

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.575(088.8)

Експериментальні дослідження транспортного абсорбційного холодильного приладу**Ю. О. Очеретяний¹, О. С. Тітлов²**¹Одеський національний морський університет, вул. Мечникова, 34, Одеса, 65029, Україна²Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082, Україна✉ e-mail: 2titlov1959@gmail.com

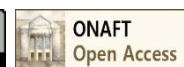
Транспортні холодильні пристрої є невід'ємною частиною ланцюга безперервного холодильного обладнання та незамінні для туристів, мисливців та експедиційних працівників. Сучасні аналоги стиснення та термоелектрики транспортних абсорбційних холодильних пристроїв працюють від генераторів електроенергії або від акумуляторних батарей, що призводить до збільшення ваги автомобіля і, зрештою, до додаткових витрат палива. Актуальність досліджень транспортних абсорбційних холодильних пристроїв пов'язана насамперед з можливістю їх роботи з неелектричними джерелами теплової енергії – пальними елементами. У пальниковому елементі 100% енергії згоряння вихідного палива безпосередньо перетворюється на теплову енергію. При цьому коефіцієнт корисної дії сучасних генераторів електричної енергії не перевищує 20%. Тем не менш, для широкого використання транспортних абсорбційних холодильних пристроїв необхідно вживати заходів щодо зменшення споживання енергії, що сприятливо позначиться на вагових параметрах транспортного засобу. Через складність побудови теоретичних моделей експериментальним методом було обрано основний метод дослідження транспортних абсорбційних холодильних пристроїв. Об'єктом експериментальних досліджень став транспортний абсорбційний холодильний прилад «Київ» виробництва Васильківського холодильного заводу. У пальному елементі завдяки установці спеціального керамічного елемента каталізатора газ окислюється атмосферним киснем на поверхні каталізатора. Конструкція пальника дозволяє створити якісну суміш повітря-газ і рівномірно розподілити полум'я по всій поверхні каталізатора. Експериментальні дослідження показали, що: а) при роботі з етиловим спиртом і гасом необхідні умови охолодження досягаються в холодильнику; б) при рівних робочих умовах відсутність турбулайзера потоку продуктів згоряння у вентиляційному каналі генератора не дозволяє забезпечити необхідні режими охолодження. Для посилення режимів охолодження тепловіддаючих елементів холодильника (абсорбера та конденсатора) було проведено ряд експериментів із продуванням за допомогою повітряного вентилятора. При низьких температурах навколишнього середовища (16-21 °С) ефект зовнішнього охолодження практично непомітний – падіння температур в холодильній камері становить 0,8-1,2 °С, при температурі 22-26 °С ефект досягає 2,6 °С, а при 30-33 °С – 5,3 °С.

Ключові слова: Абсорбційний холодильний прилад; Транспортні умови; Пальники; Експериментальні дослідження

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v55i5-6.1658>

© The Author(s) 2019. 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**

Транспортні холодильні прилади є невід'ємним елементом безперервного холодильного лан-

цюга і незамінні для туристів, мисливців і працівників експедицій. Їх використовують на легкових і вантажних автомобілях, автобусах, дачах на колесах, яхтах та залізничних вагонах. Асортимент

транспортних холодильних приладів включає, як міні-моделі для охолодження банки пива або пляшечки з дитячим молоком, так і одно- та двокамерні холодильники для забезпечення харчуванням екскурсійної групи протягом декількох днів або експедиції з кількох людей більше місяця.

У США і Європі кожна сім'я має два або три переносних холодильних приладу. У країнах колишнього СРСР практично кожна сім'я володіє стаціонарним побутовим холодильником, але лише невелика частина автовласників має автомобільний холодильний прилад.

Провідні виробники абсорбційної холодильної техніки – фірми «Elektrolux», «Bosh», «Gronland», випускають транспортні моделі абсорбційних холодильників, що мають можливість працювати з різними джерелами енергії [1]. Як правило, в зарубіжних моделях передбачена установка двох електронагрівачів (12 В постійного і 220 В змінного струму) та паливкового елемента, призначеного для роботи від зрідженого пропану або газу [2]. У конструкціях вітчизняних моделей Васильківського заводу холодильників, незважаючи на наявність такої можливості, установка паливкового елемента не передбачається.

