

## ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 620.92:621.565.58

## Аналіз перспектив застосування абсорбційних холодильних систем з альтернативними джерелами теплової енергії

Л. В. Березовська<sup>1</sup>, О. С. Тітлов<sup>2</sup>✉<sup>1,2</sup>Одеський національний технологічний університет, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна✉ e-mail: <sup>2</sup>titlov1959@gmail.comORCID: <sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2896-9839>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>

*В галузі холодильної техніки вирішення задач ресурсо- та енергозбереження може бути досягнуто за рахунок використання відновлювальних джерел енергії, зокрема сонячної енергії. Об'єктом аналізу було обрано абсорбційні водоаміачні холодильні машини (АВХМ), що працюють від сонячної енергії. Аналіз режимних характеристик АВХМ показав, що основні проблеми, які треба вирішити при їх використанні в системах отримання води наступні: по-перше, розробити конструкції АВХМ з повітряним охолодженням теплорозсіювальних елементів; по-друге, запропонувати цикл, який можна було б реалізувати в умовах тропічних температур зовнішнього повітря на рівні температур традиційних водяних сонячних колекторів (80-100 °С). Виконано аналіз сучасного стану енергозберігаючих розробок холодильних машин абсорбційного типу. Показано, що АВХМ можуть вирішувати задачі штучного охолодження в діапазоні температур від -30 °С (тривале низькотемпературне зберігання продуктів тваринного та рослинного походження) до +5...7 °С (кондиціонування повітря) з використанням сонячної теплової енергії. При цьому вирішуються задачі усунення несприятливого техногенного впливу робочого тіла (водоаміачного розчину) на довкілля. Для створення енергозберігаючих схем АВХМ перспективно використовувати холодоакумуляуючі матеріали, електронні системи автоматичного керування, що забезпечують мінімальне енергоспоживання за зміни умов експлуатації (добові коливання температур сонячної енергії та атмосферного повітря). Підвищення енергетичної ефективності зовнішніх та внутрішніх процесів тепломасообміну в АВХМ може бути досягнуто за рахунок, відповідно, застосування теплових труб, двофазних термосифонів, зниження контактного термічного опору в зонах відведення та підведення тепла та оптимізації процесів циркуляції парогазової суміші в елементах парогазового контуру.*

**Ключові слова:** Ресурсо- та енергозбереження; Альтернативні джерела теплової енергії; Сонячна енергія; Абсорбційні водоаміачні холодильні машини; Підвищення енергетичної ефективності

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v59i1.2615>

© The Author(s) 2023. 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

Існуюча тенденція до виснаження паливно-енергетичних ресурсів, зростання цін на виробництво енергії та глобальні екологічні проблеми стимулюють необхідність впровадження енергозберігаючих технологій на основі відновлюваль-

них екологічно чистих джерел енергії. У цьому напрямі орієнтовані міжнародні програми INTAS і TASIC, проте частка нетрадиційних видів енергії, що використовуються для енергозберігаючих технологій, залишається незначною.

Більшість вчених схиляється до висновку, що визначальним фактором глобального потепління є

зростання парникового ефекту, збільшення впливу якого пов'язане зі зростаючою концентрацією парникових газів у атмосфері [1, 2]. Концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері нині приблизно на 30 % вище порівняно з доіндустріальним періодом розвитку цивілізації. Збільшилася концентрація в атмосфері та інших парникових газів: метану (приблизно на 150 %), закису азоту, хлорфторвуглеводнів, аерозолів, що утворюються при спалюванні палива, яке містить сірку. Природа не в змозі впоратися з антропогенним впливом викидів парникових газів, так як їх кількість набагато вища за її адаптаційні можливості та значно перевищує максимально можливу розімкненість біотичного кругообігу для діоксиду вуглецю та інших парникових газів.

Прогноз Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (Міжурядовий комітет зі зміни клімату) на найближче майбутнє виглядає досить песимістично. Основні його положення зводяться до [1].

Думка експертів IPCC полягає в тому, що глобальне потепління спричинене людською діяльністю (викиди парникових газів, спалювання викопного палива):

– висновок у доповіді від 2001 року – понад 66% експертів;

– висновок у доповіді від 2007 року – понад 90% експертів;

– 11 з останніх 12 років, відколи у 1850 році почали надійно фіксувати дані, – найтепліші;

– концентрація вуглекислого газу сьогодні на 35 % вища за доіндустріальний рівень.

Стратегія IPCC зводиться до трьох рекомендацій:

а) підвищення ефективності використання енергії;

б) перехід на відновлювальні джерела енергії;

в) порятунок лісового покриву землі, як природної «пастки» для вуглецю.

За оцінками експертів, очікується збільшення середньої глобальної температури повітря на поверхні Землі до 2100 року на 1,0-3,5 °С, порівняно з 1990 роком, та підвищення рівня Світового океану приблизно на 15-95 см від сьогоднішнього рівня (за різними оцінками – середня глобальна температура за період з 1990 року до 2100 року може збільшитися на 1,4-5,8 °С). Необхідно відзначити, що коливання середньоглобальної температури за останні 300 тисяч років не перевищували 7 °С, а перехід від останнього льодовикового періоду, максимум якого спостерігався 20 тисяч років то-

му, супроводжувався підвищенням середньоглобальної температури лише на 5 °С.

Вже після опублікування доповіді IPCC, у квітні 2007 року, у Proceedings of the National Academy of Sciences USA опубліковано повідомлення, що викиди вуглекислого газу у світі в період від 2000 до 2004 рр. збільшилися втричі, порівняно з рівнем 1990-х років, з 1,1 до 3,2% на рік, тобто фактичний глобальний викид після 2000 р. зростає швидше, ніж у найпесимістичнішому сценарії IPCC.

На конференції ООН з довілля 1992 року у Ріо-де-Жанейро було декларовано принцип екологічного розвитку (Sustainable development), тобто концепція «самовідновлювального» чи «стійкого» розвитку [3]. У рамках цього принципу контроль за емісією парникових газів (і насамперед CO<sub>2</sub>) є пріоритетним напрямком.

