

УДК 537.32

Анатичук Л.І., *акад. НАН України*^{1,2}

Ріферт В.Г., *док. техн. наук*³

Барабаш П.О., *канд. техн. наук*³

Десятерик Р.В., *канд. техн. наук*³

Соломаха А.С., *канд. техн. наук*³

Розвер Ю.Ю., *науковий співробітник*¹

Петренко В.Г., *канд. техн. наук*³

¹ Інститут термоелектрики НАН та МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;
e-mail: anatyach@gmail.com, y.rozver@chnu.edu.ua

² Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58012, Україна;
e-mail: anatyach@gmail.com

³ НТУ «КПІ» ім. І.Сікорського, вул. Політехнічна, 6, Київ, 03056, Україна;
e-mail: vgrifert@ukr.net, barabash_tef@ukr.net,
drv_td@ukr.net, as_solomaha@ukr.net, petrko@ukr.net

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ДЛЯ ВІДЦЕНТРОВОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ СТІЧНИХ ВОД КОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті описано результати випробувань системи багатоступінчастої відцентрової вакуумної дистиляції (CMED) з термоелектричним тепловим насосом (ТНР). В роботі наведено результати досліджень з вивчення основних характеристик процесу при концентруванні води та урини в разі використання дистиляторів трьох- і п'ятиступінчастої конструкції. Особливу увагу приділено вивченню впливу параметрів процесу на зміну коефіцієнта ефективності термоелектричного теплового насоса.

Ключові слова: тепловий насос, дистилятор.

Вступ

Для майбутніх тривалих місій людини на Місяць і Марс критично важливими є системи регенерації води зі стічних вод системи життєзабезпечення. У матеріалах NASA зазначено, що така система повинна забезпечувати максимальне відновлення води з сечі, конденсату вологи та гігієнічної води.

Характеристики багатьох технологій – зворотний осмос (RO), електродіаліз (ED), повітряне випаровування (AES), комбіновані технології (RO, AES, біореактори), термоелектричне мембранне випаровування (TIMES), вакуумна компресійна дистиляція (VCD) і відцентрова багатоступінчаста дистиляція (CMED) – розглянуто у [1 – 3]. При цьому лише три технології (TIMES, VCD, CMED) використовують принцип (метод) зниження енергії – теплові насоси. У даній праці описано основні характеристики термоелектричного теплового насоса (ТНР) в системі CMED.

Характеристики TIMES и VCD

Систему TIMES розроблено у NASA ще у 1975 р. і описано у звітах і доповідях [4 – 8]. TIMES – проста і ефективна система ($G_d = 1.0 – 1.5$ л/год, $SPC = 150$ Вт·год/кг) при концентруванні сечі до 20 – 25%. Зі збільшенням концентрації збільшується температурна депресія і різко знижується продуктивність ($G_d < 1.0$ л/год), а питоме споживання енергії зростає до 150 – 250 Вт·год/кг. Такі результати пояснюються тим, що у TIMES коефіцієнти теплопередачі (по випаровуванню та конденсації) мають низькі значення (за нашими розрахунками – менше 1000 – 2000 Вт/(м²·°C)). Збільшення поверхні, на якій відбуваються процеси, дає незначні результати. Окрім того, низькі швидкості течії рідини (в основному, сечі) сприяють збільшенню відкладень на поверхнях випаровування. Це веде також до збільшення загального вмісту солей (до 100 мкСм/см) і збільшення концентрації аміаку (до 100 мг/л і більше) у дистиляті [4 – 6].

Як і в усіх інших випадках, технології із застосуванням мембран в ділянках випаровування рідини мають головний недолік – забруднення мембран, що вимагає їх частотої заміни.

Інший варіант термічної дистиляції – вакуумний компресійний дистилятор (VCD), проаналізований у доповідях [9 – 11]. У VCD застосовується найефективніший метод теплових насосів – механічний компресор.

Коефіцієнт трансформації реального пароконпресійного теплового насоса визначають за формулою

$$\varphi = \frac{q_k}{l} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

де

q_k – тепловий потік, відведений від конденсатора ТНР, кДж/кг;

l – спожита компресором енергія, кДж/кг;

h_1 – ентальпія водяної пари на вході у компресор, кДж/кг;

h_2 – ентальпія водяної пари на виході з компресора, кДж/кг;

h_3 – ентальпія водяної пари на виході з конденсатора, кДж/кг;

Теоретично за низьких ΔP на компресорі на початку концентрування споживання енергії складає < 10 – 20 Вт·ч/кг. При збільшенні тиску пари у компресорі збільшується за вакууму густина пари, що веде до зниження продуктивності системи. Цьому також сприяє збільшення температурної депресії зі зростанням концентрації рідини. Тому в усіх випробуваннях VCD [9-11] в процесі концентрування продуктивність зменшується у 2 рази і споживання енергії зростає до 200 Вт·год/л. [12]

У [13, 14] зазначено причини високого вмісту солей у дистиляті (до 50 – 250 мг/л). Технологія VCD споживає лише на процес випаровування – конденсації (витрати на привід компресора і процес концентрування) близько 150 – 200 Вт·ч/кг).

Система CMED з тепловим насосом

CMED-система, розроблена інженерами і фахівцями Київського політехнічного інституту, компанії «Термодистиляція» і Інституту термоелектрики НАН та МОН України, показала кращі результати: продуктивність – від 2 до 7 л/год, питому витрату енергії – менше 100 – 200 Вт·год/кг, recovery – до 98%. Ці основні характеристики опубліковано у багатьох доповідях та статтях [15-22].

