

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.575.932:621.565.92

Експериментальні дослідження абсорбційних холодильних приладів при роботі з сонячними панелями

Л. В. Березовська¹, О. С. Тітлов²✉^{1,2}Одеський національний технологічний університет, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна✉ e-mail: ²titlov1959@gmail.comORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0002-2896-9839>; ²<https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>

Аналіз сучасного рівня техніки показує перспективи використання альтернативних електричних джерел теплової енергії для роботи абсорбційних холодильних приладів (АХП). Важливим у сучасних умовах є і те, що робоче тіло АХП – водоаміачний розчин з добавкою інертного газу (водню, гелію або їх суміші) відноситься до природних холодоагентів і тому є абсолютно екологічно безпечним (має нульові значення озоноруйнівного потенціалу та потенціалу «парникового» ефекту). До переваг АХП слід віднести мінімальну вартість серед існуючих типів холодильного обладнання невеликої холодопродуктивності, що в багатьох випадках визначає їх популярність у користувачів. Особливі інтереси можуть представляти моделі АХП, які використовують у своїй роботі альтернативні, неелектричні джерела теплової енергії. Серія експериментальних досліджень проводилась у стаціонарних умовах роботи АХП. Об'єктом досліджень був АХП «Київ» АЛ-35. Теплове навантаження, що підводиться в генератор абсорбційного холодильного приладу (АХП), варіювалося в діапазоні від 50 до 110 Вт через 10 Вт. Нижня межа діапазону теплового навантаження генератора відповідає початку працездатності АХП в частині запуску термосифона, що перекачує. Верхня межа теплового навантаження генератора обмежена зростанням температур та початком активних корозійних процесів. Для знаходження алгоритму подачі комбінованого теплового навантаження було виконано експериментальні дослідження пускових режимів АХП з неробочого стану. Тривалість пускового періоду у наших дослідженнях обмежувалася виходом на стаціонарний режим холодильної камери АХП. Початок стаціонарного режиму визначали за незмінністю температури обсягом холодильної камери. Доведено, що для забезпечення цілодобової роботи АХП достатньо використовувати стандартний автомобільний електронакопичувач 70 А·год 12 В.

Ключові слова: Енергозбереження; Альтернативні джерела енергії; Сонячні панелі; Тепловикористальні холодильні агрегати; Абсорбційні холодильні агрегати; Експериментальні дослідження; Генератор-термосифон; Кипіння; Двофазні потоки

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v59i2.2631>

© 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

З прийняттям нових законодавчих актів про купівлю-продаж земельної власності дедалі більшу вагу у структурі сільськогосподарського виробництва України починають набувати індивідуальні селянські та фермерські господарства. У та-

ких господарствах на перше місце виходять проблеми формування раціонального (економного) бюджету, серед яких однією з основних є проблема збереження вирощеного врожаю протягом трьох-шести місяців у товарних кількостях при мінімумі витрат на енергоносії. Водночас відомим у світовій практиці фактом є втрати понад поло-

вину врожаю сільськогосподарської продукції за відсутності належного холодильного зберігання.

Нині в Україні основна маса зібраної плодочовчевої продукції традиційно зберігається у підвалах, де найчастіше в теплу пору року (серпень-листопад, квітень) не вдається підтримувати необхідні температурні режими (від 5 до 12 °С). Для забезпечення необхідних режимів зберігання ринок побутової та торгової холодильної техніки для дрібнооптових виробників пропонує вітчизняні та імпорتنі розбірні (панельні) холодильні камери об'ємом від 3 до 9 м³, забезпечені компресійними холодильними машинами.

У сучасних умовах у сільській місцевості України експлуатація таких камер утруднена як через тривалі перебої з подачею електроенергії, так і через неякісну електроенергію, що надходить (діапазон коливання напруги в мережі від 160 до 250 В).

Надійна робота холодильних камер з компресійними холодильними машинами в цьому випадку здійснюється за допомогою застосування автономних безперебійних джерел електроенергії – бензинових чи дизельних генераторів. При досить високих експлуатаційних витратах (термічний ККД дизель-генераторів навіть провідних виробників (Yamaha) не перевищує 15 % [1]) купівля холодильних камер з компресійними апаратами та джерелами безперебійного живлення не під силу основній масі сільських виробників.

Ситуація, що склалася, змушує розробників звертатися до тепловикористальних безнасосних абсорбційних холодильних машин, так званих, абсорбційних холодильних приладів (АХП).

Важливим у сучасних умовах є і те, що робоче тіло АХП – водоаміачний розчин з добавкою інертного газу (водню, гелію або їх суміші) відноситься до природних холодоагентів і тому є абсолютно екологічно безпечним (має нульові значення озоноруйнівного потенціалу та потенціалу «парникового» ефекту) [2, 3]. АХП мають і низку таких унікальних якостей, як:

а) можливість використання в одному апараті кількох різних джерел теплової енергії – як електричних, так і альтернативних (теплота згоряння органічного палива та біогазу, сонячне випромінювання, вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння);

б) можливість роботи з неякісними джерелами енергії, у тому числі й електричної в діапазоні напруги від 160 до 240 В;

в) безшумність, висока надійність та тривалий ресурс.

До переваг АХП слід віднести мінімальну вартість серед існуючих типів холодильного обладнання невеликої холодопродуктивності, що в багатьох випадках визначає їх популярність у користувачів.

Щорічно в Європі випускається понад 1,3 млн. абсорбційних холодильних апаратів, причому більша частина з універсальним енергоспоживанням – містить електронагрівачі змінного (220 В) та постійного струму (12 В) та пальниковий пристрій. АХП, оснащені пальниками, широко використовуються туристами та мандрівниками, оскільки їм немає альтернативи в районах з відсутністю електроенергії [4].

Особливі інтереси можуть представляти моделі АХП, які використовують у своїй роботі альтернативні, неелектричні джерела теплової енергії.

2. Аналіз схемних і конструктивних рішень АХП, здатних забезпечити необхідні температурні режими зберігання при використанні альтернативних джерел енергії

У тепловикористальних холодильних апаратах, зокрема, в побутових АХП джерелом енергії може бути як електричний енергоносіє (наприклад, змінний струм напругою 220 В, постійний струм 12 і 24 В), так і неелектричний (природний газ, бензин, гас, вихлопні гази двигуна внутрішнього згоряння, а також зріджений газ пропан, бутан, ізобутан), що є їх незаперечною перевагою. Такі холодильники можна, наприклад, використовувати у місцях, де немає електрики або бувають перебої у подачі електроенергії.

