

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.575.04:620.97:648.35

Розробка побутових комбінованих приладів абсорбційного типу, що поєднують функції холодильного зберігання і теплової обробки**О. С. Тітлов¹✉, Д. В. Дмитренко²**¹⁻²Одеський національний технологічний університет, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна✉ e-mail: ¹titlov1959@gmail.comORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0003-1908-5713>; ²<http://orcid.org/0009-0005-6076-4154>

Перспективним напрямом енергозбереження у побутовій техніці може стати розробка приладів, що поєднують функції холодильного зберігання та теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів та сільськогосподарської сировини. У таких побутових комбінованих приладах теплота, що виділяється при реалізації холодильного циклу, не відводиться відразу в навколишнє середовище, а передається в спеціальну теплову камеру (ТК), при цьому в обсязі ТК підтримується температура вище, ніж температура повітря в приміщенні. Ефект енергозбереження досягається за рахунок розширення функціональних можливостей побутових приладів без залучення додаткових енерговитрат. Запропоновано оригінальні конструкції комбінованих побутових апаратів абсорбційного типу, наведено опис їх роботи, переваги та недоліки, сфери застосування. Аналіз можливих варіантів застосування технологічних процесів у побутовому комбінованому приладі показав доцільність розробки двох основних типів ТК – повітряного типу та у вигляді ємності для рідини. Для реалізації в побуті переважної кількості харчових технологій достатнім є діапазон температур 50...70 °С. У сучасній побутовій холодильній техніці такий діапазон температур можуть забезпечити тільки абсорбційні холодильні агрегати (АХА). Показано перспективи застосування моделей з паликовими джерелами теплового навантаження генераторів АХА і конструкцій з гнучкими теплопередаючими пристроями. Отримано розрахунки геометричних параметрів теплоізоляції ТК у вигляді номограм, за якими залежно від теплового навантаження підйомної ділянки дефлегматора АХА та обсягу ТК можна знайти товщину теплоізоляції, виконаної зі скловолокна або ППУ. Як показали розрахунки для ТК, виконаної у вигляді ємності для рідини, товщину теплової ізоляції, отриману за допомогою номограм, слід збільшити в середньому на 5 %.

Ключові слова: Побутова техніка; Абсорбційний холодильний агрегат; Додаткова теплова камера; Температурні режими; Теплові труби; Термосифони; Енергозбереження

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3351>

© The Author(s) 2025. 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**

Аналіз теплових режимів абсорбційних холодильних агрегатів (АХА) показав, що перспективним напрямом в енергозбереженні може стати розробка побутових приладів, що поєднують функції холодильного зберігання та теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів та сільськогосподарської сировини [1-4].

У таких комбінованих побутових приладах теплота, що виділяється при реалізації холодильного циклу, не відводиться в довкілля, а прямує до спеціальної додаткової теплової камери (ТК). В обсязі ТК підтримується температура вище температури повітря в приміщенні.

Ефект енергозбереження досягається за рахунок того, що температурні режими ТК підтримуються без залучення додаткових енерговитрат.

На попередньому етапі розробки побутових комбінованих приладів був наведений аналіз технологій, що використовують термічну обробку продуктів, напівфабрикатів та сировини. Показано, що для реалізації в побуті переважної кількості харчових технологій достатнім є діапазон температур 50...70 °С.

Використання ТК можливе для [7-8]:

- а) підтримання температури на певному рівні;
- б) підігріву продукту до заданої температури;
- в) різних видів технологічної обробки, в результаті якої може бути отриманий новий продукт (сушіння, в'ялення, бродіння та ін.).

У сучасній побутовій холодильній техніці такий діапазон температур відведення тепла холодильного циклу може бути отриманий тільки АХА [7]. Аналіз температурних полів теплорозсіювальних елементів АХА показав, що необхідний температурний потенціал (понад 70 °С) має опускную та підйомну ділянку дефлегматора та ректифікатор (рис. 1).