Технологія CMED використовує два обґрунтованих наукою і практикою методи зниження

енергії при концентруванні термочутливих рідин типу сечі - термоелектричний тепловий насос (ТНР) і багатоступінчасте випаровування рідини на обертовій поверхні.

Високі коефіцієнти тепловіддачі при конденсації і випаровуванні на обертовій поверхні с $n = 500 - 1500$ об/хв склали $\alpha_u = (1 \div 2) \cdot 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ [23 – 26]. Ці характеристики забезпечують високу швидкість руху плівки, що попереджає відкладення солей.

У період 2000 - 2016, 2018 – 2022 рр. було виконано велику кількість тестів випробувань 3-х і 5-ти ступінчастих дистиляторів. Було відзначено ідентичність трьох виготовлених в Україні дистиляторів і двох ТНР. Метою цих випробувань було забезпечення надійності технології SMED, вивчення впливу n , $N_{\text{ТНР}}$, типу рідини, поліпшення характеристик (збільшення G_d , зниження SPC, поліпшення якості дистиляту). Відзначено стабільність роботи дистилятора і ТНР без будь-яких недоліків у роботі системи. На прикладі дослідження 3-х ступінчастого дистилятора, виготовленого і випробуваного ще в 1986р., було відзначено, що тривалий простій відцентрового дистилятора не впливає на його пуск та експлуатацію після закінчення простою.

Особливу увагу у даній статті спрямовано на вивчення характеристик термоелектричного теплового насосу. Було розглянуто результати випробувань на воді і сечі 3-х ступінчастого і 5-ти ступінчастого дистиляторів з термоелектричним тепловим насосом. Досліджено вплив на G_d і SPC кількості обертів $n = 800, 900, 1000, 1200, 1500$ об/хв, при $N_{\text{ТНР}} = 100, 150, 200, 300, 400$ і 600 Вт. Цикли кожного випробування було виконано за $t = 60, 90, 120$ хв.

Вимірювали: $N_{\text{дв}}$, $N_{\text{ТНР}}$, G_d , G_e і G_x , температури у гарячому контурі t_1 і t_2 , температури у холодному контурі t_3 і t_4 . За даними цих дослідів розраховувались такі характеристики:

- 1) кількість тепла в гарячому контурі

$$Q_e = C_p \cdot G_{BX} \cdot \rho \cdot (t_2 - t_1)$$

де

C_p – масова теплоємність рідини, Дж/(К·г);

G_{BX} – витрата циркулюючої рідини, см³/с;

ρ – густина рідини, гр/см³;

- 2) різниця температур у термоелектричному тепловому насосі

$$\Delta T_{in} = t_1 - t_3$$

- 3) ефективність ТНР

$$\eta_{\text{ТНР}} = Q_e / N_{\text{ТНР}}$$

- 4) питома витрата енергії у дистиляторі

$$SPC = (N_{\text{дв}} + N_{\text{ТНР}}) / G_d$$

де

$N_{\text{дв}}$ - електрична потужність, споживана двигуном дистилятора, Вт;

$N_{\text{ТНР}}$ - електрична потужність, споживана тепловим насосом, Вт;

G_d - продуктивність дистилятора, л/ч.

Наведено неопубліковані дані тестування системи відцентрової дистиляції з термоелектричним тепловим насосом, виконаного на стендах компанії «Термодистиляція», спільно з Інститутом термоелектрики НАН та МОН України і фахівців КПП протягом 2000 - 2002 и 2022 – 2023 гг.

В таблиці 1 наведено результати тестування 3-х ступінчастого дистилятора при концентруванні води, в таблиці 2 – результати тестування 5-ти ступінчастого дистилятора.

Таблиця 1

№	$\frac{N_{дв}, \text{ОБ/ХВ}}{N_{дв}, \text{Вт}}$	$N_{ТНР}, \text{Вт}$	$\Delta T_{in}, \text{С}$	$G_d, \text{л/ГОД}$	$\eta_{ТНР}$	SPC, Вт·год/л	№	$\frac{N_{дв}, \text{ОБ/ХВ}}{N_{дв}, \text{Вт}}$	$N_{ТНР}, \text{Вт}$	$\Delta T_{in}, \text{С}$	$G_d, \text{л/ГОД}$	$\eta_{ТНР}$	SPC, Вт·год/л
1	$\frac{1333}{59}$	145	3.2	0.6	5	340	10	$\frac{1200}{41}$	214	2.9	2.01	2.45	127
2	$\frac{1350}{86}$	102	3.2	1.35	3.23	140	11	$\frac{1200}{42}$	309	7.4	2.48	2.2	141
3	$\frac{1400}{64}$	155	3.5	2.09	3.35	105	12	$\frac{1200}{42}$	196	3.5	1.76	2.76	135
4	$\frac{1400}{64}$	241	3.8	2.54	2.73	120	13	$\frac{1040}{29}$	392	9.5 9.2	1.91 2.9	2.76 1.98	220 145
5	$\frac{1400}{62}$	392	6.3	3.68	2.6	123	14	$\frac{1200}{42}$	196	3.5	1.91	2.6	125
6	$\frac{1400}{63}$	63	2.5	1.42	3.55	89	15	$\frac{1380}{57}$	217	5.7	2.18	2.83	126
7	$\frac{1750}{107}$	65	1.5	1.35	5.4	127	16	$\frac{1580}{75}$	414	4.9	3.5	2.24	140
8	$\frac{1400}{62}$	226	4.0	2.16	3.7	133	17	$\frac{1200}{48}$	235	5.5	1.92	2.56	147
9	$\frac{1500}{74}$	61.4	6.2	0.8	4.28	168							