З метою скорочення емісії парникових газів на третій сесії конференції сторін UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change – об'єднаної національної конвенції зі зміни клімату) у грудні 1997 р. в Кіото (Японія) було прийнято Кіотський протокол [4]. У ньому сформульовано стратегію для різних країн щодо обмеження антропогенної емісії основних парникових газів, таких як CO<sub>2</sub> – вуглекислий газ, N<sub>2</sub>O – закис азоту, CH<sub>4</sub> – метан, ГФУ та SF<sub>6</sub> – гексафторид сірки. Виконання положень Кіотського протоколу має призвести до стабілізації концентрації парникових газів у атмосфері лише на рівні, безпечному клімату Землі. Цей рівень з одного боку має бути достатнім для забезпечення можливості природної адаптації екосистеми до кліматичних змін, а з іншого – повинен гарантувати, що його досягнення не загрожуватиме виробництву продуктів харчування. При цьому має зберігатися можливість продовження екологічного економічного розвитку.

За оцінками кліматологів, критична швидкість зміни середньоглобальної температури не повинна перевищувати 0,1 °С у десятиліття, а середньоглобальна температура не повинна бути більш, ніж на 1 °С вищою за температуру в доіндустріальний період розвитку цивілізації. Рівень Світового океану повинен бути не більшим, ніж на 20 см вище, порівняно з рівнем у той же період.

Тому державам-членам Європейської Співдружності настійно рекомендується вводити нові законодавчі акти в галузі екології, такі як вуглецевий податок, посилювати норми допустимої емісії галоїдопохідних холодоагентів [3] та оподаткування на випуск обладнання з низьким класом

енергетичної ефективності [4]. Вочевидь, що ухвалена на конвенції в Кіото програма з обмеження викидів парникових газів сприятиме появі законодавчих актів, спрямованих на збереження енергетичних ресурсів, розробку ефективних технологій, подальше вдосконалення нормативної бази енергоспоживання. Слід зазначити, що значна частина основного парникового газу ( $\text{CO}_2$ ), а також велика кількість  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  та інших шкідливих речовин потрапляє в атмосферу при виробництві електричної енергії на теплових станціях. В атмосферу Землі щорічно викидається близько  $5 \cdot 10^9$  т діоксиду вуглецю,  $0,15 \cdot 10^9$  т двоокису сірки,  $50 \cdot 10^6$  т оксидів азоту,  $20 \cdot 10^6$  т твердих частинок [4].

Слід наголосити, що ресурсо- та енергозбереження є двома сторонами єдиного процесу: з одного боку вони ведуть до зниження емісії парникових газів та оздоровлення навколишнього середовища, з іншого боку – до досягнення екологічної збалансованості у функціонуванні національної економіки. Радикальним механізмом економічного впливу на реалізацію політики охорони навколишнього середовища є жорстка еколого-енергетична експертиза виробництв та розробка механізму економічних санкцій за перевищення квот на емісію парникових газів. Тож для комплексної оцінки впливу промисловості на довкілля необхідна розробка відповідного нормативно-методичного забезпечення.

Одним із важливих моментів розробки багатифункціональних абсорбційних сонячних систем є розширення сфери їх застосування.

Як найбільш перспективний напрям при розробці систем отримання води з атмосферного повітря може бути використання модернізованих абсорбційних водоаміачних холодильних машин (АВХМ), що працюють від сонячної енергії. Одним із перспективних напрямків є можливість використання існуючої інфраструктури сонячних нагрівачів води, сумарний обсяг площ колекторів яких у світі понад 110 млн. м<sup>2</sup>.

Аналіз режимних характеристик АВХМ показав, що основні проблеми, які треба вирішити при їх використанні в системах отримання води наступні: по-перше, розробити конструкції АВХМ з повітряним охолодженням теплорозсіювальних елементів; по-друге, запропонувати цикл, який можна було б реалізувати в умовах тропічних температур зовнішнього повітря та рівні температур традиційних водяних сонячних колекторів (80-100 °C).

У зв'язку з вибором АВХМ необхідно зазначити, що останніми роками у зв'язку з несприятливим техногенним впливом на довкілля систем холодильної техніки дедалі більше уваги приділяється природним холодильним агентам. Останні документи [5] вже чітко регламентують застосування конкретних природних холодильних агентів щодо різних типів холодильних машин: для побутових і торгових холодильників – пропан; для середніх холодильників – вуглекислота; для великих систем – аміак.

АВХМ на відміну від аналогів – бромистолітєвих абсорбційних холодильних машин та пароежекторних водяних холодильних машин, холодильним агентом у яких є вода, мають більш широку сферу застосування, зокрема, в області від'ємних температур до мінус 50 °C [9-11]. Для їх роботи можна використовувати найрізноманітніші джерела теплової енергії: технологічну пару, гарячу воду, скидні гази печей, вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння [6]. АВХМ окрім задач кондиціонування повітря можуть бути використані і в холодильниках при тривалому зберіганні заморожених продуктів та сільськогосподарської сировини [7, 8].

У зв'язку з недостатньою вивченістю питання застосування АВХМ у галузі робочих параметрів, відмінних від традиційних умов, зокрема:

- а) низькі температури гріючого джерела – не вище 100 °C (традиційні 120...140 °C);
- б) висока температура довкілля – 30...45 °C (у традиційних схемах – не вище 30 °C);
- в) підвищені температури об'єкта охолодження – 5...15 °C (у традиційних схемах - 30...-10 °C).

На першому етапі слід провести аналіз сучасного стану розробок холодильних машин абсорбційного типу та розробити перспективні енергозберігаючі схеми.

## 2. Аналіз сучасного стану енергозберігаючих розробок водоаміачних холодильних машин абсорбційного типу

З підвищенням температури навколишнього повітря до 30 °C енергоспоживання холодильника збільшується на 45%, а зі зниженням до 15 °C падає на 14% [9]. Зменшити максимальне навантаження та забезпечити економію енергії при експлуатації холодильника дозволяє оснащення акумулятором холоду.