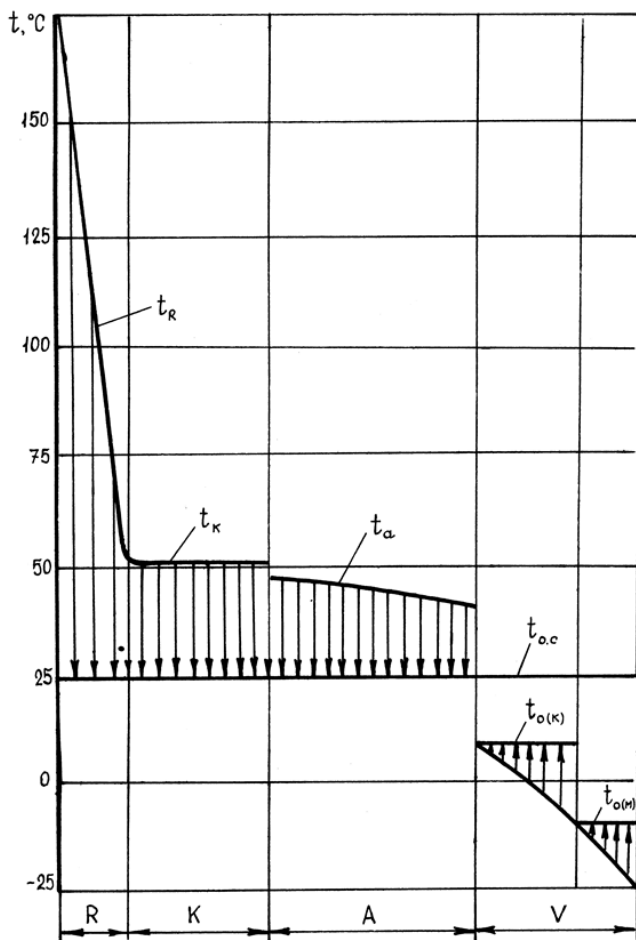


Рисунок 1 – Температурні поля елементів АХА:

R – опускна ділянка дефлегматора – ректифікатор – підйомна ділянка дефлегматора;
K – конденсатор; *A* – абсорбер; *V* – випарник.

В опускній ділянці дефлегматора та в ректифікаторі проходить паровий потік водоаміачної суміші, який використовується для попереднього підігріву потоку міцного ВАР на вході генератора, тому відбір тепла в цих зонах впливає на ефективність циклу АХА.

Таким чином, проводити відбір тепла на необхідному для роботи ТК температурному рівні слід тільки з повністю теплоізолюваної підйомної ділянки дефлегматора АХА.

2. Розробка конструкцій побутових комбінованих приладів абсорбційного типу

Аналіз можливих варіантів застосування технологічних процесів у побутовому комбінованому приладі показав доцільність розробки двох основних типів ТК – повітряного типу та у вигляді ємності для рідини.

В останньому випадку ТК можуть використовуватися для підігріву води на господарські потреби та для теплової обробки харчових рідин (харчових розчинів, молока, соків, браги тощо).

Розроблено різні конструкції побутових комбінованих приладів абсорбційного типу, що відрізняються (рис. 2) [1-8]:

а) способом передачі тепла від елементів АХА до ТК (безпосередній контакт дефлегматора і ТК, використання проміжних теплопередаючих пристроїв, у тому числі і з ефектом «осмосу» [6]);

б) розташуванням ТК у складі комбінованого побутового приладу (згори холодильної шафи або в її нижній частині або окремо від холодильної шафи);

в) конструктивним виконанням ТК (однокамерна, двокамерна, наявність діодних ДФТС);

г) джерелом тепла для ТК і, відповідно, температурним рівнем в ТК (конденсатор, підйомна ділянка дефлегматора).

Для усунення взаємного теплового впливу ТК та камер АХП було розроблено конструкцію побутового комбінованого приладу абсорбційного типу з окремо розташованими камерами (рис. 3). Крім цього така конструкція дозволяє виконувати відносно вільну компоновку побутового комбінованого приладу в просторі.

Тепловий зв'язок між ТК і підйомною ділянкою дефлегматора здійснюється за допомогою гнучких термосифонів, причому термосифони можуть бути як двофазні, так і однофазні. Обов'язковою умовою буде встановлення теплоізоляційного

кожуха на транспортній зоні між дефлегматором і поверхнями ТК, що сприймають тепло, а для од-

нофазних термосифонів необхідно передбачити поворотну магістраль.