Таблиця 2

№	$\frac{N_{дв}, \text{ОБ/ХВ}}{N_{дв}, \text{Вт}}$	$N_{ТНР}, \text{Вт}$	$\Delta T_{in}, \text{С}$	$G_d, \text{л/ГОД}$	$\eta_{ТНР}$	SPC, Вт·год/л	№	$\frac{N_{дв}, \text{ОБ/ХВ}}{N_{дв}, \text{Вт}}$	$N_{ТНР}, \text{Вт}$	$\Delta T_{in}, \text{С}$	$G_d, \text{л/ГОД}$	$\eta_{ТНР}$	SPC, Вт·год/л
1	$\frac{1500}{74}$	90.7	6.1	1.13	3.65	146	9	$\frac{1000}{51}$	101	3.8	2.4	3.8	63
2	$\frac{1500}{74}$	244	4.6	2.37	2.9	134	10	$\frac{1000}{90}$	200	4.9	3.6	3.5	80
3	$\frac{1570}{90}$	414	5.1	3.47	2.24	145	11	$\frac{1200}{100}$	200	5.3	3.84	2.97	78
4	$\frac{1200}{90}$	408	8	5.6	2.1	89	12	$\frac{1000}{90}$	400	6.4	5.6	2.24	88
5	$\frac{1000}{96}$	212	5.7	3.66	2.87	84	13	$\frac{1200}{100}$	400	7	6.0	2.34	83
6	$\frac{1200}{96}$	236	5.9	3.8	2.7	87	14	$\frac{1000}{92}$	184	5.0	1.7	2.0	162
7	$\frac{1200}{100}$	420	7.4	6.0	2.1	87	15	$\frac{1000}{90}$	313	5.3	2.3	1.8	175
8	$\frac{1200}{100}$	415	7.4	6.0	2.0	86							

В таблиці 3 наведено результати тестування 5-ти ступінчастого дистилятора при концентруванні урини.

Таблиця 3

№	$\frac{n_{дв2}}{об/хв};$ $N_{дв}, Вт$	$N_{ТНР},$ Вт	$\Delta T_{in},$ С	$G_d,$ л/год	$\eta_{ТНР}$	SPC, Вт·год/л	№	$\frac{n_{дв2}}{об/хв};$ $N_{дв}, Вт$	$N_{ТНР},$ Вт	$\Delta T_{in},$ С	$G_d,$ л/год	$\eta_{ТНР}$	SPC, Вт·год/л
1	$\frac{800}{39}$	400	6.9 7.9	3.5	1.97 2.02	125	9	$\frac{1100}{90}$	150	5.9 7.9	2.9 2.6	3.5 3.0	83 92
2	$\frac{800}{39}$	300	6.0 6.7	4.08 3.35	2.27 2.27	83 101	10	$\frac{900}{55}$	150	5.9 7.0	2.9	2.7	71
3	$\frac{800}{39}$	150	4.7 6.9	2.6	2.45 2.75	73	11	$\frac{1000}{66}$	600	8.7 10.1	5.0 4.0	1.91 1.89	133 166
4	$\frac{800}{39}$	200	6.4 8.8	2.82 2.90	2.41 2.45	85 82	12	$\frac{1200}{96}$	200	9.1 13.4	3.5	2.5	84
5	$\frac{900}{55}$	300	9.4 11.8	4.1	2.22	86	13	$\frac{1100}{93}$	400	9.9 11.4	5.34 5.23	2.16 2.04	92 94
6	$\frac{1000}{73}$	150	6.4 8.8	3.00 2.52	2.86 2.71	74 89	14	$\frac{1100}{93}$	200	7.0 7.6	3.25 3.5	3.1 2.73	90 84
7	$\frac{1100}{90}$	600	11.8 13.1	6.6 5.4	1.89 1.76	104 128	15	$\frac{1200}{114}$	400	12.5 13.5	5.06	2.74 2.0	102
8	$\frac{1000}{73}$	200	6.4 7.7	3.4 3.4	2.82 2.62	80 80	16	$\frac{1060}{80}$	300	7.4 9.0	4.3	2.4	88

В таблицях 1 і 2 з результатами тестування на воді в усіх тестах однакове значення ΔT_{in} , оскільки температура на вході в ТНР не змінюється після ввімкнення системи протягом не більше 5 – 10 хв після ввімкнення двигуна. В таблиця 3 на сечі в гарячому контурі температура протягом усього часу концентрування змінюється внаслідок появи температурної депресії. Тому в цих таблицях ΔT_{in} збільшується протягом усього циклу концентрування. Ми навели значення ΔT_{in} на початку циклу і наприкінці роботи системи.

На рис. 1 показано дані по випаровуванню води у 3-х і 5-ти ступінчастих дистиляторах.

