

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 620.91:697.329

Оптимізація й прогнозування ефективності рідинних сонячних колекторів у складі систем гарячого водопостачання

О. В. Дорошенко¹✉, В. Ф. Халак², Ю. І. Дем'яненко³^{1,2,3}Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082, Україна✉ e-mail: ¹dor_av43@i.ua

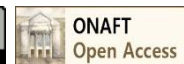
В останні роки сонячні системи гарячого водопостачання викликають усе більший практичний інтерес. Їхнє використання дозволяє знизити пікові навантаження в традиційних системах гарячого водопостачання, альтернативно – замінити останні, забезпечуючи зниження шкідливих викидів у навколишнє середовище. Основним елементом такої системи є рідинний сонячний колектор. На ринку представлений великий вибір сонячних колекторів, проте висока вартість таких систем є одним із факторів, що стримує їх повсякденне використання. Використання полімерних матеріалів у конструкції сонячних колекторів (абсорбера й прозорого покриття) дозволяє суттєво знизити їхню вартість і вагу. Розрахункову ефективність сонячних колекторів досліджують при сонячному випромінюванні вище 800 Вт/м^2 , але реальні умови його експлуатації скоріш за все будуть нижче номінальних. Для кращого розуміння поведінки плоского полімерного сонячного колектору в реальному середовищі, та виборі його оптимальних геометричних і режимних параметрів, авторами було проведено порівняльне експериментальне дослідження двох таких колекторів, проте з різною величиною повітряного зазору (10 і 25 мм) між теплоприймачем і прозорим покриттям. Як результат, було визначено: коефіцієнт корисної дії, оптичну ефективність, та сумарний коефіцієнт теплових втрат. Був виконаний також аналіз розподілу температур у баку-теплоаккумуляторі у верхній і нижній його частинах. За результатами експерименту було відзначено відсутність суттєвої різниці в ефективності сонячних колекторів при зменшенні повітряного зазору з 25 мм до 10 мм в однакових польових умовах. Розрахунок ефективності сонячної системи гарячого водопостачання проводився з урахуванням витраченої енергії на роботу насоса. На основі даних по будівельній кліматології для м. Одеса щодо величини сонячної радіації, авторами була визначена денна та річна теплова потужність сонячної системи гарячого водопостачання.

Ключові слова: Сонячний колектор; Гаряче водопостачання; Ефективність; Експериментальні дослідження; Тепловтрати

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v56i1-2.1827>

© The Author(s) 2020. 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

У багатьох розвинених країнах енергоспоживання у житловому секторі на нагрів води, опалення приміщень та їх кондиціювання складає значну частину витрат. Гаряча вода потрібна для багатьох домашніх потреб як у міських так і у сільських місцевостях, а для її нагріву найчастіше використовують електричні або газові нагрівачі. В

Україні необхідну енергію отримують в більшості випадків у результаті спалювання викопних ресурсів, що призводить до негативного екологічного впливу. Одним із шляхів зменшення цієї залежності є використання сонячної енергії в сонячних системах гарячого водопостачання.

Основним елементом сонячної системи є сонячний колектор (СК). Існують різні типи сонячних колекторів, але плоский сонячний колектор в

порівнянні з іншими є найпростішим та найпоширенішим (81.3% встановленої потужності у Європі) [1]. Вартість енергії виробленої сонячними тепловими колекторами залежить від вартості різних матеріалів з яких вони зроблені. Для зменшення ваги та вартості останніми роками отримали розповсюдження полімерні сонячні колектори.

Використання полімерних матеріалів дозволяє суттєво зменшити вагу, зменшити вартість, позбутися корозії, а також зробити монтаж СК більш легким [2]. Полімерні матеріали для використання у сонячних колекторах повинні відповідати ряду критеріїв, основними з яких є стійкість до ультрафіолету та гарячої води. Серед полімерних матеріалів, які досліджувались на ефективність в роботах [3-5] увага приділялась заміні металевого теплоприймача на полімерний та дослідження коефіцієнту корисної дії при зміні швидкості вітру [5]. Характеристики полімерних колекторів мають меншу ефективність ніж металеві, але значно менше впливають на стан екології [6].