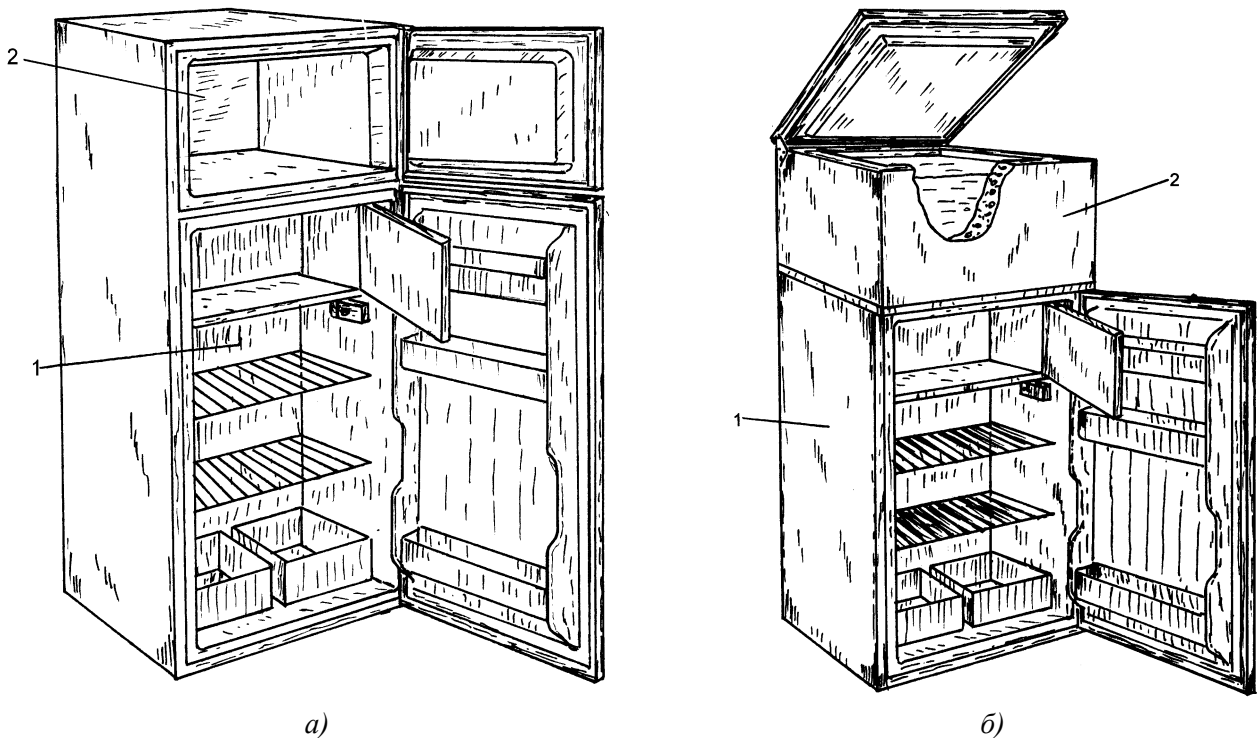


Рисунок 2 – Основні типи побутових комбінованих приладів абсорбційного типу:
а) повітряної ТК; б) з ТК як ємності для рідини

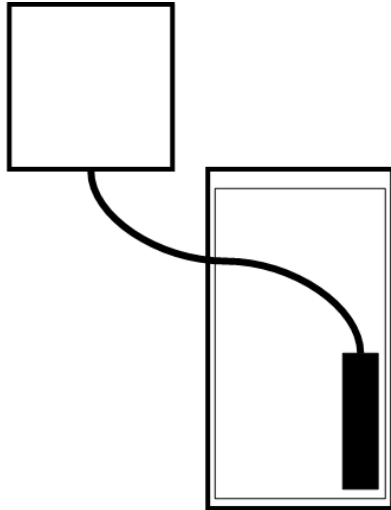


Рисунок 3 – Варіант виконання побутового комбінованого приладу абсорбційного типу із довільним розташуванням ТК: 1 – корпус ХК; 2 – ТК; 3 – проміжний гнучкий теплопередавальний пристрій; 4 - генераторний вузол АХА.

Система теплопередачі на основі гнучких термосифонів проста у виготовленні і може бути встановлена безпосередньо в місці розташування побутового комбінованого приладу. Теплоносій однофазного термосифона – вода.

Підйомна магістраль однофазного термосифона може бути безпосередньо пов'язана з об'ємом ТК, що виконана у вигляді рідинної ємності.

У цьому випадку рідина, що нагрівається, буде циркулювати між дефлегматором і ТК в режимі природної конвекції, тобто. буде організовано своєрідний циркуляційний контур.

У цій схемі відсутні проміжні теплопередавальні пристрої та термічний опір між джерелом теплового навантаження та об'єктом впливу (рідкістю) мінімально.

Слід зазначити, що внутрішній термічний опір термосифонів, у тому числі однофазних незначно, в порівнянні з контактним термічним опором в зонах відведення та підведення тепла. Тому виведення з теплової схеми контактних термічних опорів робить визначальний внесок в інтенсифікацію теплопередачі.

Перспективною з точки зору використання непридатного тепла представляється і схема комбінованого побутового апарату абсорбційного типу, в якій як джерело теплового навантаження генератора АХА використовується паликовий пристрій, а витяжний канал відхідних газів, що мають температуру 350 ... 450 °С [3] (Рис. 4).