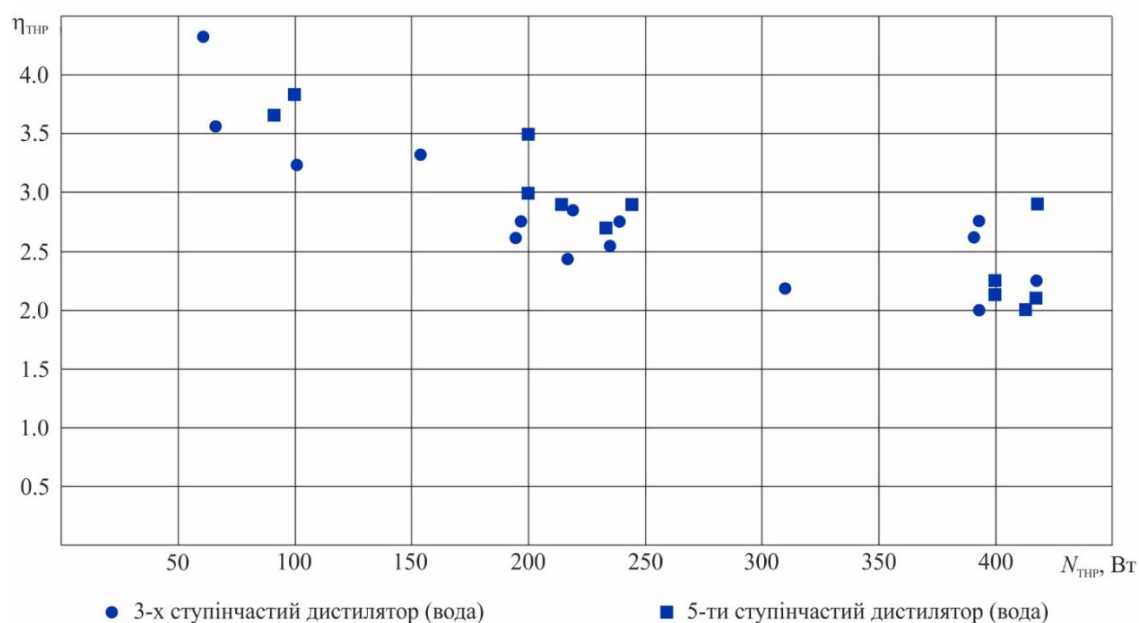


Рис. 1. Залежність $\eta_{ТНР} = f(N_{ТНР})$ за $n = 1000...1500$ об/хв.

На рис. 2 показано дані випробувань 5-ти ступінчастого дистилятора на сечі.

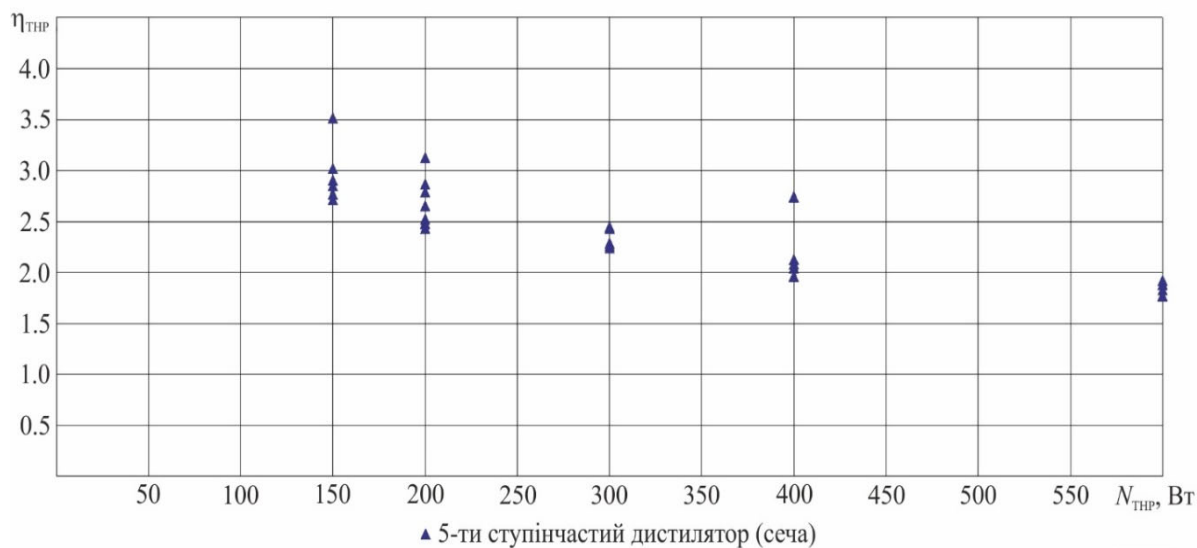


Рис. 2. Залежність $\eta_{THP} = f(N_{THP})$ при $n = 800 \dots 1200$ об/хв.

На рис. 3 і рис. 4 представлено порівняння теоретичних розрахунків з даними досліджень залежності ефективності термоелектричного теплового насоса η_{THP} від споживаної потужності для різних перепадів температур теплоносія на входах холодного и гарячого контурів. Ефективність насоса істотно зростає при зниженні споживання електроенергії і зближенні температур теплоносіїв. Врахування цих залежностей дозволяє оптимізувати енергетичні параметри космічного комплексу дистиляції в цілому.