Сучасні компресійні і термоелектричні аналоги транспортних абсорбційних холодильних приладів працюють від генераторів електричної енергії або від акумуляторних батарей, що призводить до збільшення ваги транспортного засобу і, в кінцевому рахунку – до додаткових витрат палива.

Актуальність дослідження транспортних абсорбційних холодильних приладів, в першу чергу, пов'язана з можливістю їх роботи з неелектричними джерелами теплової енергії – палишковими елементами. У палишковому елементі відбувається безпосереднє перетворення 100% енергії горіння органічного палива в теплову енергію. ККД же сучасних генераторів електричної енергії не перевищує 20% [3]. Таке співвідношення використання первинної енергії горіння, незважаючи на значні термодинамічні переваги компресійного холодильного циклу в порівнянні з абсорбційно-дифузійним [4], відкриває велику перспективу на транспорті абсорбційним моделям.

У той же час для широкого використання транспортних абсорбційних холодильних приладів необхідно провести заходи щодо зниження енергоспоживання, які сприятливо позначаються на вагових параметрах транспортного засобу.

У зв'язку зі складністю побудови теоретичних моделей, основним методом досліджень транспортних абсорбційних холодильних приладів був обраний експериментальний метод.

2. Методика експериментальних досліджень

Об'єктом експериментальних досліджень став транспортний абсорбційний холодильний прилад «Київ» АЛ-35 (рис. 1) виробництва Васильківського заводу холодильників з додатково встановленими палишковими елементами.

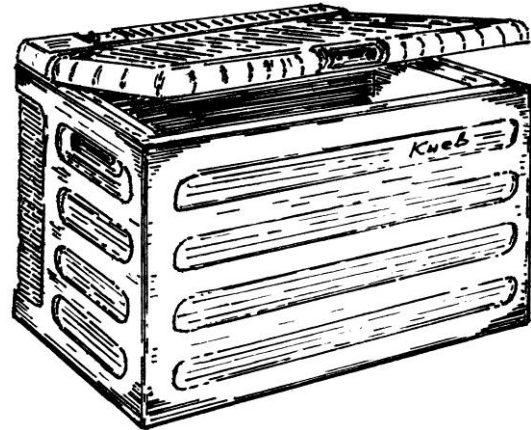


Рисунок 1 – Загальний вигляд транспортного абсорбційного холодильника «Київ» АЛ-35 виробництва Васильківського заводу холодильників

До складу досліджуваного холодильного приладу входить абсорбційний холодильний агрегат (АХА) з коаксіальною конструкцією генераторного вузла (рис. 2). Підведення теплової енергії до міцного водоаміачного розчину здійснюється через осьову порожнину, яку заповнює слабкий розчин.

Основні технічні характеристики транспортного абсорбційного холодильного приладу «Київ» АЛ-35 [1]:

- габаритні розміри (глибина×ширина×висота) – 450×550×350 мм;
- вага – 15 кг;
- корисний об'єм – 35 літрів;
- електричне теплове навантаження, що підводиться (номінальне) – 70 Вт;
- джерела теплового навантаження – два електронагрівача з живленням від мережі постійного струму (12 В) й змінного струму (220 В).

При роботі з палишковими елементами вивчалися два способи підведення тепла до генераторного вузла – через штатну гільзу з відкритим вентиляційним каналом для газів, і з турбуліза-

торами потоку (мідним і бляшаним), вставленим в ту ж гільзу генераторного вузла.

Дослідження виконувалися на експериментальному стенді лабораторії побутових холодильних приладів за методикою ОНАХТ [5], який містить систему вимірювання температури (хромелькопелеві термомпари, вольтметр універсальний цифровий) і систему підведення і регулювання електричного теплового навантаження до генераторного вузла АХА, яка використовувалася при вивченні процесів інтенсифікації теплообміну на зовнішніх тепловіддаючих елементах АХА.