Першою в 1978 р. почала випускати акумуля-

тори холоду та комплектувати ними холодильники та морозильники фірма «Liebherr» (Німеччина) [10]. Акумулятор холоду є прямокутним герметичним кожухом, заповненим незамерзаючим етектичним розчином (розчин солі та ін.), який охолоджується в морозильнику (заряджається). Тривалість заряджання холодильного акумулятора залежить від потужності компресора та об'єму акумулятора. Поміщений далі у холодильник, такий акумулятор холоду збільшує термін зберігання продуктів на 80 % при відключенні струму і виході на робочий режим.

Завдяки акумулятору холоду з хлоридом амонію морозильники без осадження інею фірми «Osby» (Швеція) споживають на 15% менше електроенергії, ніж старі моделі.

Найбільш раціональним є використання холодильників з акумуляцією холоду від сонячних батарей у місцях, які ще не приєднані до енергосистеми, а також у транспортних засобах.

Також для покращення енергетичних характеристик побутових холодильних приладів ємністю до 30 літрів (транспортного виконання) почали застосовувати холодильні корпуси типу «скриня» з двома кришками. У кришках вмонтовані прозорі вікна, через які добре проглядається вміст холодильника.

Починаючи з 1990 р. розробки вчених ОНТУ спрямовані на створення нових зразків абсорбційної холодильної техніки різного функціонального призначення. При створенні нової техніки використовувалися прогресивні технічні та технологічні рішення:

а) розміщення випарника з'ємної АВХМ у вертикальній площині обсягом теплоізоляованого блоку за межами корисного об'єму холодильної камери [11];

б) створення додаткових теплостоків до випарника АВХМ на основі теплових труб (ТТ) та одно- та двофазних термосифонів [13];

в) застосування високопористого ячеєвого матеріалу (ВПЯМ) на основі кераміки як теплоізоляції генерального вузла АВХМ [14];

г) застосування пластичного (на основі міді) ВПЯМ для зниження контактного термічного опору в зоні теплового зв'язку випарника АХА та холодильної камери [15];

д) застосування холодоакумулюючих матеріалів [15];

е) застосування енергозберігаючих засобів управління [16];

ж) інтенсифікація процесів тепломасообміну в парогазовому контурі АВХМ [17];

Нові моделі комплектуються електронними системами керування (ЕСК), призначеними забезпечувати енергозберігаючі (з мінімумом енергоспоживання) режими роботи апаратів побутової та торгової техніки у широкому діапазоні параметрів експлуатації – діапазон температур довкілля від 10 до 32 °С [16].

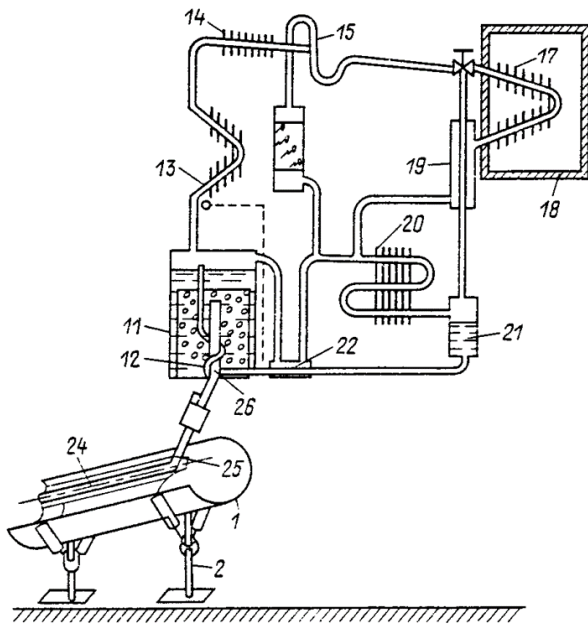
ЕСК забезпечує енергозберігаючі режими роботи широкого спектру абсорбційних апаратів: холодильні вітрини, низькотемпературні камери, міні-холодильники, транспортні холодильники).

В основі сучасного підходу до регулювання характеристик АВХМ транспортного виконання лежить зміна величини теплового навантаження, що підводиться до генераторного вузла, як правило, до термосифону, для досягнення необхідних температурних режимів у корисному обсязі холодильної камери [18].

При використанні у якості джерела тепла електричної енергії, АВХМ комплектуються одно-, дво- та триступневими омичними нагрівачами [19]. У моделях з одноступневими нагрівачами регулювання здійснюється тільки в автоматичному режимі шляхом періодичного (циклічного) відключення теплового навантаження. У АВХМ із дво- чи триступневими нагрівачами використовується як ручне, так і автоматичне регулювання [16]. При досягненні необхідних параметрів камери відбувається перехід на менше теплове навантаження. В апаратах з триступневим нагрівачем обов'язково є режим теплопідведення з мінімальним тепловим навантаженням (30...40 Вт) – «режим очікування». У цьому режимі аміак у випарник не подається і холод не виробляється. Теплове навантаження витрачається лише на підтримку генераторного вузла у стані готовності до роботи. Динамічного напору пари, що генерується, достатньо лише для підтримки інертного газу на межі дефлегматора. При переході в робочий режим, час пускового періоду може скоротитися, порівняно з апаратами, що працюють у позиційному режимі, кілька разів. Апарати з багатуступневим регулюванням економічніші, ніж одноступеневі на 10...15 % [16].

Однією з найперспективніших пропозицій у галузі тепловикористальних холодильних машин може вважатися використання сонячної енергії. Зокрема, відомі пропозиції щодо використання сонячної енергії в конструкціях з проміжним теп-

лопередавальним пристроєм, на основі теплової труби, розміщеної у фокусі параболоциліндричного концентратора (рис. 1) [20].



**Рисунок 1** – АХА з параболоциліндричним концентратором сонячної енергії: 1 – параболоциліндричний концентратор; 2 – опорно-поворотний пристрій; 11 – генератор із жаровою трубою та порожниною з теплоакуюлюючою речовиною; 12 – термосифон; 13 дефлегматор; 14 – конденсатор; 17 – випарник; 18 – холодильна шафа; 19 – газовий теплообмінник; 20 – абсорбер; 21 – ресивер міцного розчину; 22 – регенеративний теплообмінник; 24, 25, 26 – теплова труба

Колекторні панелі відомих сонячних нагрівальних систем є дорогими та важкими. Вони потребують стаціонарної установки, що виконується кваліфікованими фахівцями. У північній та центральній частинах Євразії та США вони відносно неефективні в зимовий час, і їх важко переробляти для домашньої холодильної системи влітку.