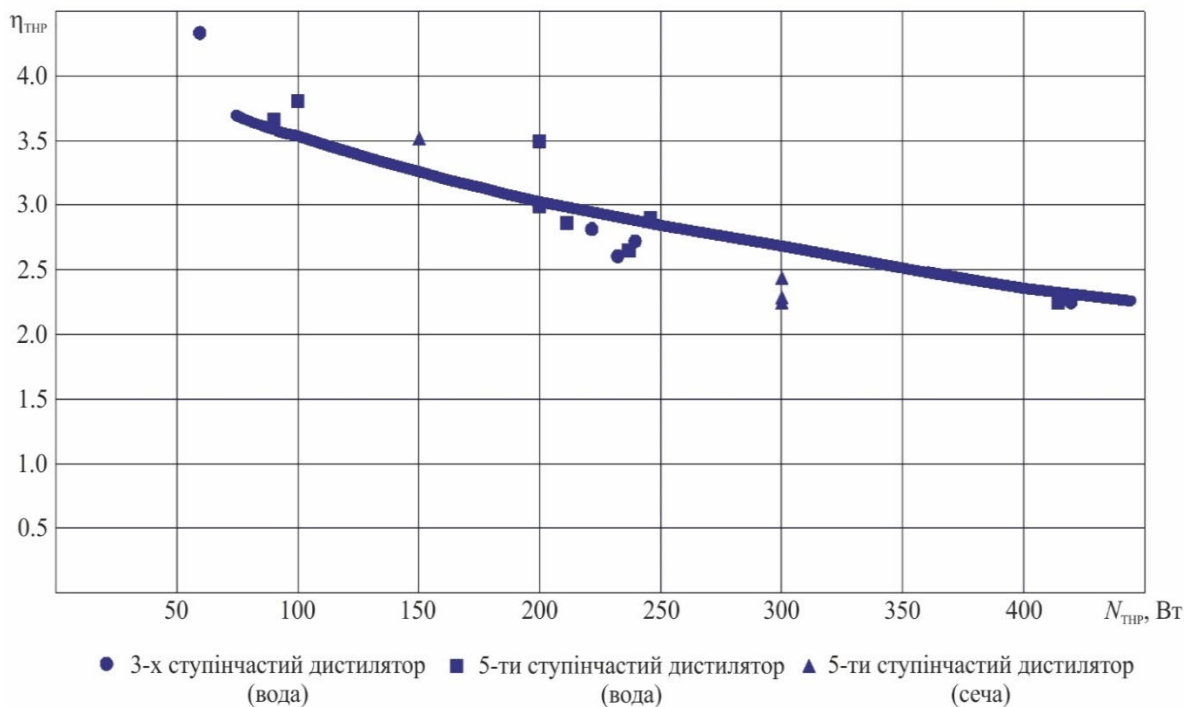


Рис. 3. Порівняння дослідних даних з результатами теоретичних розрахунків при $\Delta T_{in} = 5$ К.

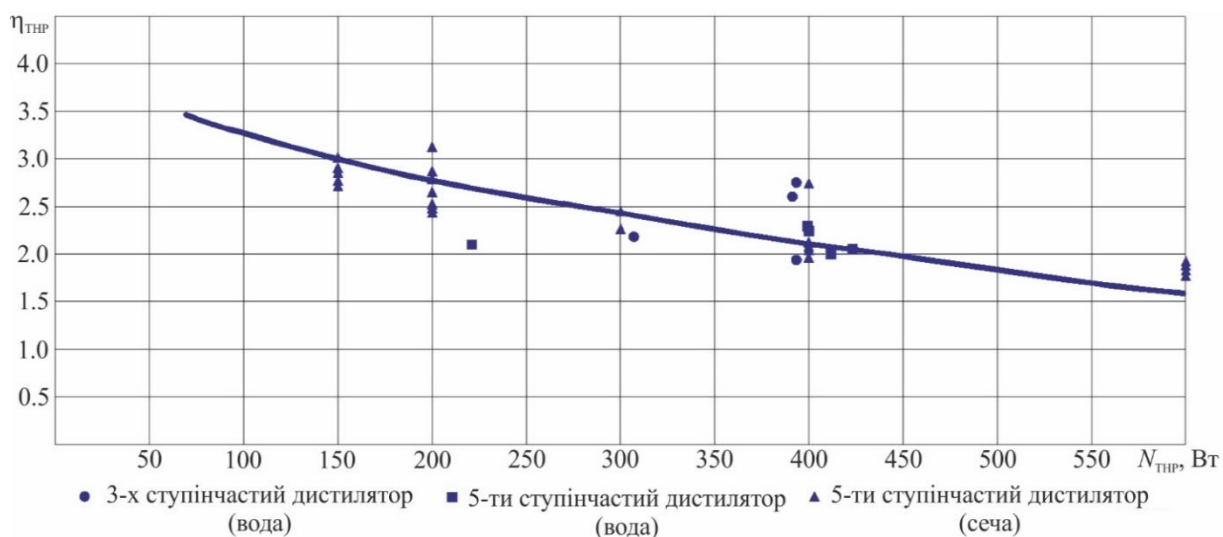


Рис. 4. Порівняння дослідних даних з результатами теоретичних розрахунків при $\Delta T_{in} = 10$ К.

Заключення

В даній статті наведено результати дослідження коефіцієнта ефективності термоелектричного теплового насоса від споживаної ним потужності. В процесі досліджень споживана тепловим насосом потужність змінювалась від 60 до 600 Вт, оберти двигуна дистилятора змінювались від 800 до 2000 об/хв. При зміні споживаної потужності теплового насоса від 400 до 600 Вт значення коефіцієнта η_{THP} змінюється незначно, при цьому в діапазоні 200 – 400 Вт значення η_{THP} збільшується практично у два рази. Максимальне значення η_{THP} на досліджуваному тепловому насосі досягає 5 при споживаній потужності 145 Вт. Питома витрата енергії SPC на отримання 1 л дистиляту має мінімальні значення саме за низьких потужностей теплового насоса, що дозволяє використати даний факт для подальшої розробки енергетично ефективних дистиляційних установок.