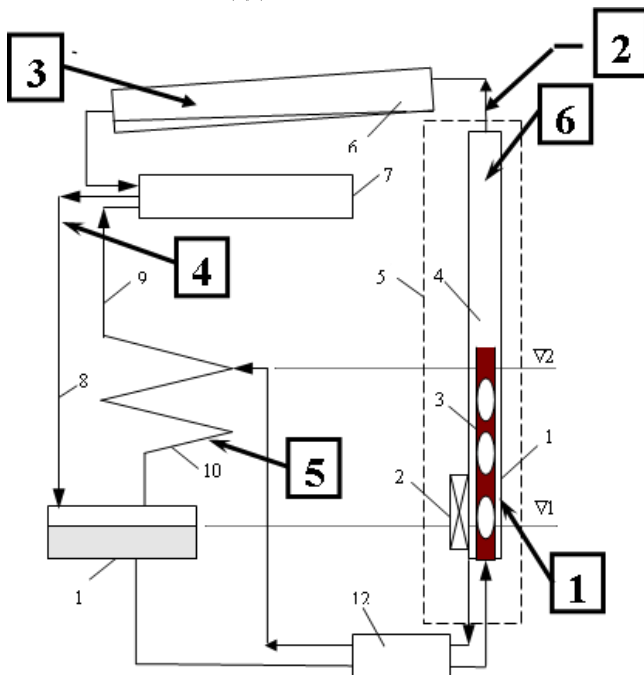


Рисунок 2 – Схема АХА з коаксіальною конструкцією генераторного вузла та місцем установки термомпар (поз.1-6): 1 – кип'ятильник; 2 – електронагрівач; 3 – внутрішній термосифон; 4 – дефлегматор; 5 – теплоізоляційний кожух генераторного вузла; 6 – конденсатор; 7 – випарник; 8(9) – опускна (підйомна) магістраль парогазового контуру; 10 – абсорбер; 11 – ресивер рідкого розчину; 12 – теплообмінник розчинів. ∇1 і ∇2 – рівень міцного і слабого розчину, відповідно.

При проведенні експериментальних досліджень транспортного абсорбційного холодильного приладу з паликовими елементами використовувався масовий метод визначення витрати теплоносія за допомогою електронних ваг. Показання приладів фіксувалися кожні десять хвилин, і заносилися в таблицю 1 і таблицю 2 відповідно. В якості теплоносія використовувалися етиловий спирт, газ, зріджений пропан. Відповідно пали-

ковими елементами при проведенні експериментальних досліджень стали – стандартна спиртівка, газова лампа і газовий пальник.

У якості газового пальника використовувалася оригінальна конструкція з організації каталітичного процесу горіння (рис.3).