Однак АХП мають низку недоліків:

а) через низьку питому холодопродуктивність тривалість виходу на режим занадто велика, а об'єм низькотемпературної камери обмежений;

б) при використанні неелектричного енергоносія (наприклад, зрідженого нафтового газу) частина теплоти згоряння газу при спалюванні в пальниковому пристрої холодильника викидається у навколишнє середовище без утилізації.

Один із способів часткового усунення недоліків тепловикористальних холодильних машин абсорбційного типу пов'язаний з використанням енергії зрідженого газу [5, 6].

У процесі роботи газового пальника генераторного вузла абсорбційного холодильника одно-

часно відбувається дроселювання суміші вуглеводнів від тиску в балоні до тиску, близького до атмосферного. Зниження температури суміші при дроселюванні (дросель-ефект) можна використувати в додатковому випарнику, встановленому в холодильній шафі абсорбційного холодильника (збільшити холодопродуктивність та знизити температурний рівень у камерах).

У випробуваннях у якості макетного зразка авторами використовувався абсорбційний холодильник виробництва італійської фірми «VALENTINI» моделі «ElektroSuisse SPR» Tipo V 85 GAC з корисним об'ємом камер 78 л (у тому числі об'єм низькотемпературної камери становить 4 л), здатний працювати як на газі, так і від електричного енергоносія.

В першу чергу були проведені вхідні тестові випробування з електричним та газовим енергоносіями при температурі навколишнього повітря в діапазоні від 23 до 24 °С.

Як показали результати випробувань холодильника з електричним енергоносієм, через 8 годин роботи температура повітря в низькотемпературній камері (НТК) встановилася на позначці -20,6 °С, температура в холодильній камері (ХК) лежала в діапазоні від +1,0 до +0,5 °С, споживана електрична потужність при напрузі 220 В склала від 110 до 114 Вт, витрата електроенергії – від 2,29 до 2,38 кВт·год/добу.

При роботі з газовим енергоносієм лише через 8,5 год абсорбційний холодильник вийшов на стаціонарний режим з температурою в НТК, що дорівнює -2,1 °С, в ХК температура склала +15,2 °С. При цьому масова витрата газу змінилася від 25 до 60 г/год. Температурні параметри випробуваного об'єкта не відповідали вимогам нормативних документів [4,5], тому виникла потреба у модернізації генераторного вузла.

При модернізації АХП були взяті до уваги відомості, наведені в [6], де відображені результати експериментальних досліджень впливу розташування нагрівача на працездатність побутового абсорбційного холодильника АШ-160/15.

Модернізація дозволила надалі суттєво підвищити ефективність абсорбційного холодильника: температуру повітря в НТК після 6 годин роботи вдалося знизити від +0,3 до -12,6 °С, а ХК – від +17,4 до +10,9 °С. При цьому температура газів, що відпрацювали, в термосифоні генераторного вузла становила +139 °С. Порівнюючи результати тестових випробувань даної моделі АХП, отримані

при використанні різних джерел енергії, можна помітити, що температури в камерах холодильника з електричним енергоносієм в середньому від 6 до 9 °С нижче, ніж з газовим.

Наступна модернізація АХП торкнулася лише його газового тракту: схема абсорбційного холодильника була доповнена пропановим дросельним розімкненим холодильним агрегатом (рис. 1).

У внутрішньому об'ємі холодильної камери АХП розмістили додатково невеликий випарник 23 і нерегульований дросельний елемент 24, виконаний з капілярної трубки (з урахуванням результатів досліджень, викладених у [3]), а також протиточний теплообмінник 4, який частково розташований за межами холодильної камери.

Зріджена суміш пропану і бутану, що знаходиться під тиском у балоні 1, пройшовши фільтросушувач 3 і теплообмінник 4, розширюється в дроселі 24. При зниженні тиску до тиску, близького до атмосферного, температура суміші знижується і свій ресурс вона віддає у випаровувачі. Зворотним потоком газ після теплообмінника 4 послідовно проходить редуктор тиску 5, зворотний клапан 8, терморегулятор 9, електромагнітний клапан 70 і надходить на спалювання в основний пальник 18, що знаходиться в термосифоні 12 генераторного вузла холодильника. При цьому електронагрівач жарового стакану вимкнено. Споживачем теплоти є тепер не тільки абсорбційний холодильний агрегат, а й паралельно встановлений додатковий пальник 7. Це одноконфоркова портативна плитка типу ПГТ, або портативний газовий світильник. Їх застосування дозволяє раціонально використовувати теплоту згоряння газу (наприклад, для приготування їжі або додаткового освітлення), а також проводити дослідження в широкому діапазоні змін витрати газу. При цьому всі споживачі теплоти можуть бути включені як окремо, так і в будь-якій комбінації.

Таким чином, у запропонованій схемі вдасться поєднати і абсорбційний, і пропановий розімкнений дросельний цикли.

При випробуваннях в режимі роботи макетного зразка АХП на газі з додатковим холодильним пропановим циклом (з відключеним електричним нагрівачем) були отримані наступні результати.

Період виходу НТК та ХК на режим скоротився вдвічі, температурний рівень у НТК замість -12,9 °С встановився на позначці -18 °С, а у ХК замість +7 – на позначці -9 °С. Таким чином, вдалося суттєво скоротити тривалість цього періоду,

перевести режим роботи ХК холодильника в низькотемпературний та знизити температурний рівень у НТК. При цьому теплота згоряння газу в додатковому пальнику може бути використана для додаткових можливостей, наприклад, приготування або розігрів їжі.

При порівнянні отриманих результатів з результатами досліджень АХП, що працює тільки з електричним нагрівачем, позитивний ефект від

процесу дроселювання зрідженого газу з балона пов'язаний зі зниженням температурного рівня камер і скороченням часу виходу камер на режим. Істотних змін отриманих показників залежно від кута положення холодильника (щодо обрїю) не спостерігалось: його можна було і качати, і нахилити – процес не порушувався (цей висновок підтверджує результати досліджень у 2003–2004 рр. [7]).