Для зменшення вартості у статті запропоновано сонячний колектор з полімерним теплоприймачем та полімерним світлопрозорим покриттям. Ефективність СК та його характеристики проаналізовані за допомогою математичного моделювання. Створені СК протестовані в умовах зовнішнього середовища, визначено оптимальні геометричні розміри.

Існують різні фактори, які впливають на ефективність колектору: витрата теплоносія, сонячне випромінювання, температура навколишнього середовища, хмарність, запиленість поверхні, та ін. Теплові втрати можна врахувати коефіцієнтом теплових втрат, зі збільшенням температурної різниці між теплоносієм на вході і виході з сонячного колектору вони зростають.

2. Експериментальні дослідження та розрахунки

Експериментальний стенд представляє два повністю ідентичних контури для проведення порівняльних випробувань СК і включає два полімерні сонячні колектори з різним повітряним зазором між теплоприймачем та прозорим покриттям – 10 мм (СК10) та 25 мм (СК25), баків-теплоаккумуляторів (ємністю 80 л) та додаткового обладнання (рис. 1). Обидва колектори випробовувались при постійній витраті теплоносія 0,023 кг/с, швидкість вітру коливалась близько 1 м/с, колектори

розташовані під кутом 45° до горизонту та азимут – 25° .

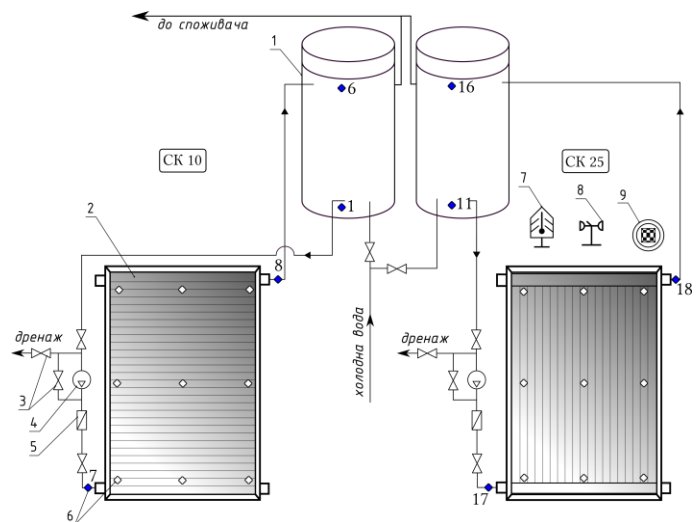


Рисунок 1 – Схематичне зображення досліджуваної системи: 1 – БТА; 2_1 – СК з повітряним зазором 10 мм; 2_2 – СК з повітряним зазором 25 мм; 3 – запірний вентиль; 4 – насос; 5 – витратомір; 6 – термореле; 7 – термометр; 8 – анемометр; 9 – піранометр; 10 – фільтр; 11 – повітряний клапан

Для вимірювання середньої температури теплоприймача використовувались датчики температур, рівномірно розташовані по його поверхні. Температура води на вході та виході з СК вимірювалася термореле типу К (мідь-константан) які були розміщені у граничному шарі теплоносія, з обробкою сигналу від них аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). Значення температур були повірені ртутним термометром з ціною поділки $0,2^\circ$. Температурні датчики в баці-теплоаккумуляторі (БТА) у верхній та нижній його частинах використовувались для виміру розподілу температур по висоті бака. Дані записувались з 15-хвилинним інтервалом. Технічні характеристики досліджуваних колекторів наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики полімерних СК (з повітряним зазором 10 мм і 25 мм)

Площа апертури, $F_{ск}$	1,26 м ²
Площа теплоприймача	1,14 м ²
Прозоре покриття, теплоприймач	10 мм двустінний полікарбонат Polygal
Теплоносій	вода
Місткість теплоприймача	11,84 л
Бокова ізоляція	20 мм (полістирол)
Ізоляція нижньої частини	50 мм (мінвата)

На рис. 2 показані зміни температури зовнішнього повітря ($T_{\text{зп}}$), сонячного випромінювання (пунктиром) і чотирьох температур в БТА (див. рис. 1: температури 6 і 16 в БТА1 і БТА2, відповідно, а також нижня – 1 і 11). З рис. 2 спостерігається, що теплоносію у нижній частині БТА (1 та 11) необхідно приблизно 1 година, для того щоб почався процес нагріву. На початку і в кінці експерименту температури практично однакові через процедуру гомогенізації. Для побудови графіків використовувався сонячний час.