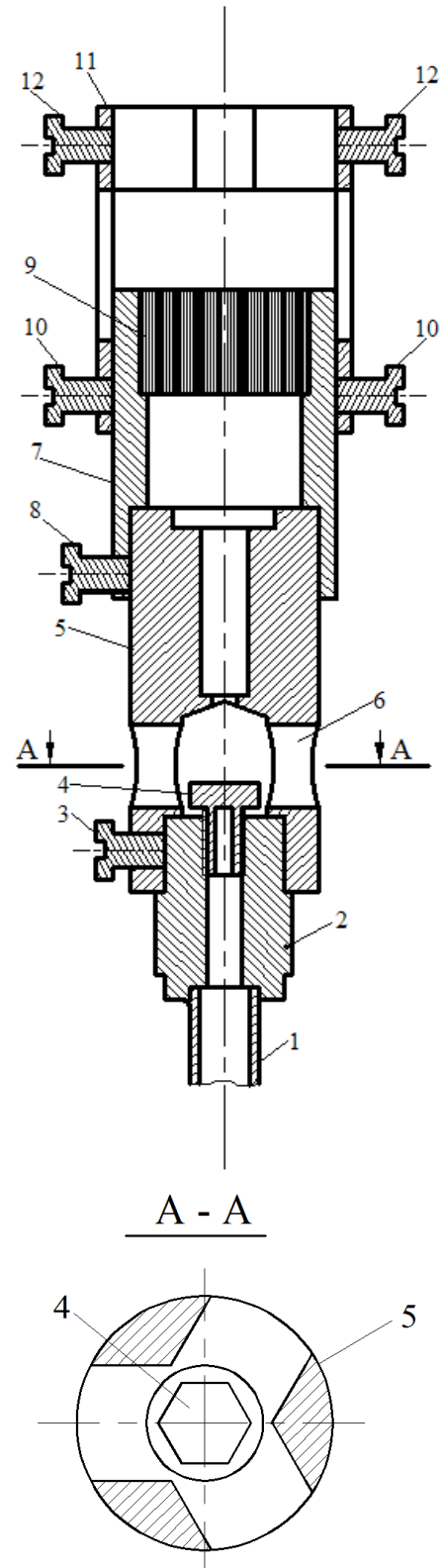


Рисунок 3 – Ескіз інфрачервоного паливного елемента з каталітичним процесом горіння:

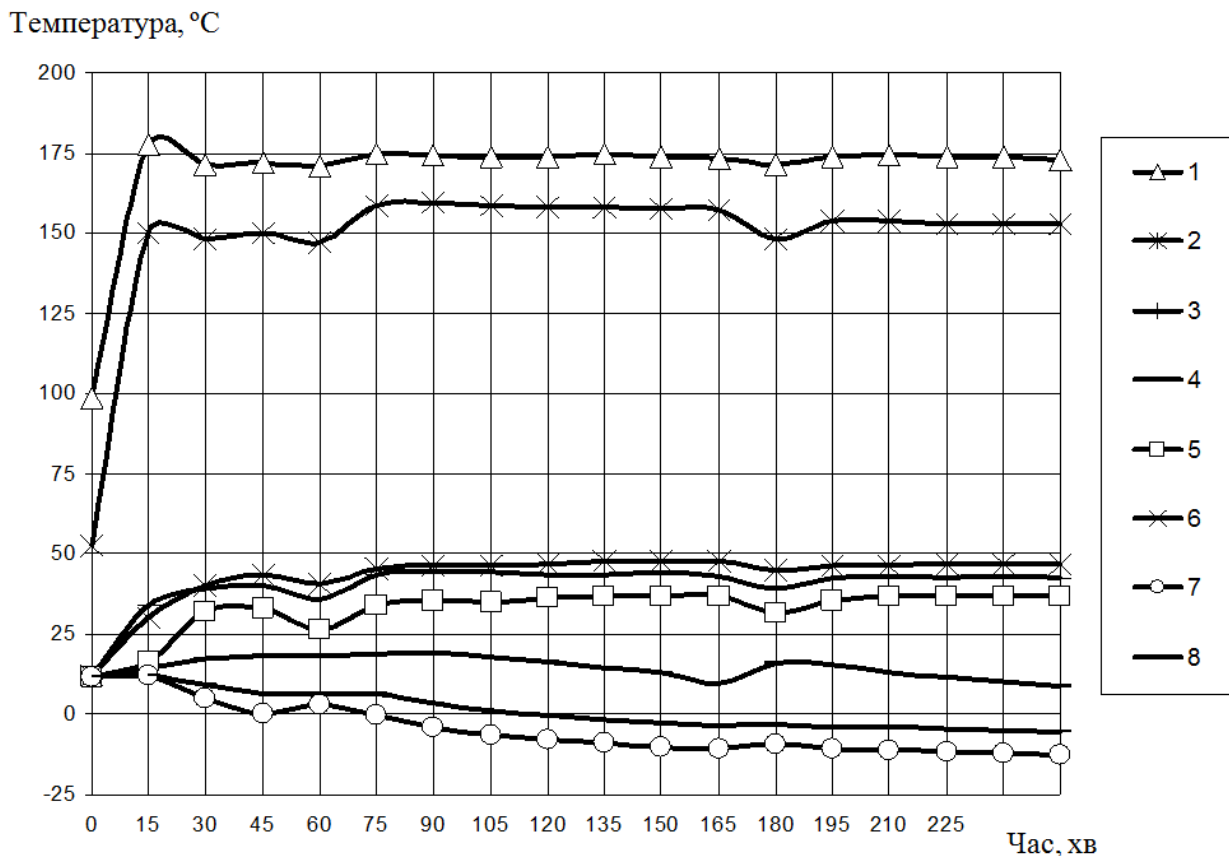
а) загальний вигляд (розріз); б) перетин А-А;
 1 – канали для входу газу; 2 – форсунка;
 3, 8, 10, 12 – болти кріплення елементів пальника; 4 – регулятор витрати газу; 5 – камера змішування; 6 – отвори для підсосу (ежекції) зовнішнього повітря; 7 – камера згоряння; 9 – керамічний каталізатор; 11 – циліндр кріплення пальника до гільзи генераторного вузла АХА; 12 – болти кріплення пальника до нижньої частини гільзи генераторного вузла АХА