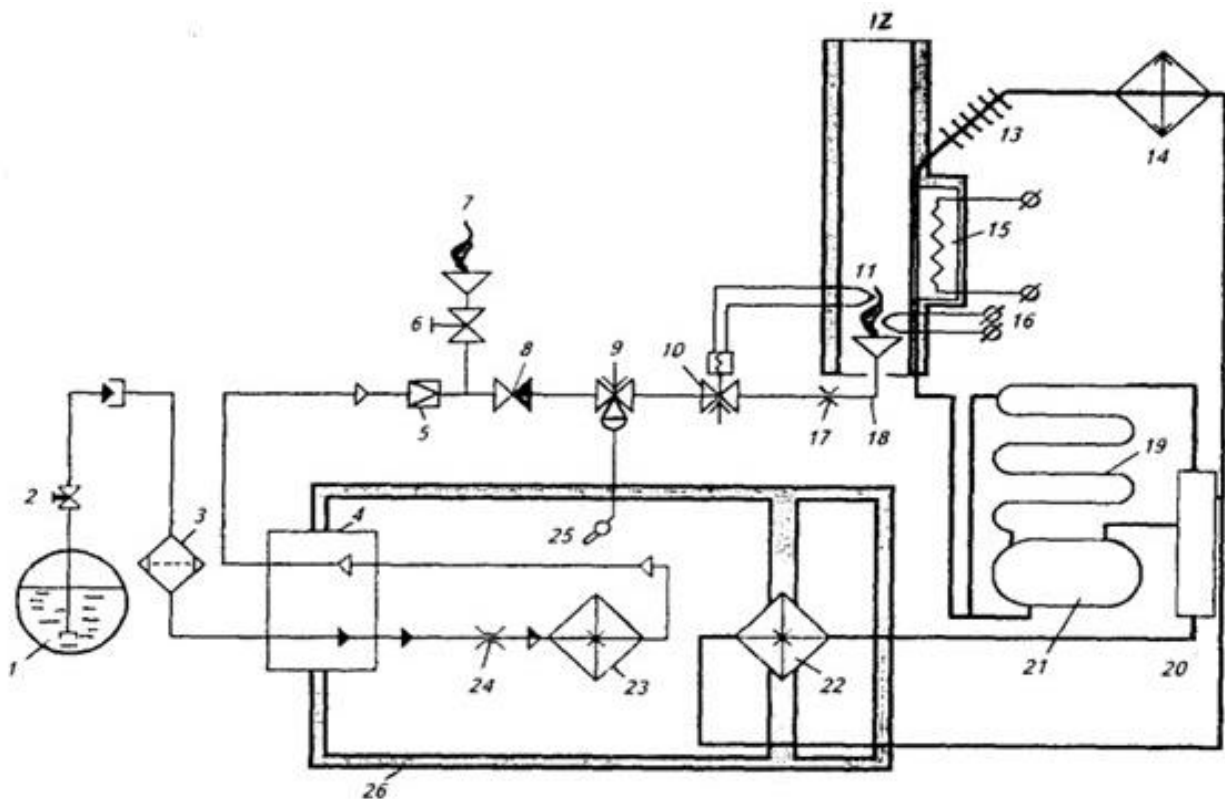


Рисунок 1 – Схема АХП з додатковим пропановим дросельним розімкненим холодильним агрегатом: 1 – балон із рідким пропаном; 2, 6 – ручні запірні вентилі; 3 – фільтр-осушувач; 4 – теплообмінник; 5 – редуктор тиску; 7 – додатковий пальник; 8 – зворотний клапан; 9 – терморегулятор з ручним налаштуванням; 10 – електромагнітний клапан з ручним налаштуванням; 11 – термопара; 12 – термосифон генераторного вузла; 13 – ректифікатор; 14 – конденсатор; 15 – жарова склянка з електронагрівачем; 16 – п'єзоелектричний запальник; 17, 24 – нерегульовані дроселі; 18 – основний пальник; 19 – абсорбер; 20 – газований теплообмінник; 21 – бачок абсорберу; 22, 23 – випарники; 25 – термобалон; 26 – холодильна шафа

Проте позитивні результати щодо температурних характеристик пов'язані зі значною додатковою витратою газу. Якщо при роботі АХП тільки на газовому енергоносії середня витрата його становила від 25 до 60 г/год, то при підключенні додаткового пропанового холодильного агрегату загальна масова витрата газу (основного та додаткового пальника) зросла від 140 до 160 г/год. Враховуючи, що період виходу на режим скоротився вдвічі, можна вважати, що при спільній роботі абсорбційного холодильника з пропановим холоди-

льним агрегатом масова витрата газу збільшиться лише на 20 або 25 %.

Відомо, що побутові та торгові АХП з газовим підігрівом більш економічні, порівняно з аналогічними електричними компресійними типами, так як вартість газу, що витрачається ними, менше вартості електрики [9, 10].

Холодильники з газовим підігрівом випускалися серійно в СРСР наступних модифікацій: ХШ-4Г, ХШ-3Г ("Північ-2"), "Північ-6", "Україна-2" [11]. Перший холодильник «Північ-2» із газовим

підігрівом був виготовлений московським заводом «Газоапарат».

Газопальниковий пристрій холодильника (рис. 2 та рис. 3) складається з газового пальника, регулятора тиску, відсікача пускового клапану та зонального пристрою.

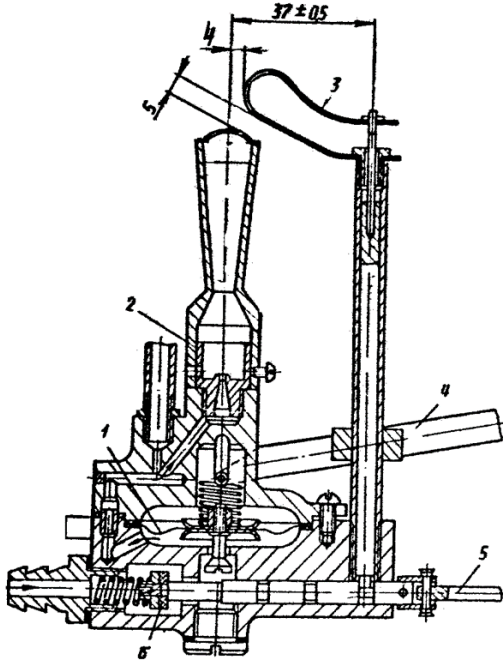


Рисунок 2 – Газопальниковий пристрій абсорбційного холодильника – пальник із регулятором тиску: 1 – мембранний регулятор; 2 – пальник; 3 – запобіжник; 4 – важіль; 5 – важіль для примусового відкриття клапану; 6 – клапани.

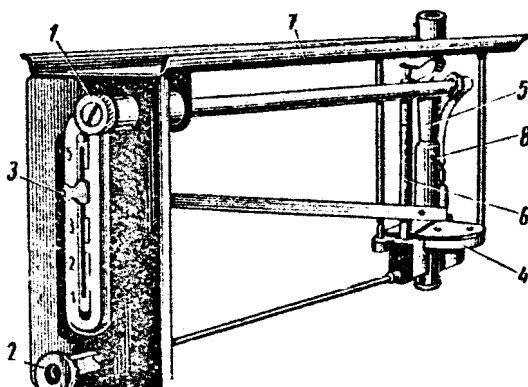


Рисунок 3 – Загальний вид газопальникового пристрою абсорбційного холодильника: 1 – трубка запальника; 2 – кнопка пускового клапану; 3 – ручка регулятора; 4 – корпус регулятора; 5 – пальник; 6 – автоматика безпеки; 7 – кронштейн; 8 – отвір для підсмоктування повітря.