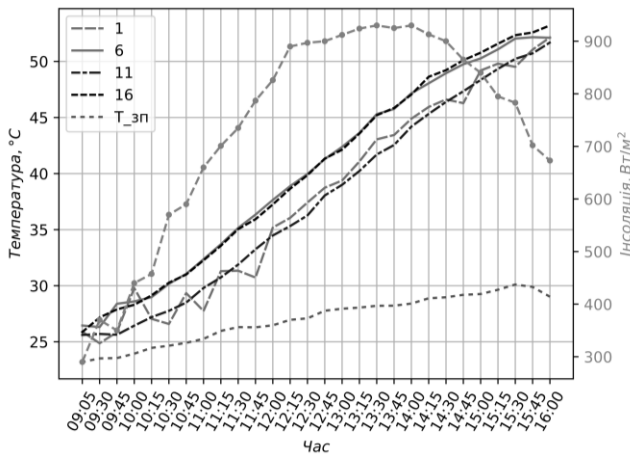


Рисунок 2 – Розподілення температур в БТА1 – СК10(1,6) і БТА2 – СК25(11,16)

Ефективність сонячного колектору протягом експерименту була змодельована в [7]. Для уточнення середньої температури теплоприймача та визначення коефіцієнта теплових втрат використовувався ітеративний розрахунок запропонований в [7].

Саме цитоване рівняння для визначення примусової конвекції (тепловіддачі в оточуюче середовище) має вигляд $h_w = 5,7 + 3,8w$ і часто використовується через його простоту. Дані, отримані для його виведення, були взяті для квадратної мідної пластини з розмірами сторін 0,5 м та паралельним до неї потоком повітря, але, як зазначає [8], таку ситуацію досить складно зустріти у реальному житті. Для розрахунку примусової конвекції над поверхнею СК в [7, 9] запропоновано застосовувати наступну формулу:

$$h_w = \max\left(5 \cdot \frac{8,6w^{0,6}}{L^{0,4}}\right), \quad (1)$$

де w – швидкість вітру, м/с;

L – кубічний корінь об'єму будівлі (в метрах);

5 (Вт/м²) – константа, що представляє мінімальне

значення, яке спостерігається над сонячним колектором при відсутності вітру.

Під час експерименту відбір гарячої води не проводився, кут нахилу, та інші параметри не змінювались. Нагрів теплоносія за період експерименту склав $\Delta T_1 = 52,4 - 25,85 = 26,55$ °С в БТА1, і $\Delta T_2 = 52,57 - 25,55 = 27,02$ °С в БТА2. Рух теплоносія забезпечував насос RH 20-4-130. Його споживана потужність в режимі малої подачі, згідно з паспортними характеристиками, складає 36 Вт. Споживання електроенергії насосом за період експерименту складає $Q_{\text{насос}} = 36 \cdot 7 \text{ год} = 252$ Вт.

Енергетичну ефективність випробуваного сонячного колектору можна визначити як відношення поглинутої енергії до отриманої, також варто врахувати енергію споживану насосом. На прикладі СК10 ефективність за період випробувань можна розрахувати за формулою

$$\eta_{\Sigma\text{СК}} = \frac{Q_{\text{факт}} - Q_{\text{насос}}}{Q_{\text{отрим}}}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{отрим}} = 5571$ Вт/м² – сонячне випромінювання, що падає на площину сонячного колектору площею 1,26 м²; $Q_{\text{насос}}$ – робота насоса; $Q_{\text{факт}}$ – фактичне сонячне випромінювання, отримане сонячним колектором через прозоре покриття, для СК10 воно складає $Q_{\text{факт.СК10}} = 4228,6$ Вт/м², а для СК25 – $Q_{\text{факт.СК25}} = 4198,25$ Вт/м². При визначенні сумарної ефективності за весь період експерименту було припущено, що тепловтрати через труби та БТА незначні. За отриманими даними розраховуємо ефективність сонячної системи гарячого водопостачання для СК10 та для СК25, відповідно

$$\eta_{\Sigma\text{СК10}} = \frac{4228,6 - 252}{5571} = 0,71$$

$$\eta_{\Sigma\text{СК25}} = \frac{4198,25 - 252}{5571} = 0,705$$

Корисна енергія, отримана площею теплоприймача при сталому режимі, розраховується за формулою:

$$Q_u = A_c \cdot F_r \cdot (G \cdot (\tau\alpha) - U_{\Sigma} \cdot (T_i - T_{\text{зп}})), \text{ Вт} \quad (3)$$

де A_c – площа СК; $F_r = F' \cdot F''$ – коефіцієнт відводу тепла з колектору; $(\tau\alpha)$ – загальна приведена поглинальна здатність; T_i – температура теплоносія на вході в колектор; $T_{\text{зп}}$ – температура зовнішнього повітря.