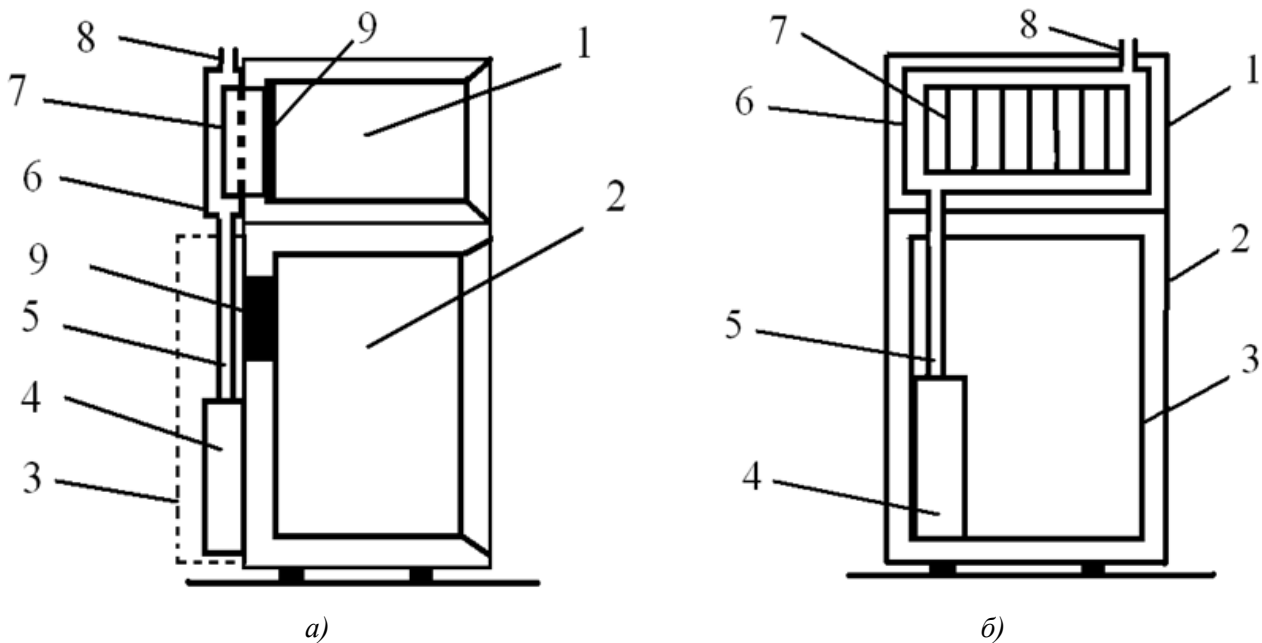


Рисунок 4 – Конструкція побутового комбінованого приладу абсорбційного типу з пальником:
 а) вид збоку; б) вид ззаду. 1 – ТК; 2 – ГК; 3 – АХА на задній стінці холодильної шафи;
 4 – генераторний вузол АХА; 5 – витяжний канал газів, що відходять; 6 – кожух ТК; 7 – ребра;
 8 – вентиляційна система; 9 – задня стінка ТК.

Задня стінка 9 внутрішнього корпусу ТК має 1 зовнішні ребра 7 у вигляді вертикальних ребер. Відхідні гази з генераторного вузла 4 теплоізовано-го каналу 5 надходять у кожух 6, встановлений на задній стінці ТК 1, а потім виходять у вентиляційну систему по каналу 8.

Як показали оціночні розрахунки, тепловий потік до ТК від газів, що відходять, може становити від 60 до 90 Вт, що перевищує можливості способу використання непрямого тепла циклу АХА.

Недолік схеми з використанням тепла газів, що відходять пов'язаний з необхідністю частого очищення теплосприймаючих поверхонь ТК від сажі, що утворюється в процесі експлуатації.

3. Моделювання робочих режимів теплових камер у складі побутових комбінованих приладів абсорбційного типу

Через відсутність теоретичних основ використання теплих труб (ТТ) або двофазних термосифонів (ДФТС) як елементи теплового зв'язку зони теплорозсіювання з корисним обсягом ТК, у тому числі і в пускових і перехідних (нестационарних) режимах, проводити інженерну розробку реальних конструкцій неможливо.

Для вирішення такого завдання необхідно розробити нестационарну три-вимірну модель температурних полів типових теплоізоляційних кон-

струкцій ТК у складі побутових комбінованих приладів абсорбційного типу

В основі математичного опису нестационарних температурних полів теплоізоляційних конструкцій АХП лежить чисельний метод кінцевих різниць, в якому тверде тіло представляють у вигляді сукупності вузлів (n) і для кожного вузла записують баланс енергії (з урахуванням граничних умов), отримуючи в результаті алгебраїчне у.

У нашому випадку для розв'язання системи з n -алгебраїчних рівнянь використано матричний метод, заснований на поданні системи рівнянь балансу енергії вузлів у формі матриці (неявний метод).