Пальник має змішувальну трубку з насадкою, форсунку та регулятор повітря. Кількість повітря, що інжектуються, можна змінювати шляхом зміни перерізу отворів при обертанні регулятора. Регу-

лятор тиску призначений для стабілізації тиску газу перед пальником. Він може бути налаштований на тиск від 150 до 500 Па (від 15 до 50 мм вод. ст.). Тиск газу регулює важіль, рукоятку якого виведено на передню частину холодильника.

Цифра 5 на передній панелі газопальникового пристрою відповідає найбільшій подачі газу, а цифра 1 – найменшій. Від величини тиску залежить витрата газу і холодопродуктивність апарату. Відсікач газу призначений для припинення проходження газу в пальник і запальник, якщо полум'я згасла.

Він складається з біметалічної пружини та штовка. Пусковий клапан служить для подачі газу на запальник і пальник під час включення холодильника. Він має клапан із пружиною, втулку та шток. Запальник призначений для запалювання пальника в період пуску холодильника і складається з двох трубок рівного діаметра, одягнених одна на одну. Трубка більшого діаметра закінчується форсункою з кільцевим виходом газу і пересувається вздовж трубки меншого діаметра. Запальник запалюють, висунувши трубку. Після закінчення розпалювання основного пальника прохід газу на форсунку запальника припиняють, повернувши трубку більшого діаметра.

Схему АХП з комбінованими джерелами енергії наведено на рис. 4 [12].

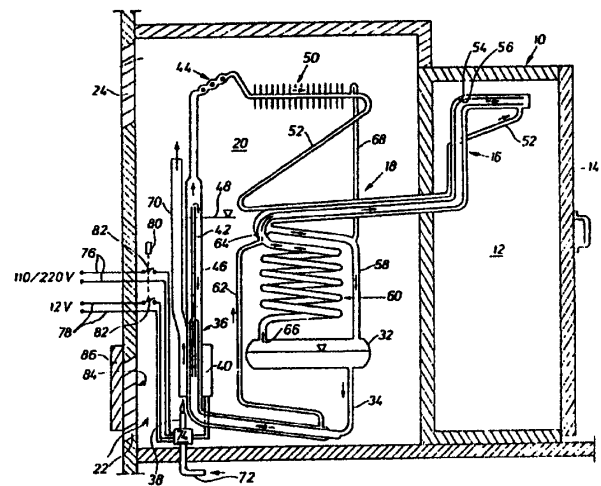


Рисунок 4 – Схема абсорбційного холодильника із комбінованими джерелами енергії: 10 – холодильна камера; 12 – об'єм, що охолоджується; 14 – двері камери; 16 – випарник; 18 – теплообмінник випарника; 20 – допоміжна камера; 22 (24) – входні (вихідні) повітряні жалюзі; 32 – бачок абсорберу; 34 – канал міцного розчину; 36 – канал слабого розчину; 38 – електромагістраль; 40 – гільза електронагрівача; 42 – термосифон; 44 – ректифікатор; 46 – кип'ятильник;

48 – рівень слабого розчину в окропі; 50 – конденсатор; 52 – трубка рідкого аміаку; 54 (56) – канал очищеної (насиченої) парогазової суміші (ПГС); 58 – опускна магістраль насиченої ПГС; 60 – абсорбер; 62 – канал слабого розчину; 64 – підйомна магістраль очищеної ПГС; 66 – вхід до абсорберу насиченої ПГС; 68 – зрівняльна магістраль; 70 – жарова труба; 72 – вхід газу; 76, 78 – підведення електричного навантаження; 80, 82 – пристрої керування електричним навантаженням; 84, 86 – пристрої керування повітряними жалюзі

У схемі використовується електричний струм (змінний 110 В і 220 В і постійний 12 В). Відмінною характеристикою конструкції є встановлення теплорозсіювальних елементів та генераторного вузла холодильного апарату за межами житлового приміщення. У цьому випадку може бути ефективно використаний температурний потенціал повітря навколишнього середовища, особливо в холодну пору року.

Однією з найперспективніших пропозицій у галузі тепловикористовуючих холодильних машин може вважатися використання сонячної енергії.

Зокрема, відомі пропозиції щодо використання сонячної енергії в конструкціях з проміжним теплопередавальним пристроєм на основі теплової труби, розміщеної у фокусі параболоциліндричного концентратора (рис. 5 [13]).

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 [14] полягає у створенні:

а) простого та недорогого пристрою для збору сонячної енергії, що є досить легким для того, щоб його міг встановлювати та знімати будь-який домовласник 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

стілки. 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. Канал для протікання газу між цими двома частинами обмежується елементом, що вловлює, і непроникною стінкою панелі.

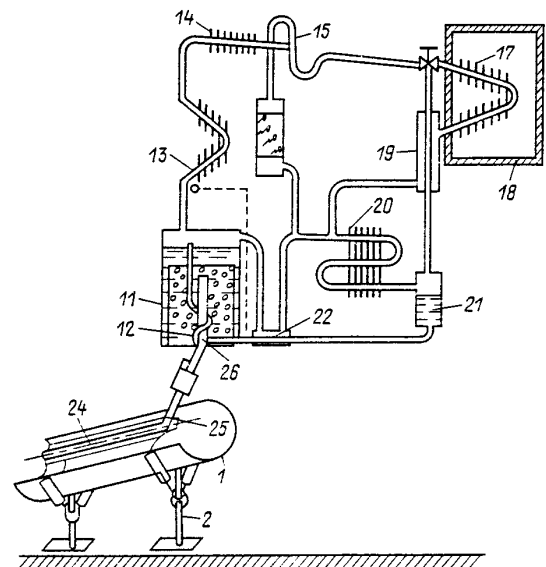


Рисунок 5 – Абсорбційний геліохолодильник із параболоциліндричним концентратором сонячної енергії: 1 – параболоциліндричний концентратор; 2 – опорно-поворотний пристрій; 11 – генератор з жаровою трубою і порожниною з теплоакуюлюючою речовиною; 12 – термосифон; 13 – дефлектор; 14 – конденсатор; 17 – випарник; 18 – холодильна шафа; 19 – газовий теплообмінник; 20 – абсорбер; 21 – ресивер міцного розчину; 22 – регенеративний теплообмінник; 24, 25, 26 – теплова труба

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 охолоджуючий абсорбент, з'єднаний з конденсором,

приймає холодоагент, що досорбується 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 абсорбується абсорбентом, причому цей цикл повторюється безперервно або переривчасто.