Література

1. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Barabash P.O., Solomakha A.S., Strykun A.P., Sereda V.V., Prybyla A.V. (2019). Evolution of centrifugal distillation system with a thermoelectric heat pump for space missions. *J. Thermoelectricity*, 3, 5 – 19.
2. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Barabash P.O., Usenko V.I., Solomakha A.S., Petrenko V.G., Prybyla A.V., Sereda V.V. (2019). Comparative analysis of thermal distillation methods with heat pumps for long space flights. *J. Thermoelectricity*, 4, 5 – 18.
3. Rifert V., Solomakha A., Barabash P. et al. (2022). Centrifugal multiple effect distiller for water recovery for space applications. *CEAS Space Journal*. <https://doi.org/10.1007/s12567-022-00480-x>
4. Roebelen G., Jr., Dehner G., Winkler H. (1984). Thermoelectric integrated membrane evaporation water recovery technology. *SAE 93,559–570*. <https://doi.org/10.4271/820849>
5. Dehner G.F., Reysa R.P. (1985). Thermoelectric integration membrane evaporation subsystem water recovery technology update. In: *15 Intersociety Conference on environmental systems. Paper 851348*. <https://doi.org/10.4271/851348>
6. Dehner G.F., Price D.F. (1987). Thermoelectric integration membrane evaporation subsystem testing. *SAE Paper 871446*. <https://doi.org/10.4271/871446>

7. Thibaud-Erkey C., Fort J., Scull T., Edeen M. (2002). Performance testing of a new membrane evaporator for the thermoelectric integrated membrane evaporator system (TIMES) water processor. In: *32nd International Conference on Environmental Systems. SAE 2002-01-2525*. <https://doi.org/10.4271/2002-01-2525>
8. Development of a prototype TIMES wastewater recovery subsystem. Roerelen G.J., Denher G.F. PREPARED UNDER CONTRACT NO. NAS 9-15471, 1982 and 1984
9. Rifert V.G., Barabash P.A., Usenko V., Solomakha A.S., Anatychuk L.I., Prybyla A.V. Improvement the cascade distillation system for long-term space flights. *68th International Astronautical Congress (IAC), Adelaide, Australia, 25-29 September 2017*. IAC-17-A1.IP.25.
10. *Vapor compression distillation module* (Contracts NAS9-13714 & NAS9-14234), Prepared by P.P. Nuccio, 1975.
11. Noble Larry D., Schubert Franz H., Pudoka Rick J., Miernik Janie H. (1990). Phase change water recovery for the space station free demand future exploration missions. *20th Intersociety Conference on Environmental Systems. Williamsburg, Virginia, July 9-12, 1990. SAE Technical Paper 901294*.
12. Wieland P., Hutchens C. and Long D., B. Salyer Final Report on Life Testing of the Vapor Compression Distillation / Urine Processing Assembly (VCD/UPA) at the Marshall Space Flight Center (1993 to 1997) *NASA/TM – 1998 – 208539*.
13. Carter L., Williamson J., Brown C.A., Bazley J., Gazda D., Schaezler R., Thomas Frank. (2018). Status of ISS water management and recovery. *48th International Conference on Environmental Systems. 8 – 12 July 2018, Albuquerque, New Mexico*. ICES-2018-088.
14. Carter L., Williamson J., Brown C.A., Bazley J., Gazda D., Schaezler R., Thomas Frank (2017). Status of ISS water management and recovery. *47th International Conference on Environmental Systems, 17 – 20 July 2017, Charleston, South Carolina*. ICES-2016-036
15. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Barabash P.O., Solomakha A.S., Usenko V.I., Petrenko V.G. (2021). Justification of thermal distillation method with a thermoelectric heat pump for long-term space missions. *J. Thermoelectricity*, 1, 5 – 22. http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2021_01_en.pdf
16. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Solomakha A.S., Barabash P.O., Petrenko V.G., Snegovskoy O.P. (2021). Influence of thermodynamic characteristics of a thermoelectric heat pump on the performance and energy consumption of a centrifugal distiller. *J. Thermoelectricity*, 2, 5 – http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2021_02_en.pdf
17. Rifert Vladimir G., Anatychuk Lukyan I., Solomakha Andrii S., Barabash Petr A., Usenko Vladimir, Prybyla A.V., Naymark Milena, Petrenko Valerii (2019). Upgrade the centrifugal multiple-effect distiller for deep space missions. *70th International Astronautical Congress (IAC), Washington D.C., United States, 21 – 25 October 2019*. IAC-19-A1, IP 11, x54316.
18. Solomakha A.S., Anatychuk L.I., Rifert V.G., Barabash P.A., Usenko V., Petrenko V. (2020). Thermal distillation system for deep space missions: rationale for the choice. *71st International Astronautical Congress (IAC) – The Cyber Space Edition, 12 – 14 October 2020*. IAC-20-A1,VP,15,x61344. 7 pages. <https://www.iafastro.org/assets/files/publications/iac-publications/IAC2020-Virtual-FinalProgramme-2020-10-07-FINAL-online-Lowres.pdf>
19. Rifert V., Barabash P., Goliad N. (1990). Methods and processes of thermal distillation of water solutions for closed water supply systems. *The 20th Intersociety Conference on Environmental Systems, Williamsburg, July 1990. SAE Paper 901249*.
20. Rifert V., Usenko V., Zolotukhin I., MacKnight A., Lubman A. (1999). Comparison of secondary water processors using distillation for space applications. *SAE Paper 99-70466, 29th International Conference on Environmental Systems, Denver, July 1999*.