Неявний чисельний метод стійкий при всіх величинах кроків по простору та часу, що є важливим при вирішенні оптимізаційних завдань. Однак чим дрібніші кроки, тим точніше значення температур, оскільки зменшуються помилки апроксимації похідних кінцевими різницями. Недоліком методу вважають необхідність вирішення системи рівнянь алгебри, що в даний час легко усувається використанням сучасної обчислювальної техніки.

Елементи конструкції камери (внутрішній та теплоізоляційний корпус) представлялися у вигляді сукупності вузлів. У загальному випадку вузли є центрами елементарних паралелепіпедів, на які розбито тверде тривимірне тіло, при цьому кожен елементарний паралелепіпед має розміри X (у на-

прямку осі X), Y (у напрямку осі Y) і Z (в напрямку осі Z).

Основними припущеннями при формуванні масиву рівнянь теплового балансу елементарних вузлів були:

а) термічний опір в зоні контакту двох різних твердих тіл і внутрішнього корпусу, виконаного з алюмінію, в напрямку осі Z (по товщині) нехтує мало;

б) теплообмін між торцевими поверхнями стінок та дверима (кришкою) відсутня;

в) тепловий потік з конденсатора ДФТС передається рівномірно на кожен елементарну ділянку внутрішнього корпусу в зоні теплового зв'язку та подається у вигляді джерела внутрішнього тепловиділення;

г) тепло-холодоакумуляуючий матеріал представляється у вигляді джерела внутрішнього тепла (холоду) і розташований у вузлах, пов'язаних з джерелами зовнішнього теплового впливу (конденсаторів ДФТС або випарником АХА);

д) товщина внутрішнього корпусу камер однакова.

Вихідними даними для всіх типів камер були:

а) геометричні розміри камер:

1) глибина, ширина, висота;

2) товщина внутрішнього корпусу та теплоізоляційного покриття кожної стінки;

б) температура повітря в приміщенні та в камерах;

в) коефіцієнти теплопровідності матеріалу теплоізоляції та внутрішнього корпусу.

г) КРВ АХП.

Запис балансу енергії проводиться для деякого вузла «0», оточеного шістьма сусідніми вузлами. У нестационарному режимі баланс енергії для вузла «0» тривимірного тіла за відсутності внутрішнього тепловиділення можна записати як:

$$\sum_{i=1}^6 q_{i \rightarrow 0} = \frac{\partial U_0}{\partial t}, \quad (1)$$

де U_0 – внутрішня енергія у вузлу «0».

Для i -тої складової на основі закону Фур'є можна записати:

$$q_{i \rightarrow 0} \approx k \Delta F_i \frac{T_i^t - T_0^t}{\Delta l_i}, \quad (2)$$

де ΔF_i – площа теплообміну, m^2 ; Δl_i – відстань між

i -тим вузлом та вузлом «0», м.

Індекс t в рівнянні (1) означає, що температури повинні розраховуватися в момент часу t .

Зміна внутрішньої енергії у вузлу «0» у припущенні, що щільність та питома теплоємність матеріалу постійні, виражається співвідношенням:

$$\frac{\partial U_0}{\partial t} \approx mc \frac{\Delta T}{\Delta t} = \rho F \Delta l c \frac{T_0^{t+\Delta t} - T_0^t}{\Delta t}. \quad (3)$$

Розрахунок товщини теплової ізоляції огорожувальних конструкцій ТК було проведено з тепловим навантаженням на ділянці підйомної дефлегматора 19...22 Вт, тобто. під час роботи типового абсорбційного однокамерного холодильника з НТО типу «Кристал-408» АШ-150 у номінальному режимі.

Товщини теплоізоляції бічних стінок, дна та кришки визначені в результаті розрахунку нестационарних температурних полів на основі математичної моделі, наведеної [9].

При цьому враховувалися:

а) орієнтація стінок ТК та її тепловий зв'язок із НТО;

б) конструктивні особливості ТК (камера повітряного типу виконана як шафи, а ємність для рідини – як скрині);

в) КРВ серійного абсорбційного однокамерного холодильника з НТО типу «Кристал-408» АШ-150.

Для створення запасу розрахунок проведений при температурі повітря навколишнього середовища 20°C і значення КРВ = 0,55.

Результатом розрахунку стали чисельні значення товщини теплоізоляції, які дозволяють підтримувати температуру в заданому об'ємі ТК, що дорівнює 70°C , при цьому задане і теплове навантаження підйомної ділянки дефлегматора.