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 [12-14] 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 світлового дня може бути використаний наступний спосіб [15].

Щоб вловити достатню кількість сонячної енергії, концентратор має бути більшим — на один квадратний метр земної поверхні падає трохи більше 0,4 кВт. Традиційні конструкції концентра-

тора і приймача повинні бути постійно звернені до Сонця, отже, безперервно повертатися 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 запропонованого 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 (див. рис. 6).

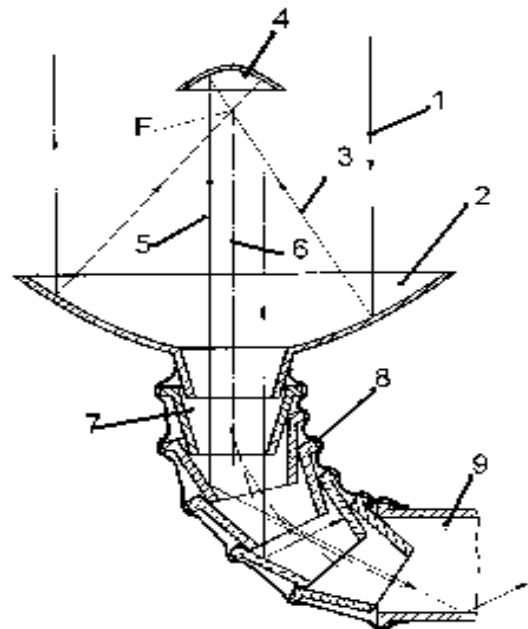


Рисунок 6 – Схема концентратора сонячної енергії: 1 – сонячний промінь, що падає; 2 – параболічний відбивач; 3 – відбитий промінь; 4 – вторинний параболічний відбивач; 5 – перевідбитий промінь; 6 – оптична вісь; 7 – конічні відбивачі; 8 – гнучка гофрована труба; 9 – циліндричний світловод

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 переоцінений промінь 5 паралельний оптичній осі 6. Всі перевідбиті промені падають на поверхні конічних відбивачів 7, укладених у гнучку гофровану поверхню, промінь виходить у циліндричний світловод 9 – трубку із дзеркальною внутрішньою поверхнею. Вигинаючи трубу, можна направити

світло у будь-який бік.

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 виконаний з дешевих матеріалів. Простота конструкції, висока надійність та довговічність основних її елементів компенсують не надто високий ККД пристрою.

Тим не менш, незважаючи на безліч технічних пропозицій, в даний час ще немає АХП, що працюють від сонячних джерел теплової енергії.

У зв'язку з цим актуальними стають експериментальні дослідження, в яких можна буде визначити перспективи подальших розробок АХП на сонячній енергії.

3. Експериментальні дослідження АХП, які працюють із сонячними джерелами теплової енергії

Серія експериментальних досліджень проводилась у стаціонарних умовах роботи АХП. Об'єктом досліджень був АХП «Київ» АЛ-35 (рис. 7).



Рисунок 7 – Загальний вигляд об'єкту досліджень спереду і ззаду

Схема експериментальної установки наведено на рис. 8.

Теплове навантаження, що підводиться в генератор абсорбційного холодильного приладу (АХП), варіювалося в діапазоні від 50 до 110 Вт через 10 Вт.

Нижня межа діапазону теплового навантаження генератора відповідає початку працездатності АХП в частині запуску термосифона, що перекачує.

Верхня межа теплового навантаження генератора обмежена зростанням температур та початком активних корозійних процесів [15-17].

Для знаходження алгоритму подачі комбінованого теплового навантаження було виконано експериментальні дослідження пускових режимів

АХП з неробочого стану.

Тривалість пускового періоду у наших дослідженнях обмежувалася виходом на стаціонарний режим холодильної камери АХП.

Початок стаціонарного режиму визначали за незмінністю температури обсягом холодильної камери.

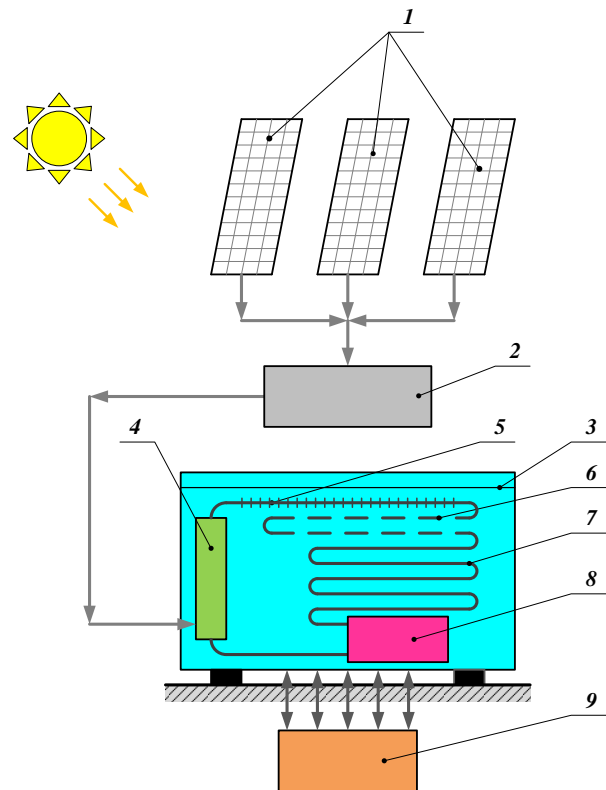


Рисунок 8 – Схема експериментальної установки: 1 – сонячні батареї; блок перетворення та стабілізації електричної енергії; 3 – корпус АХП; 4 – генераторний вузол АХА; 5 – конденсатор АХА; 6 – випарник АХА; 7 – абсорбер АХА; 8 – ресивер міцного розчину АХА; 9 – вимірювальний комплекс

Результати пускових режимів АХП типу «Київ» АЛ-35 (рис. 9) наведено на рис. 10. Аналіз результатів експериментальних досліджень показує наступне.

При мінімальному тепловому навантаженні в генераторі-термосифоні 50 Вт відбувається тривалий вихід стаціонарний режим, особливо у зоні підведення тепла. Коливання температур перевищує 50 °С і лише через 3 години досягається їхня стабілізація. Номінальний режим у холодильній камері (не більше 5 °С) досягається через 6 годин роботи.

Стрибки температур у зоні підведення тепла пов'язані із запуском генератора-термосифона та випарюванням водоаміачного розчину (ВАР) у міжтрубному просторі генератора-генератора.