У палинковому елементі за рахунок установки спеціального керамічного елемента – каталізатора здійснюється окислення газу киснем повітря на поверхні каталізатора. Конструкція пальника дозволяє створити якісну повітряно-газову суміш і рівномірно розподілити полум'я по всій

поверхні каталізатора. Це досягається за рахунок того, що камера змішувача 6 виконана у вигляді трьох, розташованих рівномірно по колу корпусу отворів, через які здійснюється підсмоктування зовнішнього повітря для рівномірного змішування з мінімальним струменем газу, що виходить з форсунки 2. Далі газоповітряна суміш рівномірно з номінальною швидкістю надходить в нижню частину каталізатора 9, функцію якого виконує керамічний елемент.

3. Результати експериментальних досліджень

Результати експериментальних досліджень пускових характеристик транспортного абсорбційного холодильника з палинковими елементами наведені на рис. 4 і 5 і табл. 1-2.



Рисунк 4 – Пускові характеристики (зміна температури при виході на стаціонарний режим) транспортного абсорбційного холодильного приладу при роботі з етиловим спиртом в якості теплоносія. Термопарі 1-6 встановлені відповідно до позицій на рис. 2, термопара 7 встановлена на ребрі панелі випарника, термопара 8 – в обсязі холодильної камери (в геометричному центрі)

Витрата етилового спирту в експерименті склала 0,307 кг/добу, а гасу – 0,340 кг/добу. Температура зовнішнього повітря становила в першому випадку 16,5...16,8 °С, а в другому – 17,0...17,2 °С.

Турбулізатори потоку продуктів згоряння при роботі на етиловому спирті і гасі не встановлювалися, але вентиляційний канал був закритий. При відкритому каналі необхідні режими охолодження не досягалися.