Результати розрахунку представлені у вигляді номограм (рис. 5 та рис. 6) для ТК повітряного типу, які мають найбільші перспективи застосування порівняно з рідинними. Розглянуто два варіанти теплоізоляції – ППУ (рис. 5) та скловолокно (рис. 6). У номограмах зафіксовано зовнішню ширину (0,57 м) та глибину (0,54 м) ТК, відповідно до розмірів холодильної шафи моделі «Кристал-408» АШ-150.

Як показали розрахунки для ТК, виконаної у вигляді ємності для рідини, товщину теплової ізоляції, отриману за допомогою номограм, слід збільшити в середньому на 5 %.

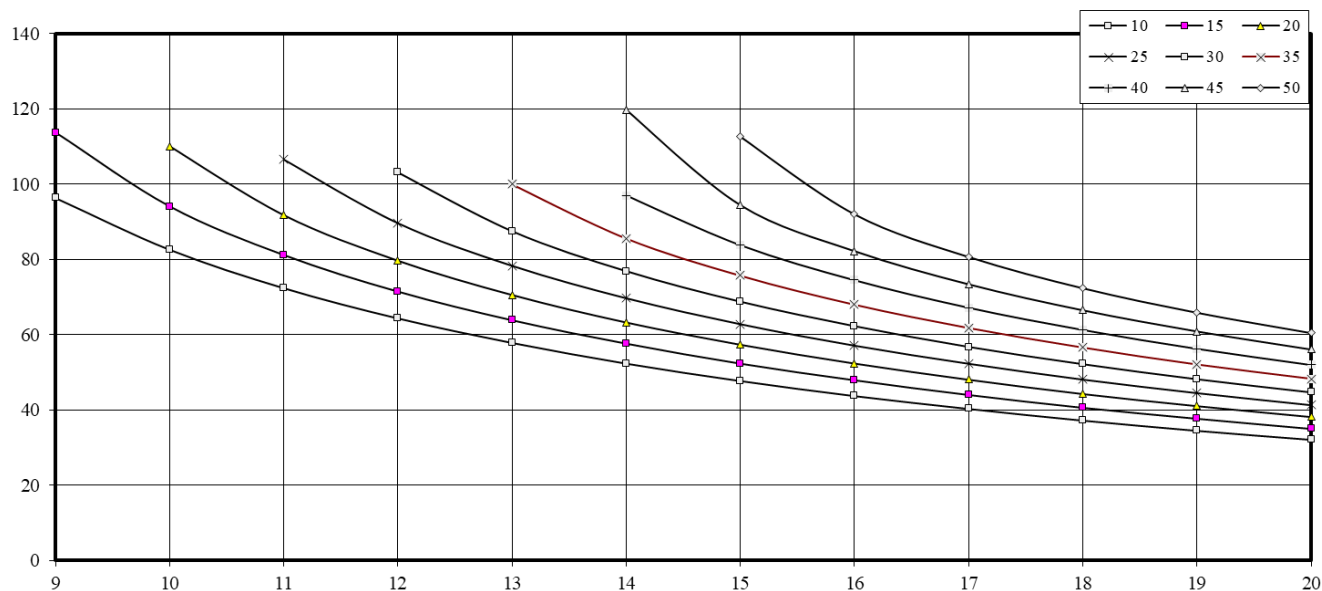


Рисунок 5 – Залежність визначення товщини теплової ізоляції огорожувальних конструкцій ТК з теплового навантаження підйомного ділянки дефлегматора (9...20 Вт) і значення корисного обсягу ТК (10... 50 дм³). Матеріал теплової ізоляції – пінополіуретан).