При невеликому тепловому навантаженні в початковий період вся витрачається на підігрів та подальше випарювання ВАР у міжтрубному просторі. Пара виходить у дефлегматор і далі в конденсатор у вигляді окремих великих бульбашок. Розчин у міжтрубному просторі збіднюється за вмістом аміаку і рівень температур пароутворення різко зростає до 200...225 °С [18]. Міцний ВАР в міжтрубний простір не надходить, тому що в початковий момент термосифон, що перекачує, ще не включається через низьку інтенсивність теплообміну в паровій фазі.

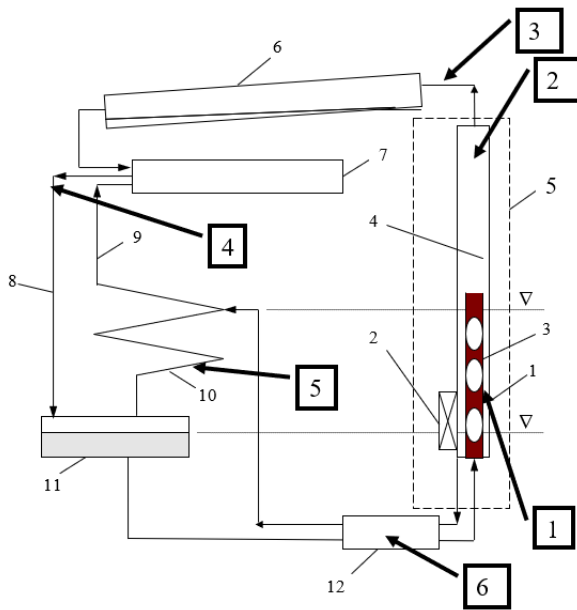
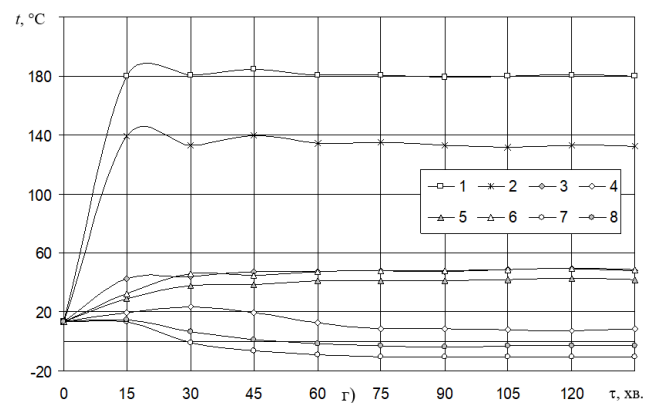
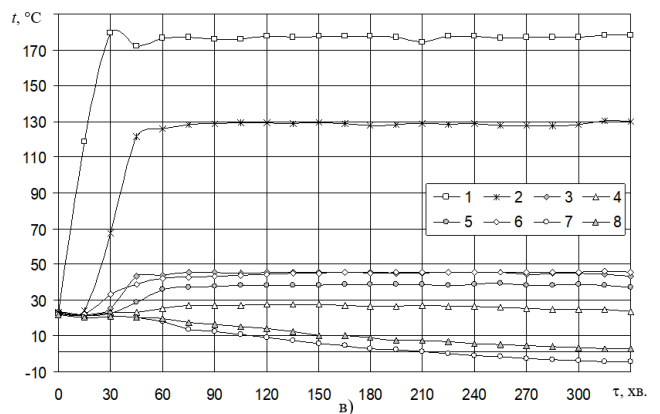
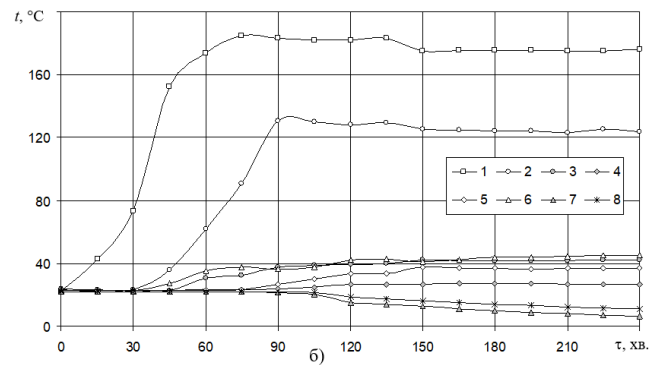
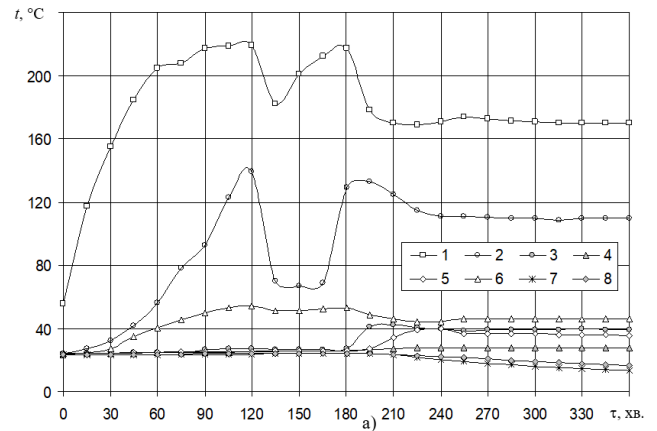


Рисунок 9 – Схема встановлення термопар у характерних точках холодильного апарату в АХП типу «Київ» (АЛ-35): 1 – кип'ятильник; 2 – електронагрівач; 3 – термосифон; 4 – дефлегматор; 5 – теплоізоляційний кожух; 6 – конденсатор; 7 – випарник; 8 (9) – опускна (підйомна) магістраль парогазового контуру; 10 – абсорбер; 11 ресивер рідкого розчину; 12 – теплообмінник розчинів; V_1 та V_2 – рівень міцного та слабого ВАР, відповідно; 1-6 – місця встановлення термопар

При досягненні 225 °С відбувається запуск термосифона, що перекачує, вже за рахунок перепаду температур між киплячим слабким ВАР у міжтрубному просторі і міцним ВАР у термосифоні.

Генератор-термосифон починає підкачування міцного ВАР у міжтрубний простір і через 1,5...2,0 год процеси у зоні підведення тепла стабілізуються стандартному робочому рівні температур. Загальний час стабілізації при 50 Вт теплового навантаження становив близько 4 год.

При збільшенні теплового навантаження, що підводиться, процес запуску перекачує термосифона і, відповідно, час виходу на режим АХП, скорочується.



