with a heating chamber. The heat load was supplied from the reflux condenser to the heating chamber using a two-phase thermosyphon. Tests have shown that in the mode of compensation of heat losses of the heating chamber to the environment, the daily energy consumption of ARU for 6 hours

and 12 hours of operation was 1.536 kWh and 1.564 kWh, respectively, i.e. did not exceed 1.65 kWh according to the regulatory document.

Keywords: Absorption refrigeration device; Absorption refrigeration unit; Intensification of convective heat exchange; Energy saving; Waste heat recovery of the refrigeration cycle; Additional heating chamber

References

1. **Seleznyova, Yu.A.** (2002) Improvement of thermal energy characteristics of household refrigerators based on the study of air-heat exchange processes in their compressor-condenser compartment: Diss. ... candidate technical Sciences: 05.05.14. Odesa, 277.
2. **Titlov, O.S., Vasyliv, O.B.** (1998) Optimizing the design of condensers of absorption-diffusion refrigerating machines. *Prospective directions of development of ecology, economics, energy. Odesa: OTSNTI, 140-144.*
3. **Blomberg, P.E.** Application 0366633 EPO, MKI F25 B 15/10, F03 G 7/06. Absorption refrigerator with fan cooling (Sweden). Application No. 89850316.4; Application 27.09.89; Publ. 02.05.90.
4. **Titlov, O.S., Zavertaniy, V.V., Vasyliv, O.B., Lensky, L.R.** (1998) Experimental studies of temperature and energy characteristics of low-temperature chambers based on ADHM. *Thermal regimes and cooling of radio-electronic equipment, 1, 60-67.*
5. **Steirlin, H.** (1980) Grose Reduction of energy consumption in silent refrigerators – A new generation of absorption refrigerators. *KiKlima – cold heating, 9, 363-368.*
6. **Titlov, O.S.** (2003) New models of household and commercial refrigeration equipment based on water-ammonia absorption-diffusion refrigerating machines. *Bulletin of the Kharkiv State Technical University of Agriculture, 22, 60-66.*
7. **Titlov, O.S., Volnevich, S.V., Voitenko, O.K.** (2005) Development of energy-saving models of absorption-type refrigerators. *Refrigeration technology and food safety: coll. of science tr. science and technology conf. dedicated to the 10th anniversary of the Ukrainian branch of the International Academy of Refrigeration (Odesa, December 22, 2005), (supplement to the magazine "Refrigeration Engineering and Technology"), 31-38.*
8. **Titlov, O.S., Osadchuk, E.O.** (2020) Search for energy-efficient modes of operation of systems for obtaining water from atmospheric air on the basis of absorption water-ammonia thermotransformers of heat and solar collectors. *Refrigeration engineering and technology, 3-4, 78-91.*
9. **Titlov, O.S., Kozonova, Yu.A., Pryimak, V.G.** (2018) Development of household combined appliances of the absorption type. *Refrigeration engineering and technology, 54, 2, 10-24.*
10. (1996) DSTU 3023-95 (GOST 30204-95, ISO 5155-83, ISO 7371-85, ISO 8187-91). Household refrigerating appliances. Performance characteristics and test methods. Introduced for the first time on 07/20/95. *K.: Derzhstandard of Ukraine, 22.*
11. **Hrati, T.I., Titlov, O.S.** (2021) Development of devices for primary heat treatment and cold storage of food products. *Refrigeration engineering and technology, 57, 3, 126-137.*
12. **Morozyuk, L.I.** (1982) Peculiarities of calculation and design of steam-gas heat exchanger of absorption-diffusion refrigerating machine. *Refrigeration engineering and technology, 35, 29-34.*
13. **Titlov, O., Vasyliv, O., Sahala, T., Bilenko, N.** (2019) Evaluation of the prospects for preliminary cooling of natural gas on main pipelines before compression through the discharge of exhaust heat of gas-turbine units. *EUREKA: Physics and Engineering, 5, 47-55.*

Received 28 October 2022
 Approved 07 December 2022
 Available in Internet 30 December 2022