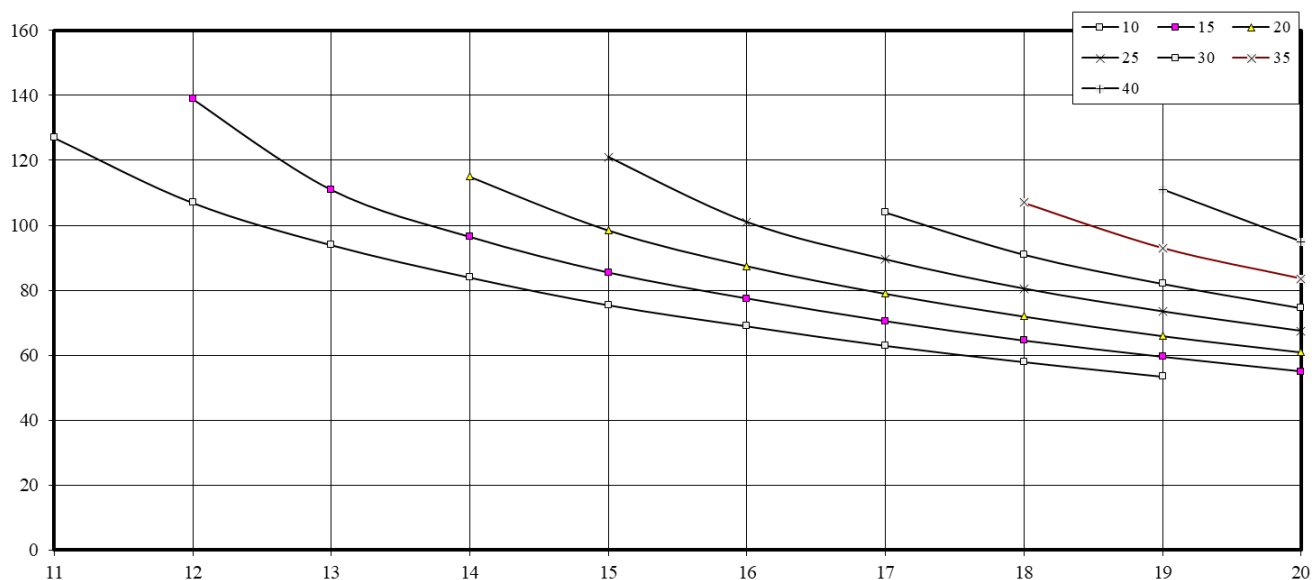


Рисунок 6 – Залежність визначення товщини теплової ізоляції огорожувальних конструкцій ТК з теплового навантаження підйомного ділянки дефлегматора (11...20 Вт) і значення корисного обсягу ТК (10... 40 дм³). Матеріал теплової ізоляції – скловолокно.

4. Висновки

Перспективним напрямом енергозбереження у побутовій техніці може стати розробка приладів, що поєднують функції холодильного зберігання та теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів та сільськогосподарської сировини. У таких побутових комбінованих приладах теплота, що виділяється при реалізації холодильного циклу, не відводиться відразу в навколишнє середовище, а передається в спеціальну ТК, при цьому в

обсязі ТК підтримується температура вище, ніж температура повітря в приміщенні. Ефект енергозбереження досягається за рахунок розширення функціональних можливостей побутових приладів без залучення додаткових енерговитрат.

Для реалізації в побуті переважної кількості харчових технологій достатнім є діапазон температур 50...70 °С. У сучасній побутовій холодильній техніці такий діапазон температур можуть забезпечити тільки АХА, при цьому як джерело теплового навантаження додаткової ТК слід викорис-

товувати підйомні ділянки дефлегматора.

Запропоновано оригінальні конструкції комбінованих побутових апаратів абсорбційного типу, наведено опис їх роботи, переваги та недоліки, сфери застосування. Показано перспективи застосування моделей з палинковими джерелами теплового навантаження АХА і конструкцій з гнучкими теплопередаючими пристроями.

Результати розрахунку параметрів теплоізоляції додаткових ТК наведені у вигляді номограм, за якими залежно від теплового навантаження підйомної ділянки дефлегматора АХА та обсягу ТК можна знайти товщину теплоізоляції, виконаної зі скловолокна або ППУ.

Особистий внесок авторів CRediT

Тітлов О.С.: концептуалізація ідеї, методологія, формальний аналіз, написання – оригінальний проект, адміністрування. **Дмитренко Д.В.:** аналіз та узагальнення даних, перевірка, візуалізація, дослідження, програмне моделювання.

Література

1. Titlov A.S., Rybnikov M.V. Tendenzen der Entwicklung von Haushalts-Kuglund Gefieberten in der Ukraine und Untersuchungen neuer Arbeiterfahren // Die Kalte und Klimatechnik. – 1994. – № 6. – S. 386-388.
2. Тітлов О.С. Сучасні тенденції розвитку побутової абсорбційної холодильної техніки // Наукові

праці Одеської державної академії харчових технологій. – 1998. – № 18. – С. 205-208.

3. Тітлов О.С. Розробка побутової абсорбційної холодильної техніки різного функціонального призначення з використанням сучасних технологій // Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій. – 1997. – № 17. – С. 266-272.
4. Тітлов О. С., Захаров М. Д., Василів О. Б., Вольневич С. В. Деклараційний патент № 47866А Україна, МПК7 F 25 D 11/02. Комбінований абсорбційний холодильник. – № 2001106933; заявл. 11.10.01; опубл. 15.07.02, Бюл. № 7.
5. Тітлов О. С., Захаров М. Д., Василів О. Б., Вольневич С. В. Деклараційний патент № 47751А Україна, МПК7 F 25 B 15/10. Комбінований абсорбційний холодильник. – № 2001096073; заявл. 04.09.2001; опубл. 15.07.02, Бюл. № 7.
6. Тітлов О. С., Вольневич С. В., Василів О. Б., Халайджі В. Н. Перспективи використання ефекту осмосу в холодильній техніці // Холодильна техніка і технологія. – 2000. – № 69. – С. 24-32.
7. Тітлов О. С., Василів О. Б. Розробка нового типу побутових апаратів // Холодильна справа. – 1997. – № 3. – С. 21.
8. Тітлов О. С. Апарати для комбінованої термічної обробки харчових продуктів // Аграрна наука. – 1997. – № 5. – С. 42-43.
9. Василів О.Б. Моделювання теплових режимів нагрівальних камер комбінованих побутових апаратів абсорбційного типу // Холодильна техніка та технологія. – 2003. – № 2. – С. 13-18.