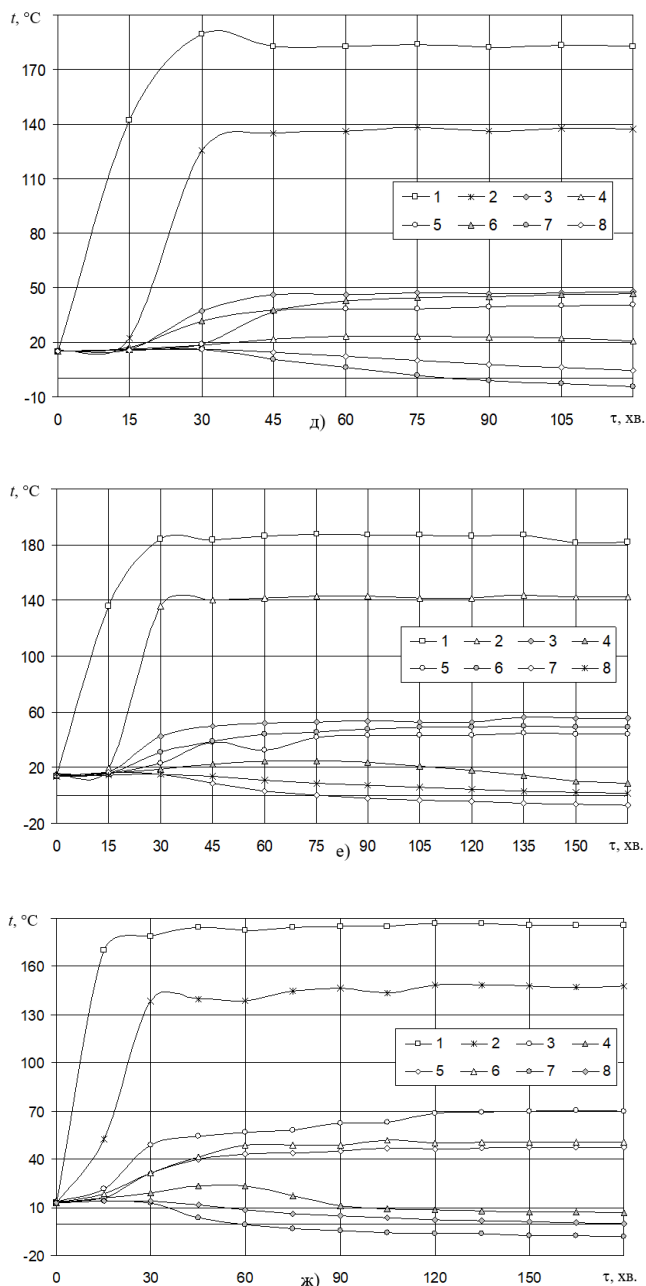


Рисунок 10 – Пускові характеристики (вихід на стаціонарний режим із неробочого стану) АХП типу «Київ» АЛ-35 при різних значеннях теплового навантаження генератора; позначення термопар 1-6 відповідають рис. 9; 7, 8 – ребро випарника і камера охолодження, відповідно:
 а) 50 Вт; б) 60 Вт; в) 70 Вт; г) 80 Вт;
 д) 90 Вт; е) 100 Вт; ж) 110 Вт

Так, стабілізація теплових режимів у зоні підведення тепла при 60 Вт досягається за 1,5 год, за 70 Вт – за 1 год, за 80...110 Вт – приблизно за однаковий час – 25...30 хв.

Відповідно при збільшенні від 80 до 110 Вт теплового навантаження, що підводиться, спостерігається і зростання температур у зоні підведення тепла до 180 °С.

Вихід на стаціонарний режим холодильної камери в даній серії експериментальних досліджень настає тільки при високих значеннях теплового навантаження, що підводиться – при 100 і 110 Вт приблизно через 3 год.

Якщо прийняти, що сонячні панелі працюють 10 год на добу, а мінімальне теплове навантаження за результатами цих досліджень 50 Вт, то для роботи протягом 14 год знадобиться 0,700 кВт·год електричної потужності. Таку потужність можна забезпечити за допомогою стандартного автомобільного акумулятора 70 А·год 12 В.

4. Висновки

Аналіз сучасного рівня техніки показує перспективи використання альтернативних електричних джерел теплової енергії для роботи абсорбційних холодильних систем.

Проведені експериментальні дослідження АХП типу «Київ» АЛ-35 із джерел теплової енергії від сонячних панелей показали його працездатність.

За результатами експериментальних досліджень доведено, що збільшення значень підведеного теплового навантаження від 50 Вт до 80 Вт призводить до скорочення часу пускового періоду, подальше її збільшення до 110 Вт практично не впливає на тривалість пускового періоду, але викликає зростання рівня температур пароутворення від 170 до 180 °С.

Для забезпечення цілодобової роботи АХП достатньо використовувати стандартний автомобільний акумулятор 70 А·год 12 В.

Особистий внесок авторів CRediT

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

Література

1. Генератори: виробник – Yamaha, Matari. URL: <https://motor.com.ua/generators.htm?876=1&352=1> (дата звернення 22.05.23).
2. **Тітлов О.С.** Сучасний рівень розробок та виробництва побутових абсорбційних холодильних приладів // Холодильний бізнес. – 2007. – № 8. – С. 12-17; № 9. – С. 28-30; № 10. – С. 47-49; № 11. – С. 46-47.