Мета оригінальної пропозиції [21] полягає у створенні:

а) простого та недорогого пристрою для збору сонячної енергії, що є досить легким для того, щоб будь-який домовласник був в змозі встановлювати та знімати його без змін у конструкції будинку у перехідні весняний та осінній періоди, коли є достатня кількість сонячного світла, а температура повітря є досить низькою для того, щоб час від часу було потрібне нагрівання;

б) недорогого джерела енергії для холодильної системи.

Конструкція є пластинчастою панеллю, що містить дві стінки, причому кожна з них має кільцеву кромку, щільно притиснуту до кромки іншої стінки. Одна зі стінок є проникною для сонячного випромінювання, інша не пропускає таке випромінювання. Уловлювач випромінювання в порожнині панелі включає кілька пар уловлювальних елементів з листового матеріалу, прикріплених до прозорої стінки і проникних для сонячного випромінювання. Уловлювальні елементи кожної пари з'єднані із зазором біля непрозорої стінки і розходяться під невеликим гострим кутом у напрямку прозорої стінки. Циркуляційний пристрій нагнітає газ, наприклад повітря, в одну частину порожнини панелі, а потім газ випускається через іншу частину порожнини, що знаходиться на відстані.

Нагрітий газ, що виходить з панелі під час впливу на неї сонячного випромінювання, можна використовувати для постачання енергією холодильного агрегату, наприклад генератора абсорбційної холодильної системи відомого типу, в якій генератор, який може заключати в собі залитий охолодний абсорбент, з'єднаний з конденсором, десорбується в газоподібному стані з абсорбенту, що міститься в генераторі, завдяки тепловій енергії, що подається до генератора. Конденсор охолоджується для зрідження десорбованого газоподібного холодоагенту. Випарник, з'єднаний з конденсором, приймає зріджений холодоагент, який витягує теплову енергію за допомогою теплопередачі з матеріалу, що охолоджується, і випаровується за допомогою теплової енергії. Холодоагент, що випаровується, повертається в генератор і знову поглинається абсорбентом, причому цей цикл повторюється безперервно або уривчасто.

Відомі кілька типів абсорбційних холодильних систем з повітряним або водяним охолодженням, для яких потрібний лише нагрівач і не потрібна механічна енергія. Кожна з цих систем може приводитися в дію одним тільки гарячим повітрям або іншим гарячим газом, що виходить з вищеписаної панелі в тому випадку, якщо газ пропускають через трубчастий елемент теплопровідного матеріалу, вихідний отвір якого з'єднано з циркуляційним пристроєм панелі, встановленим на генераторі холодильної системи в тепловому контакті з абсорбентом, що знаходиться в ній.

Панель, якщо вона не використовується для

роботи холодильного агрегату, може використовуватись для подачі теплого повітря в будинок. Коли погодні умови не вимагають ні нагріву ні охолодження, панель можна скатати і зберігати в невеликому просторі. Її установка не вимагає застосування інструментів, наявності спеціальних навичок і потребує лише мінімального зусилля.

Під'єднаний холодильний агрегат може охолоджувати комору, машину для виготовлення морозива або кімнату в будинку.

Відомі пропозиції мають один істотний недолік, пов'язаний з роботою холодильних систем протягом усього світлового дня. Це складність концентрації енергії при проходженні сонця з неба. Для стеження за положенням сонця у відомих пропозиціях необхідно використовувати спеціальні переміщуючі пристрої, або розраховувати на нестабільність роботи холодильної системи.

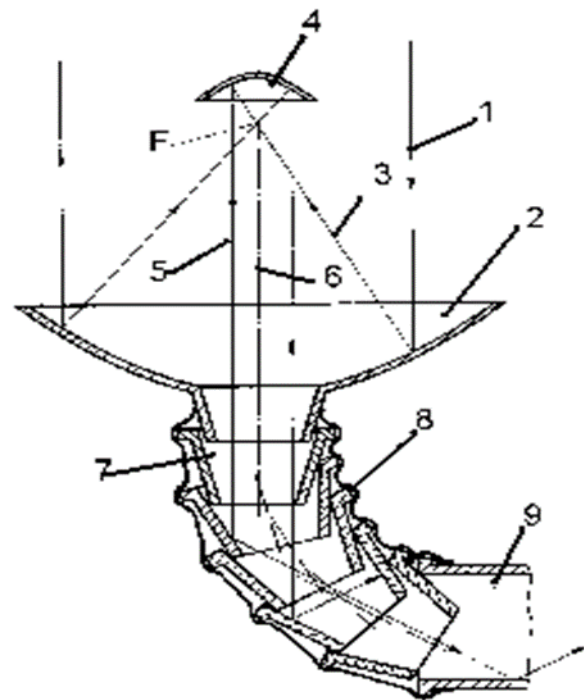
Для забезпечення стабільної роботи холодильної системи протягом більшої частини дня може бути використаний наступний спосіб [22].

Щоб уловити достатню кількість сонячної енергії, концентратор має бути більшим – на один квадратний метр земної поверхні падає не більше 0,4 кВт. Традиційні конструкції концентратора і приймача повинні бути постійно звернені до Сонця, отже, безперервно обертатися навколо двох перпендикулярних осей зі строго певною кутковою швидкістю. Це може лише потужний та дорогий прецизійний механізм. Краще, вважають деякі конструктори, трохи втратити зниження ККД, але концентратор і приймач опромінення зробити нерухомими. Таких конструкцій запропоновано чимало, деякі реалізовані. Загальний недолік – низький ККД, що заважає їх поширенню.

Всі частини пропонованого пристрою нерухомі, але гнучкий світловод спрямовує сконцентрований промінь у будь-якому необхідному напрямку. Сонячний промінь будь-якого напрямку падає на нерухомий, як уже сказано, параболічний відбивач 2 (рис. 2).