Коефіцієнт корисної дії розраховуємо за формулою:

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_t} \quad (4)$$

Приведену температуру розраховуємо за формулою:

$$T_{\text{пр}} = \frac{T_i - T_{\text{зп}}}{G_t} \quad (5)$$

Детальний перелік формул наведений у [7]. За результатами розрахунків було отримано значення ефективності за годину роботи (рис. 3). За результатами лінійної апроксимації щогодинних значень ефективності, коефіцієнт корисної дії СК10 можна описати формулою $\eta_{\text{СК10}} = 0,674 - T_{\text{пр}} \cdot 5,20$, а ефективність СК25: $\eta_{\text{СК25}} = 0,678 - T_{\text{пр}} \cdot 5,17$.

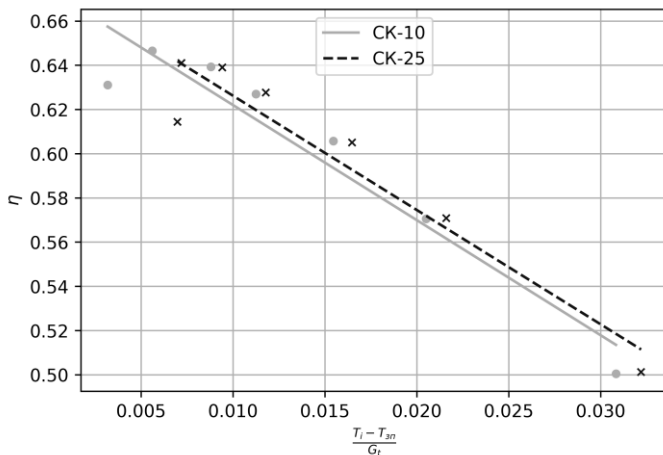


Рисунок 3 – Ефективність досліджених сонячних колекторів

3. Експериментальні результати та їх аналіз

Дані щодо кількості сонячної радіації (СР) та швидкості вітру протягом експерименту та розрахунок корисної енергії відображені у табл. 2.

Оцінюючи вплив повітряного зазору, можна відзначити, що середня за період експерименту ефективність у СК25 більше ніж у СК10 (табл. 1), але різниця є невеликою. У металічних сонячних колекторах ARCON для зменшення впливу конвекції на ефективність у повітряному зазорі встановлюють прозорі плівки між теплоприймачем та прозорим покриттям [10], а тому невелика різниця ефективності, у нашому випадку, може бути обумовлена використанням полікарбонатної сотової плити, яка містить велику кількість замкнутих каналів та підвищує ефективність СК у цілому.

Отриману теплоносієм енергію за період випробувань можна розрахувати за формулою

$$Q_{\text{бта}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T, \text{ Вт} \quad (6)$$

де m – об'єм бака, м^3 ;

C_p – теплоємність води, $\text{кВт}/\text{м}^3 \cdot \text{К}$;

Розраховуємо енергію набуту водою за випробувальний період в СК10

$$Q_{\text{бта_СК10}} = 0,08 \cdot 1,16 \cdot 26,55 = 2442 \text{ Вт}$$

Середню повну теплову ефективність розраховуємо за формулою:

$$\eta_{\text{сстгв}} = Q_{\text{бта}} / (G_t \cdot A_c + Q_{\text{нас}}), \quad (7)$$