Отримана в редакції 11.11.2025, прийнята до друку 28.11.2025

Development of combined household absorption-type appliances combining refrigerated storage and heat treatment functions

Oleksandr Titlov^{✉1}, Dmytro Dmytrenko²

^{1,2}Odesa National University of Technology, 112 Kanatnaya Str., Odesa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: ¹titlov1959@gmail.com

ORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0003-1908-5713>; ²<http://orcid.org/0009-0005-6076-4154>

A promising direction of energy saving in household appliances may be the development of devices that combine the functions of refrigerated storage and heat treatment of food products, semi-finished products and agricultural raw materials. In such household combined devices, the heat released during the implementation of the refrigeration cycle is not immediately discharged into the environment, but is transferred to a special thermal chamber (TC), while the temperature in the TC is maintained higher than the air temperature in the room. The energy saving effect is achieved by expanding the functional capabilities of household appliances without involving additional energy consumption. Original designs of combined household absorption-type appliances are proposed, their operation, advantages and disadvantages, and scope of application are described. An analysis of possible options for applying technological processes in a household combined device showed the feasibility of developing two main types of TCs – air-type and in

the form of a liquid container. For the implementation of the majority of food technologies in everyday life, the temperature range of 50...70 °C is sufficient. In modern household refrigeration equipment, only absorption refrigeration units (ARU) can provide such a temperature range. The prospects for the use of models with burner sources of heat load of ARU generators and structures with flexible heat transfer devices are shown. Calculations of the geometric parameters of thermal insulation of TC in the form of nomograms are obtained, according to which, depending on the heat load of the lifting section of the ARU dephlegmator and the volume of TC, the thickness of thermal insulation made of fiberglass or polyurethane foam can be found. As calculations for TC made in the form of a liquid tank have shown, the thickness of thermal insulation obtained using nomograms should be increased by an average of 5%.

Keywords: Household appliances; Absorption refrigeration unit; Additional thermal chamber; Temperature regimes; Heat pipes; Thermosyphons; Energy saving

References

1. Titlov, A.S., Rybnikov, M.V. (1994) Trends in the development of domestic heating systems and ventilation in Ukraine and investigations of new working methods. *Refrigeration and air conditioning technology*, 6, 386-388.
2. Titlov, O.S. (1998) Modern trends in the development of household absorption refrigeration equipment. *Scientific works of the Odesa State Academy of Food Technologies*, 18, 205-208.
3. Titlov, O.S. (1997) Development of household absorption refrigeration equipment of various functional purposes using modern technologies. *Scientific works of the Odesa State Academy of Food Technologies*, 17, 266-272.
4. Titlov, O. S., Zakharov, M. D., Vasyliv, O. B., Volnevich, S. V. (2002) Declarative patent No. 47866A Ukraine, MPK7 F 25 D 11/02. Combined absorption refrigerator. No. 2001106933; application. 11.10.01; publ. 15.07.02, Bull. No. 7.
5. Titlov, O. S., Zakharov, M. D., Vasyliv, O. B., Volnevich, S. V. (2002) Declarative patent No. 47751A Ukraine, MPK7 F 25 B 15/10. Combined absorption refrigerator. No. 2001096073; appl. 04.09.2001; publ. 15.07.02, Bull. No. 7.
6. Titlov, O. S., Volnevich, S. V., Vasyliv, O. B., Khalajzhi, V. N. (2000) Prospects for using the osmosis effect in refrigeration equipment. *Refrigeration engineering and technology*, 69, 24-32.
7. Titlov, O. S., Vasyliv, O. B. (1997) Development of a new type of household appliances. *Refrigeration*, 3, 21.
8. Titlov, O. S. (1997) Apparatus for combined thermal processing of food products. *Agrarian science*, 5, 42-43.
9. Vasyliv, O. B. (2003) Modeling of thermal regimes of heating chambers of combined household appliances of absorption type. *Refrigeration engineering and technology*, 2, 13-18.

Received 11 November 2025
 Approved 28 November 2025
 Available in Internet 30 December 2025