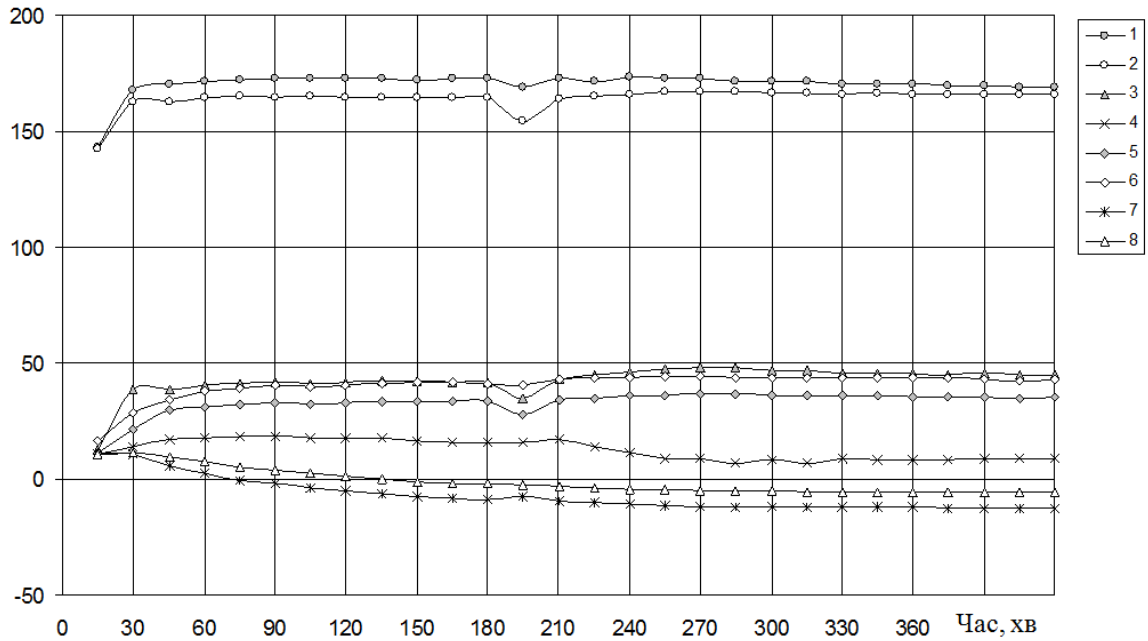


Рисунок 5 – Пускові характеристики (зміна температури при виході на стаціонарний режим) транспортного абсорбційного холодильного пристрою при роботі з газом в якості теплоносія. Термопары 1-6 встановлені відповідно до позицій на рис. 2, термопара 7 встановлена на ребрі панелі випарника, термопара 8 – в обсязі холодильної камери (в геометричному центрі)

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень транспортного абсорбційного холодильного пристрою з пропановим каталітичним пальником і підведенням тепла через стандартну гільзу з відкритим вентиляційним каналом

Час, хв	Температура в характерних точках (рис. 2), °C							
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
10	115,6	62,8	16,7	17,6	18,1	372,6	17,3	17,3
20	159,7	95,4	17,5	18,0	19,0	586,9	17,6	17,7
30	180,8	109,9	22,4	19,1	20,3	613,2	18,2	18,4
40	188,5	113,1	21,5	18,8	20,2	594,4	17,6	17,8
50	194,1	132,7	23,8	19,7	21,1	232,2	18,2	18,4
60	198,7	141,7	23,8	20,6	23,2	590,6	18,4	18,7
70	200,5	145,5	23,8	20,9	23,5	590,6	18,4	18,7
80	197,9	145,6	23,5	21,1	23,6	613,2	18,2	18,7
90	182,0	165,5	42,1	21,7	24,2	791,6	17,8	18,6
100	172,6	155,9	41,4	23,3	32,3	609,4	15,2	17,3
110	170,9	151,6	38,0	23,6	34,5	689,8	12,2	15,1
120	171,1	150,5	37,6	23,8	33,7	756,3	11,4	14,6
130	169,8	152,3	36,8	23,5	32,7	503,6	10,6	13,7

Примітка. 1) Дослідження виконані при температурі навколишнього середовища 19 °C; 2) За 2 години 10 хв витрачено 22 граму газу. Добова витрата – 0,244 кг/добу; 3) Термопара №7 встановлена на ребрі панелі випарника, №8 – в обсязі холодильної камери (геометричному центрі).

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень транспортного абсорбційного холодильного пристрою з пропановим каталітичним пальником і турбулізатором потоку в зоні підведення тепла

Час, хв	Температура в характерних точках (рис. 2), °C							
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
10	109,6	48,9	19,3	19,1	19,5	92,4	18,9	17,9

Продовження таблиці 2

20	169,7	61,0	19,2	19,2	19,8	220,8	18,9	18,0
30	147,0	130,6	43,4	19,9	30,9	228,3	18,8	18,1
40	158,2	141,2	47,0	23,3	38,1	252,4	11,1	15,1
50	156,0	140,0	48,2	24,3	40,2	248,1	6,0	12,7
60	157	139,2	47,8	24,5	41,1	256,5	1,8	9,8
70	156,5	139,8	47,2	23,8	41,2	257,7	-0,3	7,9
80	155,8	138,2	46,9	22,9	41,2	258,7	-2,0	6,3
90	155,6	137,9	46,7	21,4	41,2	253,3	-3,5	4,7
100	153,9	137,3	46,5	19,7	41,1	246,6	-4,9	3,1
110	153,9	137,4	46,0	16,4	40,9	244,4	-5,9	1,9
120	152,2	136,9	45,6	14,5	40,5	243,5	-6,9	0,8
130	152,5	137,3	46,6	10,6	40,9	249,6	-7,8	-0,2
140	150,8	136,7	46,5	7,8	40,6	240,2	-8,7	-1,2
150	151,6	135,9	46,2	6,6	40,6	240,6	-9,2	-1,9
160	150,0	135,7	47,2	5,9	40,8	234,1	-9,8	-2,6
170	150,7	135,7	46,6	5,1	40,7	234,9	-10,4	-3,3