Таблиця 2 – Параметри навколишнього середовища та ефективність СК

	Години								День
	8	9	10	11	12	13	14	15	
G		440	660	826	912	930	840	673	5571
w	0,8	0,55	0,77	0,96	0,98	0,9	1,05	0,86	
$Q_{\text{и(СК10)}}$	217,34	349,86	537,67	665,38	720,45	709,73	603,84	424,33	4228,6
$\eta_{\text{(СК10)}}$	0,539	0,614	0,6410	0,642	0,628	0,605	0,571	0,501	0,593
$Q_{\text{и(СК25)}}$	197,19	340,61	533,07	668,12	721,23	708,94	604,12	424,97	4198,3
$\eta_{\text{(СК25)}}$	0,595	0,631	0,646	0,639	0,627	0,605	0,57	0,5	0,616

де G_t – отримана сонячна енергія (за період експерименту), Вт.

$$\eta_{\text{сстгв}} = 2442 / (4198,25 \cdot 1,26 + 252) = 0,44.$$

Для оціночних розрахунків ефективності СК25 на протязі року було використано дані державного стандарту [11].

Інтенсивність сонячної радіації, що надходить

на сонячний колектор на протязі світлової доби (кожної години з 8:00 до 17:00) розраховувалась за формулою

$$q_{\text{пад}} = P_a \cdot P_s \cdot I_s^{\text{ГОП}} + P_d \cdot I_d^{\text{ГОП}} + P_r (I_s^{\text{ГОП}} + I_d^{\text{ГОП}}) a, \quad (8)$$

де P_a – коефіцієнт, що враховує азимут розташування СК; P_s – коефіцієнт положення СК для пря-

мої СР; P_d – коефіцієнт положення колектору для розсіяної СР; P_r – коефіцієнт положення колектору для відбитої СР; a – альbedo (коефіцієнт відбиття) поверхні, на якій розташовані колектори. За відсутності снігового покриву приймається $a=0,2$.

Сумарна добова надхідна СР на площину колектору:

$$q_{\text{пад}}^{\text{доб}} = \sum_i q_{\text{пад},i}, \text{ Вт} \quad (9)$$

Коефіцієнт корисної дії СК визначають за формулою:

$$\eta = (\tau\alpha)_s - [iU((t_1 + t_2)/2) - t_{\text{сер}}] / q_{\text{пад}}^{\text{доб}}, \quad (10)$$

де $(\tau\alpha)_s$ – приведена оптична характеристика СК для прямої СР, експериментально визначена $(\tau\alpha)_s = 0,715$;

i – кількість годин роботи на день, приймаємо $i=5$;

U – приведений коефіцієнт теплових втрат СК; експериментально визначений коефіцієнт теплових втрат складає $U_{\text{СК}25} = 4,967 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2$;

t_1, t_2 – температури теплоносія на вході та виході з СК, приймаємо $t_1 = 15, t_2 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$;

$t_{\text{сер}}$ – середньодобова температура з 8:00 до 17:00 (згідно ДСТУ Будівельна кліматологія [12]).

Для визначення фактичного значення застосовують коригувальні коефіцієнти [11]

$$\eta = \eta \cdot k_{\eta}, \quad (11)$$

де k_{η} – коригувальний коефіцієнт [11].

Кількість теплоти, яку вироблено системою протягом року (сезону) роботи визначають за формулою:

$$Q = A_c \cdot \eta \cdot q_{\text{пад}}^{\text{доб}}, \text{ Вт} \quad (12)$$

На основі розрахованих даних в табл. 3 можна

Таблиця 3 – Кількість сонячної енергії по місяцях і ефективність сонячного колектору

	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ясні дні	1,4	1,4	1,5	2,4	3,1	4,2	5,4	7,7	6,6	3,5	1	0,8
ПОХМ дні	15,9	14,9	15,2	10,8	8,7	5,9	3,7	3,2	4,3	7,5	15,6	18,1
$q_{\text{пад}}^{\text{доб}}$	914,9	1510	2835	4436	5681	6346	6490	5581	4296	2388,3	1065,7	768,2
η	-0,235	0,14	0,41	0,52	0,56	0,579	0,58	0,56	0,51	0,352	-0,1	-0,416
$\eta_{\text{факт}}$	-0,233	0,138	0,405	0,516	0,558	0,574	0,577	0,556	0,509	0,35	-0,1	-0,412
Q	-243	238	1310	2607	3616	4154	4271	3537	2496	952	-119	-361
$Q_{\text{міс}}$	-340,2	333,2	1965	6257	11210	17447	23063	27235	16295	3332	-119	-288,8
$t_{\text{сер}}$ [13]	0,7	1,3	5,3	12,8	19,7	24,8	27,6	27,2	22	15,1	8,6	3,2