Його вісь краще направити раз і назавжди на південь під кутом, що дорівнює широті місця встановлення. Відбитий промінь 3 падає на вторинний параболічний відбивач 4. Оптичні осі і фокуси обох відбивачів збігаються, внаслідок чого перевідбитий промінь 5 паралельний оптичній осі 6. Всі перевідбиті промені падають на поверхні кінцевих відбивачів 7, укладених у гнучку гофровану поверхню. Послідовно відбиваючись від цих поверхонь, промінь виходить у циліндричний світ-

ловод – трубку із дзеркальною внутрішньою поверхнею. Вигинаючи трубу, можна направити світло у будь-який бік.



**Рисунок 2** – Схема концентратора сонячної енергії: 1 – сонячний промінь, що падає; 2 – параболічний відбивач; 3 – відбитий промінь; 4 – вторинний параболічний відбивач; 5 – перевідбитий промінь; 6 – оптична вісь; 7 – кінцеві відбивачі; 8 – гнучка гофрована труба; 9 – циліндричний світловод

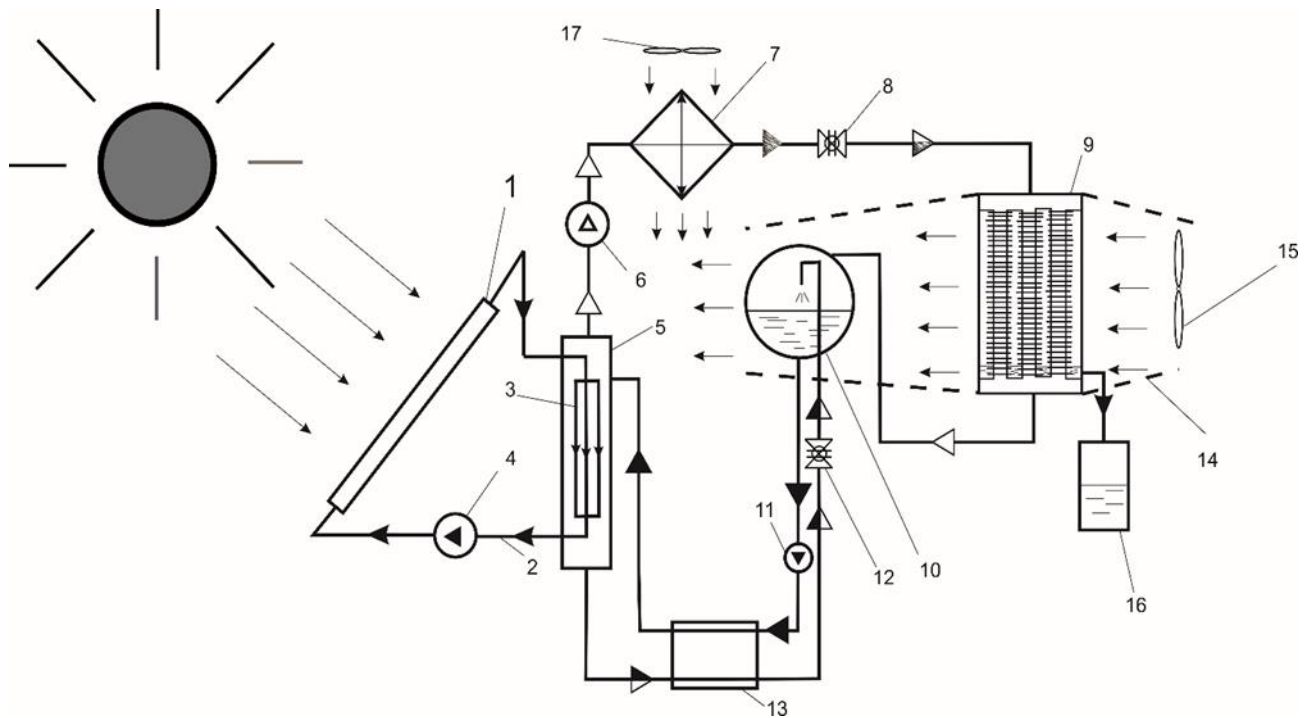
Таким пристроєм можна не тільки висвітлити підвал або інше приміщення без вікон, але й запитати енергетичні пристрої практично будь-якої потужності: відбивач 2 – найбільша частина споруди – може бути виконана з дешевих матеріалів. Простота конструкції, висока надійність та довговічність основних її елементів компенсують не надто високий ККД пристрою.

Для реалізації циклів насосних АВХМ, які можуть успішно працювати на низькопотенційних джерелах теплової енергії, може бути використана розробка ОНТУ.

Система (рис. 3) [23] містить сонячні колектори 1 із замкнутим циркуляційним контуром 2, заповненим рідким теплоносієм, і з теплообмінником 3. Циркуляція теплоносія за контуром 2 і теплообмінником 3 здійснюється за допомогою насоса 4. До складу установки входить АВХМ, що містить: генератор 5; бустер-компресор 6; повітряний конденсатор 7; дросельний вентиль холодильного агента 8; випарник 9; абсорбер 10; насос «міцно-

го» розчину 11; дросельний вентиль 12, теплообмінник «міцного» та «слабкого» водоаміачного розчину 13. Випарник 9 і абсорбер 10 встановлені послідовно у спеціальному повітряному каналі 14

таким чином, щоб повітряний потік за допомогою вентилятора 15 надходив спочатку на випарник 9, а потім на абсорбер 10. Нижня частина випарника 9 пов'язана з ємністю для збору конденсату 16.



**Рисунок 3** – Схема АВХМ з бустер-компресором: 1 – система сонячних колекторів; 2 – циркуляційний контур; 3 – теплообмінник; 4 – циркуляційний насос; 5 – генератор; 6 – бустер-компресор; 7 – конденсатор пари аміаку; 8 – дросель рідкого аміаку; 9 – випарник; 10 – абсорбер; 11 – насос міцного розчину; 12 – дросель слабкого розчину; 13 – теплообмінник розчинів; 14 – повітряний канал; 15, 17 – вентилятор; 16 – збірник конденсату

Охолодження конденсатора 7 здійснюється окремим вентилятором 17. У внутрішній порожнині генератора 5 встановлені канали теплообмінника 3 циркуляційного контуру 2.