Примітка. 1) Дослідження виконані при температурі навколишнього середовища 19 °С; 2) За 2 години 10 хв витрачено 22 граму газу. Добова витрата – 0,244 кг/добу; 3) Термопара №7 встановлена на ребрі панелі випарника, №8 – в обсязі холодильної камери (геометричному центрі).

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що:

а) при роботі з етиловим спиртом і гасом досягаються необхідні режими охолодження в холодильній камері (із теплого стану вихід на режим при температурі не вище плюс 5 °С досягається за 85-90 хв);

б) при рівних умовах роботи відсутність турбулізатора потоку продуктів згоряння в вентиляційному каналі не дозволяє забезпечити необхідні режими охолодження.

Для інтенсифікації режимів охолодження тепловіддаючих елементів АХА (абсорбера і конденсатора) були проведені серії експериментів з вимушеним їх обдувом зовнішнім повітряним вентилятором.

При низьких температурах зовнішнього повітря (16-21 °С) ефект зовнішнього охолодження практично невідчутний – зниження температур в холодильній камері становить 0,8-1,2 °С, при температурах 22-26 °С ефект досягає 2,6 °С, а при 30-33 °С – 5,3 °С.

З урахуванням знайдених ефектів охолодження була запропонована оригінальна конструкція транспортного абсорбційного холодильного приладу з вентиляторним обдуванням тепловіддаючих елементів АХА (абсорбера і конденсатора), при цьому в якості збудника циркуляції запропоновано використовувати температурний потенціал продук

тів згоряння (220-260 °С), що проходять по вентиляційному каналу.

4. Висновки та рекомендації

1. Проведені експериментальні дослідження абсорбційного холодильного приладу «Київ» з палинковим елементом показали його працездатність при використанні різних доступних органічних теплоносіїв (етиловий спирт, гас, пропан). Забезпечуються нормативні режими охолодження в холодильній камері – не вище 5 °С.

2. Розроблено оригінальний палинковий елемент із застосуванням каталітичного джерела горіння, яке може вирішувати завдання забезпечення необхідних режимів охолодження при мінімальній витраті пропану (добова витрата 0,244 кг/добу).

3. Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволив запропонувати оригінальну систему зовнішнього вимушеного обдування тепловіддаючих елементів АХА (абсорбера і конденсатора) без застосування додаткових джерел енергії, яка проста у виготовленні і найбільш ефективна при підвищених температурах експлуатації (30-33 °С).

4. Проведені дослідження показали високу надійність абсорбційного холодильного приладу «Київ» при роботі з різними джерелами теплової енергії, в тому числі і не спеціалізованого призначення. Це дозволяє рекомендувати його використання в «кри-

тичних» умовах експлуатації, наприклад, для низькотемпературного зберігання медичних вакцин при відсутності як електричних джерел енергії так і стандартного газобалонного обладнання.

Література

1. **Тітлов О. С.** Сучасний рівень розробок і виробництва побутових абсорбційних холодильних приладів // Холодильний бізнес. – 2007. – № 8. – С. 12-17; № 9. – С. 28-30; № 10. – С. 47-49; № 11. – С. 46-47.
2. **Бабакін Б. С., Вигодін В. А.** Побутові холодильники і морозильники. – Рязань: Узореч'є, 2005. – 860 с.

3. **Тітлов О. С., Холодков А. О.** Підвищення енергетичної ефективності побутових абсорбційних холодильних приладів // Холодильна техніка та технологія. – 2017. – № 55 (3). – С. 27-36.

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

5. **Тітлов О. С., Завертаний В. В., Василів О. Б., Ленський Л. Р.** Експериментальні дослідження температурно-енергетичних характеристик низькотемпературних камер на основі АДХМ // Теплові режими та охолодження радіоелектронної апаратури. – 1998. – №1. – С. 60-67.