3. **Тітлов О.С.** Сучасний рівень розробок та виробництва побутових абсорбційних холодильних приладів та їх економічна // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2007. – № 9. – С. 9-17.
4. **Titlov A.S., Rybnikov M.V.** Tendenzen der Entwicklung von Hauschalt-Kuglund Gefieberten in der Ukraine und Untersuchungen neuer Arbeiterfahren // Die Kalte und Klimatechnik. – 1994. – № 6. – S. 386-388.
5. **Лубенець В.В.** Побутовий абсорбційний холодильник із додатковим пропановим холодильним агрегатом // Холодильна техніка. – 2000. – №12. – С. 18-19.
6. **Архаров А.М., Лубенець В.В.** Новий тип холодильної установки // Холодильна справа. – 1996. – №2. – С.11-12.
7. **Очеретяний Ю.О., Чернишов С.К., Тітлов О.С., Ширшко А.К.** Випробування на вітрильній яхті абсорбційного холодильника з пальником // Холодильна техніка та технологія. – 2006. – № 5. – С.49-51.
8. **Тітлов О.С.** Порівняння характеристик абсорбційної та компресійної побутової холодильної техніки // Холодильна техніка та технологія. – 1997. – № 57. – С. 39-41.
9. **Тітлов О.С., Василів О.Б.** Вартісні та екологічні експлуатаційні характеристики апаратів побутової холодильної техніки в Україні і країнах ЄС // Ринок інсталяційний. – 1998. – № 9. – С.18-20.
10. **Осадчук Є.О., Тітлов О.С.** Аналітичні залежності для розрахунку термодинамічних параметрів та теплофізичних властивостей водоаміачного розчину // Наукові праці ОНАХТ. – 2011. – Вип. 39. – Т.1. – С.178-182.
11. **Терехов А.А.** Ремонт холодильників абсорбційного типу. – М.: Легка промисловість, 1973. – 70 с.
12. **M.T. Walfridson, S.H. Farndahl.** Patent 0323820 ER, 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. – Bul. No. 89/28.
13. **З.І. Ашурли, М.Т. Гаджись, С.А. Пугач.** Патент 2036395, MKI F25 B 27/00. Абсорбційний геліохолодильник. – №92009125/06; Заявл. 30.11.92; Опубл. 10.08.94, Бюл. № 30.
14. **Т. Кей.** Пат. 4126014 США, MKI F25 B 27/00, F25 B15/00, F24 J 3/02. Абсорбційний холодильник з геліосистемою. – №795000; Заявл. 09.05.77; Опубл. 21.11.78.
15. **Ксенофонтowa Т.С., Марків Е.Я., Поляков Д.А., Ходаковська Т. А.** Вплив температури кипіння водоаміачного розчину на корозію в агрегаті побутового абсорбційного холодильника // Холодильна техніка. – 1986. – № 11. – С. 31-33.
16. **Янченко В.М., Казаков Е.А., Котельников А. В.** Експериментальне визначення характеристик генераторів абсорбційно-дифузійної холодильної машини // Холодильна техніка – 1978. – № 1. – С. 29- 31.
17. **Яровий С.В., Пилипенко А.М.** Вплив робочого тиску в холодильному агрегаті побутового абсорбційного холодильника на його надійність // Холодильна техніка. – 1989. – № 12. – С. 19-20.
18. **Богданов С.І. та ін.** Холодильна техніка. Властивості речовин. – вид. 3-те перероб. та дод. – М: Агропромиздат, 1985. – 208 с.

Отримана в редакції 22.05.2023, прийнята до друку 12.06.2023

Experimental studies of absorption refrigeration devices when working with solar panels

Liudmyla Berezovska¹, Oleksandr Titlov²

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

✉ e-mail: ²titlov1959@gmail.com

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

An analysis of the current state of technology shows the prospects for the development of alternative electric heat energy sources for the operation of absorption refrigeration devices (ARDs). It is important in today's minds that the working body of the ARDs is a water-amonia mixture with the addition of inert gas (water, helium or their mixtures) to natural refrigerants and is also absolutely environmentally friendly (maybe zero the significance of the ozone potential and the potential of the "greenhouse" effect). Before achieving the ARDs, it is necessary to maintain minimal heat among the most common types of refrigeration equipment with low cooling capacity, which in many cases means their popularity among consumers. Of particular interest may be ARDs models that use alternative, non-electric thermal energy sources in their work. A series of experimental studies were carried out at the stationary centers of the ARDs. The object was monitored by

the ARDs "Kiev" AC-35. The thermal energy supplied to the ARD generator was varied in the range of 50 W to 110 W at 10 W intervals. The lower range of thermal absorption of the generator indicates the effectiveness of the ARD in terms of starting the thermosiphon that is pumped. The upper boundary of the thermal zone of the generator is surrounded by increasing temperatures and the beginning of active corrosion processes. In order to find an algorithm for supplying combined thermal energy, an experimental study of the starting modes of the ARD from a non-operating mill was carried out. The duration of the start-up period in our investigations was punctuated by the entry into stationary mode of the ARD refrigeration chamber. The principle of stationary mode was determined due to the invariability of the temperature in the refrigerating chamber. It has been proven that in order to ensure the safety of the ARD cycle, it is sufficient to use a standard car electric battery with a 70 A-hours 12 V battery.

Keywords: Energy saving; Alternative energy sources; Solar panels; Thermal-corrosive refrigeration units; Absorption refrigeration device; Experimental research; Thermosiphon generator; Boiler; Two-phase flows

References

- Generators: manufacturer – Yamaha, Matari. Retrived 22 May 2023 from <https://motor.com.ua/generators.htm?876=1&352=1>.
- Titlov, O.S.** (2007) Modern level of development and production of household absorption refrigerating appliances. *Refrigeration business*, 8, 12-17; 9, 28-30; 10, 47-49; 11, 46-47.
- Titlov, O.S.** (2007) Modern level of development and production of household absorption refrigerating devices and their economic. *Energy saving. Energy. Energy audit*, 9, 9-17.
- Titlov A.S., Rybnikov M.V.** (1994) Trends in the development of household equipment in Ukraine and studies of new worker experiences. *Cold and air conditioning technology*, 6, 386-388.
- Lubenets, V.V.** (2000) Household absorption refrigerator with an additional propane refrigeration unit. *Refrigeration technology*, 12, 18-19.
- Arkharov, A.M., Lubenets, V.V.** (1996) A new type of refrigeration plant. *Refrigeration business*, 2, 11-12.
- Ocheretyanyi, Yu.O., Chernyshov, S.K., Titlov, O.S., Shirshko, A.K.** (2006) Testing of an absorption refrigerator with a burner on a sailing yacht. *Refrigeration engineering and technology*, 5, 49-51.
- Titlov, O.S.** (1997) Comparison of the characteristics of absorption and compression household refrigeration equipment. *Refrigeration engineering and technology*, 57, 39-41.
- Titlov, O.S., Vasylyv, O.B.** (1998) Cost and environmental performance characteristics of household refrigeration appliances in Ukraine and the countries of the European Union. *Installation market*, 9, 18-20.
- Osadchuk, E.O., Titlov, O.S.** (2011) Analytical dependences for calculating thermodynamic parameters and thermophysical properties of a water-ammonia solution. *Scientific works of ONAFT*, 39, 178-182.
- Terekhov A.A.** (1973) Repair of absorption type refrigerators. *M.: Light Industry*, 70.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ksenofontova, T.S., Markiv, E.Ya., Polyakov, D.A., Khodakovska, T.A.** (1986) The influence of the boiling temperature of a water-ammonia solution on corrosion in the aggregate of a household absorption refrigerator. *Refrigeration technology*, 11, 31-33.
- Yanchenko, V.M., Kazakov, E.A., Kotelnikov, A.V.** (1978) Experimental determination of the characteristics of the generators of the absorption-diffusion refrigerating machine. *Refrigeration technology*, 1, 29-31.
- Yarovyj, S.V., Pylypenko, A.M.** (1989) The influence of the working pressure in the refrigerating unit of a household absorption refrigerator on its reliability. *Refrigeration technology*, 12, 19-20.
- Bogdanov, S.I. et al.** (1985) Refrigeration equipment. Properties of substances. ed. 3rd rev. and add. *M: Agropromizdat*, 208.

Received 22 May 2023

Approved 12 June 2023

Available in Internet 30 June 2023