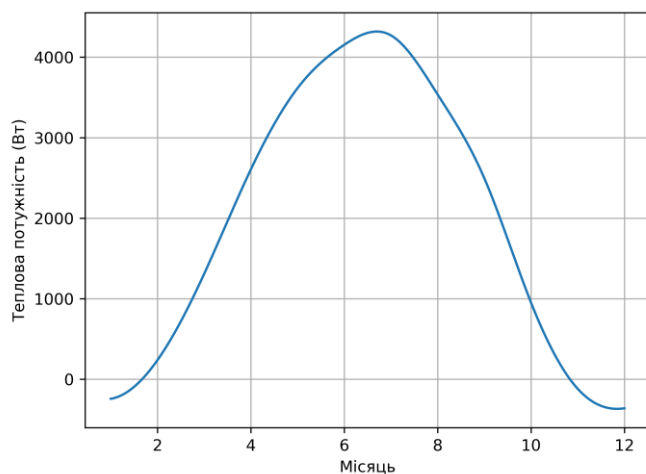


Рисунок 4 – Розподіл середньоденної потужності сонячного колектору

зробити висновок про часовий інтервал ефективного функціонування геліосистеми, графічно зображений на рис. 4. Річна потужність сонячної системи з одного сонячного колектору складає

$$Q_{\text{рік}} = \sum_i Q_{\text{міс},i} = 107,137 \text{ кВт}$$

(без врахування даних у опалювальний період: грудень-березень).

4. Висновки

Проведені експериментальні дослідження показали:

Теплові втрати при більшому значенні величини повітряного зазору зменшуються, а ефектив-

ність збільшується, хоча і не дуже суттєво. Ця різниця є достатньо малою за рахунок використання для світлопрозорого покриття плити сотового полікарбонату, який виконує роль додаткового повітряного зазору.

Наявність плити сотового полікарбонату, у каналах якого знаходиться повітря, виконує роль основного прозорого покриття, дозволяє знизити величину традиційного повітряного зазору, тим самим знижуючи величину сонячного колектору у цілому.

Аналізуючи зміну потужності нагріву протягом року, можна зробити висновок, що найбільша ефективність досягається в діапазоні з квітня по вересень. На величину середньомісячної потужності впливає кількість ясних днів на протязі розрахункового місяця.

Література

1. Weiss W., Spörk-Dür M. Global Market Development and Trends in 2019 // Detailed Market Data. – 2018. – P. 90.
2. Alghoul M. A. et al. Review of Materials for Solar Thermal Collectors // Anti-Corrosion Methods and Materials. – 2005. – Vol. 52. – № 4. – P. 199-206.
3. Ehrenwirth M., Albert-Seifried V., Beckenbauer D., et al. Theoretical and Experimental Investigation of Polymeric Solar-Thermal Flat-Plate Collectors // ISES Solar World Congress 2017, Abu Dhabi, United Arab Emirates (UAE). – 29.10.2017.
4. Martinopoulos G., Missirlis D., Tsilingiridis G., et al. CFD Modeling of a Polymer Solar Collector // Renewable Energy. – 2010. – Vol. 35. – № 7. – P. 1499–1508.
5. Cristofari C., Notton G., Poggi P., et al. Modelling and Performance of a Copolymer Solar Water Heating Collector // Solar Energy. – 2002. – Vol. 72. – № 2. – P. 99–112.
6. Carlsson B., Persson H., Meir M., et al. A total Cost Perspective on Use of Polymeric Materials in Solar Collectors – Importance of Environmental Performance on Suitability // Applied Energy. – 2014. – Vol. 125. – P. 10–20.
7. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar Engineering of Thermal Processes: Hoboken. – N.J: John Wiley and Sons, 2006. – 928 p.
8. Palyvos J. A. A Survey of Wind Convection Coefficient Correlations for Building Envelope Energy Systems' Modeling // Applied Thermal Engineering. – 2008. – Vol. 28. – № 8. – P. 801-808.
9. Дорошенко А. В., Глауберман М. А. Альтернативная энергетика. Солнечные системы теплоснабжения: монография. – Одесса: ОНУ, 2012. – 457 с.
10. Bava F., Furbo S., Perers B. Simulation of a Solar Collector Array Consisting of two Types of Solar Collectors, with and Without Convection Barrier // Energy Procedia. – 2015. – Vol. 70. – P. 4-12.
11. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з улаштування систем сонячного тепlopостачання в будинках житлового і громадського призначення. – Київ: Мінрегіонбуд України.
12. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – Київ: Містерство регіонального розвитку та будівництва України
13. Український Гідрометцентр. Прогноз погоди Одеса. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33837/climate/climate_stations/137/21/ (дата доступу: 10.09.2020).