Отримана в редакції 02.10.2019, прийнята до друку 03.12.2019

Experimental studies of the transport absorption refrigeration devices

*Yu. Ocheretyanyy*¹, *O. Titlov*^{✉2}

¹Odessa National Maritime University, Odessa, 34 Mechnikova str., Odessa, 65029, Ukraine

²Odessa National Academy of Food Technologies, 1/3 Dvoryanskaya str., Odessa, 65082, Ukraine

✉ e-mail: ²titlov1959@gmail.com

Transport refrigeration devices are an essential part of the continuous refrigeration chain and are irreplaceable for tourists, hunters and expedition workers. Modern compression and thermoelectric analogues of transport absorption refrigeration devices operate from electric power generators or from rechargeable batteries, which leads to an increase in the weight of the vehicle and, ultimately, to additional fuel costs. The relevance of the transport absorption refrigeration devices research is primarily associated with the possibility of their work with non-electric sources of thermal energy – burner devices. In the burner device 100% of the fossil fuels combustion energy is directly converted to thermal energy. At the same time the efficiency factor of modern electric energy generators does not exceed 20%. Nevertheless, for the widespread use of transport absorption refrigeration devices, it is necessary to take measures to reduce energy consumption, which will favorably affect the weight parameters of the vehicle. Due to the complexity of theoretical models constructing, the experimental method was chosen as the main research method for transport absorption refrigeration devices. The object of experimental research was the transport absorption refrigeration device "Kiev" produced by the Vasilkovsky refrigerator plant. In the burner device, due to the special ceramic catalyst element installation, gas is oxidized with atmospheric oxygen on the catalyst surface. The burner device's design allows creating a high-quality air-gas mixture and evenly distributing the flame over the catalyst entire surface. Experimental studies have shown that: a) when working with ethyl alcohol and kerosene, the necessary cooling conditions are achieved in the refrigerator; b) under equal operating conditions, the absence of a turbulizer of the combustion products flow in the generator's ventilation channel does not allow to provide the required cooling modes. To intensify the cooling modes of the refrigerator's heat-dissipating elements (absorber and condenser), a series of experiments were carried out with blowing using an air fan. At low ambient temperatures (16-21 °C), the effect of external cooling is practically imperceptible – the temperatures drop in the refrigeration chamber is 0,8-1,2 °C, at temperatures 22-26 °C the effect reaches 2,6 °C, and at 30-33 °C – 5,3 °C.

Key words: Absorption refrigeration device; Transport conditions; Burner devices; Experimental studies

References

1. **Titlov, O. S.** (2007) Suchasnyi riven rozrobok i vyrobnytstva pobutovykh absorbtsiinykh kholodylnykh pryladiv. *Kholodylnyi biznes*, 8, 12-17; 9, 28-30; 10, 47-49; 11, 46-47.
2. **Babakin, B. S., Vyhodin, V. A.** (2005) Pobutovi kholodylnyky i morozylnyky. *Riazan: Uzoriechie*, 860.
3. **Titlov, O. S., Kholodkov, A. O.** (2017) Pidvyshchennia enerhetychnoi efektyvnosti pobutovykh absorbtsiinykh kholodylnykh pryladiv. *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia*, № 55 (3), 27-36.
4. **Titlov, O. S.** (1997) Porivniannia kharakterystyk absorbtsiinoi i kompresiinoi pobutovoi kholodylnoi tekhniki. *Kholodylna tekhnika i tekhnolohiia*, 57, 39-41.
5. **Titlov, O. S., Zavertanyi, V. V., Vasyliv, O. B., Lenskyi, L. R.** (1998) Eksperymentalni doslidzhennia temperaturno-enerhetychnykh kharakterystyk nyzkoterperaturnykh kamer na osnovi ADKhM. *Teplovi rezhymy ta okholodzhennia radioelektronnoi aparatury*, 1, 60-67.

Received 02 October 2019
Approved 03 December 2019
Available in Internet 03 February 2020