Робочим тілом АВХМ є водоаміачний розчин з аміаком у якості холодильного агента і водою у якості поглинача пари аміаку (абсорбентом).

Система отримання води з атмосферного повітря працює наступним чином.

У початковий момент після заправки системи все робоче тіло знаходиться переважно в генераторі 5. При нагріванні сонцем колектора 1 теплоносій в ньому нагрівається і в гарячому стані по контуру 2 насосом 4 прокачується через теплообмінник 3 у внутрішній порожнині генератора 5.

З водоаміачного розчину, що заповнює генератор 5, при тепловій взаємодії з теплообмінником 3 при тиску  $P_h$  починає випаровуватися легкокиплячий компонент – аміак. Пара аміаку піднімається до верхньої частини генератора 5, а збіднений аміаком розчин – «слабкий» розчин – опус-

кається до нижньої частини генератора 5 і проходить далі в абсорбер 10.

У генераторі 5 підтримується тиск  $P_h$  вище, ніж в абсорбері 10  $P_a$ , тому «слабкий» розчин при своєму русі до абсорбера проходить через дросель 12. З верхньої частини генератора 5 пара відкачується бустер-компресором 6 і з підвищеним тиском  $P_k$  направляється в конденсатор 7, де знижується з відведенням теплоти фазового переходу за допомогою вентилятора 17.

Рідкий аміак дроселюється в вентилі 8 з падінням тиску з  $P_k$  до  $P_a$  і надходить у випарник 9. Випарник 9 сполучається з абсорбером 10 і має знижений (порівняно з генератором і конденсатором) тиск:

$$P_a < P_h < P_k$$

При низькотемпературному кипінні аміаку у випарнику 9 на його стінах підтримується температура нижче температури точки роси атмосфер-

ного повітря в перехідні і теплі періоди року.

Вентилятор 15 направляє повітря на поверхню випарника, де частина вологи конденсується і стікає в ємність 16.

Пара аміаку, що виходить з випарника 9, надходить в абсорбер 10, де поглинається «слабким» розчином.

З абсорбера 10 насичений аміаком «міцний» водоаміачний розчин за допомогою циркуляційного насоса 11 долає перепад тисків  $\Delta P = P_h - P_a$  і надходить в генератор 1, і цикл повторюється.

У запропонованій схемі передбачено повітряне охолодження теплорозсіювальних елементів, оскільки робота АВХМ планується в умовах дефіциту водних ресурсів.

У зв'язку з можливістю роботи запропонованої схеми АВХМ з бустер-компресором в широкому діапазоні температур атмосферного повітря вона може знайти ефективне застосування в різних галузях народного господарства, наприклад, у якості джерела низької температури при первинному охолодженні молока в важкодоступних регіонах [24], а також для зберігання швидкопсувних м'ясомолочних продуктів і рослинної сировини [25].

### 3. Висновки

Як показав аналіз, абсорбційні водоаміачні холодильні системи можуть вирішувати завдання штучного охолодження в діапазоні температур від  $-30$  °С (тривале низькотемпературне зберігання продуктів тваринного та рослинного походження) до  $+5...7$  °С (кондиціонування повітря) з використанням сонячної теплової енергії. При цьому вирішуються задачі усунення несприятливого техногенного впливу робочого тіла (водоаміачного розчину) на довкілля.

Основна проблема, з якою стикаються розробники в системах сонячного теплопостачання, пов'язана з реалізацією водоаміачного абсорбційного холодильного циклу при незначному перепаді температур гарячого джерела ( $70...90$  °С) та навколишнього середовища (до  $35$  °С).

В цьому випадку в насосних абсорбційних водоаміачних системах використовують бустер-компресора на лінії генератор-конденсатор, а в безнасосних схемах – додатковий випарник гарячого розчину слабого.

Для створення енергозберігаючих схем АВХМ перспективно використовувати холодоакумуляючі матеріали, електронні системи автоматичного

керування, що забезпечують мінімальне енергопоживання за зміни умов експлуатації (добові коливання температур сонячної енергії та атмосферного повітря).

Підвищення енергетичної ефективності зовнішніх та внутрішніх процесів тепломасообміну в АВХМ може бути досягнуто за рахунок, відповідно, застосування теплових труб, двофазних термосифонів, зниження контактного термічного опору в зонах відведення та підведення тепла та оптимізації процесів циркуляції парогазової суміші в елементах порогів.

### Особистий внесок авторів CRediT

**Березовська Л.В.:** перевірка, візуалізація, дослідження, програмне забезпечення, написання – огляд та редагування. **Тіглов О.С.:** концептуалізація, методологія, формальний аналіз, написання – оригінальний проект, адміністрування.

### Література

1. Commission of the European DGXVII. The European renewable energy study, Office for Official Publications of the European Communities. – Luxembourg, 1994. – Vol. 1. – P. 38.
2. **F. Consoli.** Guidelines for life cycle assessment: A code of practice // Society of Environmental Toxicology and Chemistry workshop report. – Sesimbra, Portugal, 1993.
3. UNEP. Montreal Protocol on Substances That Deplete The Ozone Layer. Final Act. – 11 September 1987. – 6 p.
4. United Nations on Climate Change. General Convention Kyoto. – 1997.
5. **McMullan J.T.** Refrigeration and the environment – issues and strategies for the future // International Journal of Refrigeration. – 2002. – Vol. 25. – P. 89-99.
6. **M.T. Walfridson, S.H. Farndahl.** Patent 0323820 EP, MKI F25B 49/00, F25B 15/10. Arrangement for preventing freezing of the working medium in absorption refrigerating apparatus. – №88850422.2; Заявл.14.12.88; Опубл.12.07.89, Bulletin 89/28.
7. **Осадчук Є.О., Тіглов О.С.** Пошук енергетично ефективних теплових режимів водоаміачної абсорбційної холодильної машини в широкому діапазоні експлуатаційних параметрів // Харчова наука та технологія. – 2012. – № 4. – С. 79-82.
8. **Осадчук Є.О., Тіглов О.С., Василів О.Б., Мазуренко С.Ю.** Пошук енергетично ефективних те-

плових режимів водоаміачної абсорбційної холодильної машини в системах одержання води з атмосферного повітря // Наукові праці ОНАХТ. – 2014. – Вип. 45. – Т.1. – С. 65-69.