21. Rifert V., Stricun A., Usenko V. (2000). Study of dynamic and extreme performances of multistage centrifugal distiller with the thermoelectric heat pump. *SAE Technical Papers 2000. 30th International Conference on Environmental Systems; Toulouse; France; 10 – 13 July 2000.*
22. Rifert V.G., Usenko V.I., Zolotukhin I.V., MacKnight A. and Lubman A. (2003). Cascaded distillation technology for water processing in space. SAE Paper 2003-01-2625. *34th International Conference on Environmental Systems. Orlando, July 2003.*
23. Rifert V.G., Barabash P.A., Solomakha A.S., Usenko V., Sereda V.V., Petrenko V.G. (2018). Hydrodynamics and heat transfer in centrifugal film evaporator. *Bulgarian Chemical Communications, 50, Special Issue K, 49 – 57.*
24. Rifert V.G., Solomakha A.S., Barabash P.A., Usenko V., Sereda V.V. (2020). Justification of the method for calculating heat transfer in film evaporators with a rotating surface. *Bulgarian Chemical Communications, 52, Special Issue F, 95-102. DOI: 10.34049/bcc.52. F. 0016*
25. Solomakha A.S., Rifert V.G., Barabash P.A., Petrenko V., Yaroshevych M. (2021). Centrifugal flash distiller for life support system. *72 International Astronautical Congress (IAC), Dubai, United Arab Emirates, 25-29 October 2021. IAC-21-A1, IP 6, x 66795. 7 pages.*
26. Butuzov A.I. and Rifert V.G. (1973). Heat transfer in evaporation of liquid from a film on a rotating disc. *Heat Transfer Soviet Research, 5, 1.*

Надійшли до редакції: 18.01.2023.

Anatychuk L.I., Acad. NAS Ukraine ^{1,2}

Rifert V.G., D.Sc.(Tech) ³

Barabash P.O., Cand.Sc.(Tech) ³

Desiateryk R.V., Cand.Sc.(Tech) ³

Solomakha A.S., Cand.Sc.(Tech) ³

Rozver Yu.Yu., Researcher ¹

Petrenko V.G., Cand.Sc.(Tech.) ³

¹ Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine, 1 Nauky str.,
Chernivtsi, 58029, Ukraine;

e-mail: anatych@gmail.com, y.rozver@chnu.edu.ua

² Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2 Kotsiubynskyi str., Chernivtsi, 58000, Ukraine;

e-mail: anatych@gmail.com

³ National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
6 Polytechnichna str., Kyiv, 03056, Ukraine;

*e-mail: vgrifert@ukr.net, barabash_tef@ukr.net,
drv_td@ukr.net, as_solomaha@ukr.net, petrko@ukr.net*

PERFORMANCE TESTING OF A THERMOELECTRIC HEAT PUMP FOR CENTRIFUGAL DISTILLATION OF WASTEWATER OF A SPACE LIFE SUPPORT SYSTEM

The paper describes the test results of a multistage centrifugal vacuum distillation (CMED) system with a thermoelectric heat pump (THP). The paper presents the results of research on the study of

the main characteristics of the process of concentrating water and urine when using three- and five-stage distillers. Particular attention is paid to studying the influence of process parameters on the change in the efficiency of a thermoelectric heat pump.

Key words: heat pump, distiller.

References

1. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Barabash P.O., Solomakha A.S., Strykun A.P., Sereda V.V., Prybyla A.V. (2019). Evolution of centrifugal distillation system with a thermoelectric heat pump for space missions. *J. Thermoelectricity*, 3, 5 – 19.
2. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Barabash P.O., Usenko V.I., Solomakha A.S., Petrenko V.G., Prybyla A.V., Sereda V.V. (2019). Comparative analysis of thermal distillation methods with heat pumps for long space flights. *J. Thermoelectricity*, 4, 5 – 18.
3. Rifert V., Solomakha A., Barabash P. et al. (2022). Centrifugal multiple effect distiller for water recovery for space applications. *CEAS Space Journal*. <https://doi.org/10.1007/s12567-022-00480-x>
4. Roebelen G., Jr., Dehner G., Winkler H. (1984). Thermoelectric integrated membrane evaporation water recovery technology. *SAE 93,559–570*. <https://doi.org/10.4271/820849>
5. Dehner G.F., Reysa R.P. (1985). Thermoelectric integration membrane evaporation subsystem water recovery technology update. In: *15 Intersociety Conference on environmental systems. Paper 851348*. <https://doi.org/10.4271/851348>
6. Dehner G.F., Price D.F. (1987). Thermoelectric integration membrane evaporation subsystem testing. *SAE Paper 871446*. <https://doi.org/10.4271/871446>
7. Thibaud-Erkey C., Fort J., Scull T., Edeen M. (2002). Performance testing of a new membrane evaporator for the thermoelectric integrated membrane evaporator system (TIMES) water processor. In: *32nd International Conference on Environmental Systems. SAE 2002-01-2525*. <https://doi.org/10.4271/2002-01-2525>
8. Development of a prototype TIMES wastewater recovery subsystem. Roerelen G.J., Denher G.F. PREPARED UNDER CONTRACT NO. NAS 9-15471, 1982 and 1984
9. Rifert V.G., Barabash P.A., Usenko V., Solomakha A.S., Anatychuk L.I., Prybyla A.V. Improvement the cascade distillation system for long-term space flights. *68th International Astronautical Congress (IAC), Adelaide, Australia, 25-29 September 2017*. IAC-17-A1.IP.25.
10. *Vapor compression distillation module* (Contracts NAS9-13714 & NAS9-14234), Prepared by P.P. Nuccio, 1975.
11. Noble Larry D., Schubert Franz H., Pudoka Rick J., Miernik Janie H. (1990). Phase change water recovery for the space station free demand future exploration missions. *20th Intersociety Conference on Environmental Systems. Williamsburg, Virginia, July 9-12, 1990. SAE Technical Paper 901294*.
12. Wieland P., Hutchens C. and Long D., B. Salyer Final Report on Life Testing of the Vapor Compression Distillation / Urine Processing Assembly (VCD/UPA) at the Marshall Space Flight Center (1993 to 1997) *NASA/TM – 1998 – 208539*.
13. Carter L., Williamson J., Brown C.A., Bazley J., Gazda D., Schaezler R., Thomas Frank. (2018). Status of ISS water management and recovery. *48th International Conference on Environmental Systems. 8 – 12 July 2018, Albuquerque, NewMexico*. ICES-2018-088.
14. Carter L., Williamson J., Brown C.A., Bazley J., Gazda D., Schaezler R., Thomas Frank (2017). Status of ISS water management and recovery. *47th International Conference on Environmental Systems, 17 – 20 July 2017, Charleston, South Carolina*. ICES-2016-036

15. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Barabash P.O., Solomakha A.S., Usenko V.I., Petrenko V.G. (2021). Justification of thermal distillation method with a thermoelectric heat pump for long-term space missions. *J. Thermoelectricity*, 1, 5 – 22. http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2021_01_en.pdf
16. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Solomakha A.S., Barabash P.O., Petrenko V.G., Snegovskoy O.P. (2021). Influence of thermodynamic characteristics of a thermoelectric heat pump on the performance and energy consumption of a centrifugal distiller. *J. Thermoelectricity*, 2, 5 – http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2021_02_en.pdf
17. Rifert Vladimir G., Anatychuk Lukyan I., Solomakha Andrii S., Barabash Petr A., Usenko Vladimir, Prybyla A.V., Naymark Milena, Petrenko Valerii (2019). Upgrade the centrifugal multiple-effect distiller for deep space missions. *70th International Astronautical Congress (IAC), Washington D.C., United States, 21 – 25 October 2019*. IAC-19-A1, IP 11, x54316.
18. Solomakha A.S., Anatychuk L.I., Rifert V.G., Barabash P.A., Usenko V., Petrenko V. (2020). Thermal distillation system for deep space missions: rationale for the choice. *71st International Astronautical Congress (IAC) – The Cyber Space Edition, 12 – 14 October 2020*. IAC-20-A1,VP,15,x61344. 7 pages. <https://www.iafastro.org/assets/files/publications/iac-publications/IAC2020-Virtual-FinalProgramme-2020-10-07-FINAL-online-Lowres.pdf>
19. Rifert V., Barabash P., Goliad N. (1990). Methods and processes of thermal distillation of water solutions for closed water supply systems. *The 20th Intersociety Conference on Environmental Systems, Williamsburg, July 1990*. SAE Paper 901249.
20. Rifert V., Usenko V., Zolotukhin I., MacKnight A., Lubman A. (1999). Comparison of secondary water processors using distillation for space applications. *SAE Paper 99-70466, 29th International Conference on Environmental Systems, Denver, July 1999*.
21. Rifert V., Stricun A., Usenko V. (2000). Study of dynamic and extreme performances of multistage centrifugal distiller with the thermoelectric heat pump. *SAE Technical Papers 2000. 30th International Conference on Environmental Systems; Toulouse; France; 10 – 13 July 2000*.
22. Rifert V.G., Usenko V.I., Zolotukhin I.V., MacKnight A. and Lubman A. (2003). Cascaded distillation technology for water processing in space. SAE Paper 2003-01-2625. *34th International Conference on Environmental Systems. Orlando, July 2003*.
23. Rifert V.G., Barabash P.A., Solomakha A.S., Usenko V., Sereda V.V., Petrenko V.G. (2018). Hydrodynamics and heat transfer in centrifugal film evaporator. *Bulgarian Chemical Communications*, 50, Special Issue K, 49 – 57.
24. Rifert V.G., Solomakha A.S., Barabash P.A., Usenko V., Sereda V.V. (2020). Justification of the method for calculating heat transfer in film evaporators with a rotating surface. *Bulgarian Chemical Communications*, 52, Special Issue F, 95-102. DOI: 10.34049/bcc.52. F. 0016
25. Solomakha A.S., Rifert V.G., Barabash P.A., Petrenko V., Yaroshevych M. (2021). Centrifugal flash distiller for life support system. *72 International Astronautical Congress (IAC), Dubai, United Arab Emirates, 25-29 October 2021*. IAC-21-A1, IP 6, x 66795. 7 pages.
26. Butuzov A.I. and Rifert V.G. (1973). Heat transfer in evaporation of liquid from a film on a rotating disc. *Heat Transfer Soviet Research*, 5, 1.

Submitted: 18.01.2023.