9. **Тітлов О.С.** Порівняння характеристик абсорбційної та компресійної побутової холодильної техніки // Холодильна техніка та технологія. – 1997. – № 57. – С. 39-41.

10. **Данілін В.Н.** Фізична хімія теплових акумуляторів. – К.: Вид-во Красн. політ. ін-ту, 1981. – 90 с.

11. **Н.Ф. Хоменко, Г.М. Оліфер, О.С. Тітлов.** Пат. 19328 Україна, МПК5 F 25 В 15/10. Абсорбційний холодильник. – № 95321331; заявл. 03.04.91; опубл. 25.12.97, Бюл. № 6.

12. **О.С. Тітлов, М.В. Рибніков, В.В. Завертаний, О.Б. Василів.** Використання теплових труб та термосифонів в абсорбційних холодильниках // Холодильна техніка. – 1998. – № 2. – С. 12-13.

13. **О.С. Тітлов, М.Д. Захаров, О.Б. Василів.** Деклараційний патент № 47752А Україна, МПК7 F25 В 15/10. Абсорбційний холодильник. – № 2001096076; заявл. 04.09.01; опубл. 15.07.02, Бюл. № 7.

14. **М.Д. Захаров, О.С. Тітлов, О.Б. Василів.** Деклараційний патент № 47755А Україна, МПК7 F25 В 15/10. Теплоізоляційний кожух генераторного вузла абсорбційно-дифузійних холодильних машин. – № 2001096080; заявл. 04.09.02; опубл. 15.07.02, Бюл. № 7.

15. **О.С. Тітлов, М.Д. Захаров, О.Б. Василів.** Деклараційний патент № 47753А Україна, МПК7 F 25 В 15/10. Абсорбційний холодильник. – № 2001096077; заявл. 04.09.01; опубл. 15.07.02, Бюл. № 7.

16. **О. Titlova, О. Titlov, О. Olshevska.** Search of the energy efficient operation modes of absorption refrigeration units // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – 5/2(83). – P. 45-53. DOI:10.15587/1729-4061.2016.79353.

17. **О.Б. Василів, О.С. Тітлов, М.Д. Захаров.** Де-

клараційний патент № 56883А Україна, МПК7 F25 В1 5/10. Абсорбційний холодильник. – № 2002108365; заявл. 22.10.02; опубл. 15.05.03, Бюл. № 5.

18. **Тітлов О.С.** Розробка енергозберігаючої побутової та торгової холодильної техніки абсорбційного типу // Наукові праці ОДАХТ. – 2002. – № 23. – С. 237-240.

19. **Тітлов О.С.** Науково-технічні основи енергозбереження під час проектування холодильних апаратів з абсорбційно-дифузійними холодильними машинами // Наукові праці ОДАХТ. – 2006. – № 29. – Т. 1. – С. 194-200.

20. **Т. Кей.** Пат. 4126014 США, МКІ F25 В 27/00, F25 В15/00, F24 J 3/02. Абсорбційний холодильник з геліосистемою. – №795000; Заявл. 09.05.77; Опубл. 21.11.78.

21. **З.І. Ашурли, М.Т. Гаджисєв, С.А. Філін.** Патент 2036395, МКІ F25 В 27/00. Абсорбційний геліохолодильник. – №92009125/06; Заявл. 30.11.92; Опубл. 10.08.94, Бюл. № 30.

22. **Шкроб Ю.В.** Як "зігнути" сонячний луч // Винахідник та раціоналізатор. – 2003. – №6. – С.11.

23. **О.Б. Василів, О.С. Тітлов, Є.О. Осадчук, В.М. Кузаконь.** Спосіб одержання води з атмосферного повітря та установка для його здійснення. – № а201506905; заявл. 13.07.2015; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.

24. **О.П. Цой, О.С. Тітлов, А.Х. Алімкешова, Р.А. Джамашева, О.С. Грановський.** Патент на корисну модель № 4408 Республіка Казахстан. Установка для охолодження молока. – № 2019/0303.2; заявл. 05.04.2019; опубл. 30.10.2019.

25. **Тітлов О. С., Осадчук Є.О., Цой О. П., Алімкешова А. Х., Джамашева Р. А.** Розробка автономних систем охолодження з урахуванням відновлювальних і непридатних джерел теплової енергії // Холодильна техніка та технологія. – 2019. – Т.55. – № 2. – С. 84-96.

Отримана в редакції 17.01.2023, прийнята до друку 16.03.2023

## Analysis of prospects for the use of absorption refrigeration systems with alternative sources of thermal energy

*Liudmyla Berezovska<sup>1</sup>, Oleksandr Titlov<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup> Odesa National University of Technology, 112 Kanatnaya Str., Odesa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: <sup>2</sup>titlov1959@gmail.com

ORCID: <sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2896-9839>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>

*In the field of refrigeration technology, resource and energy saving can be solved through the use of*

renewable energy sources, in particular solar energy. Absorption water-ammonia refrigerating machines (AWRM) operating on solar energy were chosen as the object of analysis. The analysis of the mode characteristics of AWRM showed that the main problems that must be solved when using them in water production systems are as follows: first, to develop AWRM structures with air cooling of heat dissipating elements; secondly, to propose a cycle that could be implemented in conditions of tropical outdoor air temperatures at the temperature level of traditional water solar collectors (80-100 °C). An analysis of the current state of energy-saving development of absorption-type refrigerating machines was performed. It has been shown that AWRM can solve the tasks of artificial cooling in the temperature range from -30 °C (long-term low-temperature storage of products of animal and plant origin) to +5...7 °C (air conditioning) using solar thermal energy. At the same time, the tasks of eliminating the adverse man-made impact of the working fluid (aqueous ammonia solution) on the environment are solved. It is promising to use cold-accumulating materials, electronic automatic control systems, which ensure minimum energy consumption during changes in operating conditions (daily temperature fluctuations of solar energy and atmospheric air) to create energy-saving schemes of AWRM. Increasing the energy efficiency of external and internal processes of heat and mass exchange in the AWRM can be achieved due to, respectively, the use of heat pipes, two-phase thermosyphons, reduction of contact thermal resistance in the heat removal and supply zones, and optimization of the steam-gas mixture circulation processes in the elements of the steam-gas circuit.

**Keywords:** Resource and energy saving; Alternative sources of thermal energy; Solar energy; Absorption water-ammonia refrigerating machines; Increasing energy efficiency

## References

- (1994) Commission of the European DGXVII. The European renewable energy study, Office for Official Publications of the European Communities. *Luxembourg, 1*, 38.
- Consoli, F.** (1993) Guidelines for life cycle assessment: A code of practice. *Society of Environmental Toxicology and Chemistry workshop report. Sesimbra, Portugal.*
- (1987) UNEP. Montreal Protocol on Substances That Deplete The Ozone Layer. Final Act, 6.
- (1997) United Nations on Climate Change. General Convention Kyoto.
- McMullan, J.T.** (2002) Refrigeration and the environment – issues and strategies for the future. *International Journal of Refrigeration, 25*, 89-99.
- Walfridson, M.T., Farndahl, S.H.** Patent 0323820 EP, MKI F25B 49/00, F25B 15/10. Arrangement for preventing freezing of the working medium in absorption refrigerating apparatus. №88850422.2; statement.14.12.88; published.12.07.89, Bulletin 89/28.
- Osadchuk, E.O., Titlov, O.S.** (2012) Search for energy-efficient thermal regimes of a water-ammonia absorption refrigerating machine in a wide range of operating parameters. *Food science and technology, 4*, 79-82.
- Osadchuk, E.O., Titlov, O.S., Vasyliv, O.B., Mazurenko, S.Yu.** (2014) Search for energy-efficient thermal regimes of the water-ammonia absorption refrigerating machine in the systems of obtaining water from the atmospheric air. *Naukovi pratsi ONAFT, 45, 1*, 65-69.
- Titlov, O.S.** (1997) Comparison of the characteristics of absorption and compression household refrigeration equipment. *Refrigeration engineering and technology, 57*, 39-41.
- Danilin, V.N.** (1981) Physical chemistry of heat accumulators. *K.: Publishing house of Krasn. polit. inst., 90.*
- Khomenko, N.F., Olifer, H.M., Titlov, O.S.** Patent 19328 Ukraine, IPK5 F 25 B 15/10. Absorption refrigerator. No. 95321331; statement 04/03/91; published 25.12.97, Bull. No. 6.
- Titlov, O.S., Rybnikov, M.V., Zavertany, V.V., Vasyliv, O.B.** (1998) The use of heat pipes and thermosyphons in absorption refrigerators. *Refrigeration technique, 2*, 12-13.
- Titlov, O.S., Zakharov, M.D., Vasyliv, O.B.** Declaration patent No. 47752A Ukraine, IPC7 F25 B 15/10. Absorption refrigerator. No. 2001096076; statement 04.09.01; published 15.07.02, Bul. No. 7.
- Zakharov, M.D., Titlov, O.S., Vasyliv, O.B.** Declaration patent No. 47755A Ukraine, IPC7 F25 B 15/10. Heat-insulating casing of the generator assembly of absorption-diffusion refrigerating machines. No. 2001096080; statement 04.09.02; published 15.07.02, Bul. No. 7.
- Titlov, O.S., Zakharov, M.D., Vasyliv, O.B.** Declaration patent No. 47753A Ukraine, IPC7 F 25 B

- 15/10. Absorption refrigerator. No. 2001096077; statement 04.09.01; published 15.07.02, Bul. No. 7.
16. **Titlova, O., Titlov, O., Olshevska, O.** (2016) Search of the energy efficient operation modes of absorption refrigeration units. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/2(83), 45-53.
17. **Vasyliv, O.B., Titlov, O.S., Zakharov, M.D.** Declaration patent No. 56883A Ukraine, IPC7 F25 B1 5/10. Absorption refrigerator. No. 2002108365; statement 22.10.02; published 05/15/03, Bul. No. 5.
18. **Titlov, O.S.** (2002) Development of energy-saving household and commercial refrigerating equipment of the absorption type. *Scientific works of OSAFT*, 23, 237-240.
19. **Titlov, O.S.** (2006) Scientific and technical basis of energy saving during the design of refrigerating devices with absorption-diffusion refrigerating machines // *Scientific works of OSAFT*, 29, 1, 194-200.
20. **Kay, T.** Patent 4126014 USA, MKI F25 B 27/00, F25 B15/00, F24 J 3/02. Absorption refrigerator with solar system. No. 795000; Application 09.05.77; Publ. 21.11.78.
21. **Ashurly, Z.I., Hadziev, M.T., Filin, S.A.** Patent 2036395, MKY F25 B 27/00. Absorption solar cooler. No. 92009125/06; Application 30.11.92; Publ. 10.08.94, Bull. No. 30.
22. **Shkrob, Yu.V.** (2003) How to "bend" a solar beam. *Inventor and rationalizer*, 6, 11.
23. **Vasyliv, O.B., Titlov, O.S., Osadchuk, E.O., Kuzakon, V.M.** Method of obtaining water from atmospheric air and installation for its implementation. No. a201506905; statement 13.07.2015; published 10.07.2017, Bul. No. 13.
24. **Tsoy, O.P., Titlov, O.S., Alimkeshova, A.H., Dzhamasheva, R.A., Granovsky, O.S.** Utility Model Patent No. 4408 Republic of Kazakhstan. Installation for cooling milk. No. 2019/0303.2; statement 04/05/2019; published 30.10.2019.
25. **Titlov, O.S., Osadchuk, E.O., Tsoy, O.P., Alimkeshova, A.H., Dzhamasheva, R.A.** Development of autonomous cooling systems taking into account renewable and non-usable sources of thermal energy. *Refrigeration engineering and technology*, 55, 2, 84-96.

---

Received 17 January 2023

Approved 16 March 2023

Available in Internet 31 March 2023