Отримана в редакції 16.02.2020, прийнята до друку 03.03.2020

Prediction of the efficiency and optimization of the liquid solar collectors in composition of hot water supply

O. Doroshenko¹✉, V. Khalak², Yu. Demyanenko³

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

✉ e-mail: ¹dor_av43@i.ua

In the past few years, solar hot water systems have been attracting more and more practical interest. Their use allows you to reduce peak loads in traditional hot water systems, alternatively – to replace them, while at the same time reducing emission of harmful particles into the environment. The main element of such a system is a liquid solar collector. There is enough variety in supply of solar collectors on the market, however, factoring in the high cost of production, the latter still impedes their everyday popu-

larization. The use of polymeric materials in parts of a solar collector (absorber and transparent cover) allows us to reduce the costs and construction weight quite significantly. The computational efficiency of solar collectors is being researched with nominal solar radiation above 800 W/m^2 . Household utilization, however, would lag behind these idealistic field studies. To better understand the behavior of a flat polymer solar collector in a real environment, and to choose its optimal geometric and mode parameters, the authors conducted a comparative experimental study two of such collectors, but with different air gaps (10 and 25 mm) between the heated darkened surface and the transparent cover. As the result, computed were: the collector energy conversion efficiency, optical efficiency, and overall loss coefficient. An analysis of the temperature distribution in the heat storage tank in its upper and lower parts was also carried out. According to the experiment results, there was no significant difference in the efficiency of solar collectors with 25 mm and 10 mm air gap in the same field conditions or, indeed, any significant effect of air gap decreasing. The calculation of the efficiency of the solar hot water supply system was carried out taking into account the energy expended on the operation of the pump. Based on the data on building climatology for the Odesa city on the magnitude of solar radiation, the authors determined the daily norm and annual basis heat capacity of the solar hot water supply system.

Keywords: Solar collector; Hot water supply; Efficiency; Experimental research; Heat loss

References

1. Weiss, W., Spörk-Dür, M. (2018) Global Market Development and Trends in 2019. *Detailed Market Data*, 90.
2. Alghoul, M. A. et al. (2005) Review of materials for solar thermal collectors. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 52(4), 199-206.
3. Ehrenwirth, M., Albert-Seifried, V., Beckenbauer, D., et al. (2017) Theoretical and Experimental Investigation of Polymeric Solar-Thermal Flat-Plate Collectors. *ISES Solar World Congress 2017, Abu Dhabi, United Arab Emirates (UAE)*.
4. Martinopoulos, G., Missirlis, D., Tsilingiridis, G., et al. (2010) CFD Modeling of a Polymer Solar Collector. *Renewable Energy*, 35 (7), 1499-1508.
5. Cristofari, C., Notton, G., Poggi, P., et al. (2002) Modelling and Performance of a Copolymer Solar Water Heating Collector. *Solar Energy*, 72 (2), 99-112.
6. Carlsson, B., Persson, H., Meir, M., et al. (2014) A Total Cost Perspective on Use of Polymeric Materials in Solar Collectors – Importance of Environmental Performance on Suitability. *Applied Energy*, 125, 10-20.
7. Duffie, J. A., Beckman, W. A. (2006) *Solar Engineering of Thermal Processes*: Hoboken. N.J.: John Wiley and Sons, 928.
8. Palyvos, J. A. (2008) A Survey of Wind convection Coefficient Correlations for Building Envelope Energy Systems' Modeling. *Applied Thermal Engineering*, 28 (8), 801-808.
9. Doroshenko, A. V., Glauberman, M. A. (2012) *Alternative energy. Refrigerating and Heating Systems. Odesa: ONU*, 457.
10. Bava, F., Furbo, S., Perers, B. (2015) Simulation of a Solar Collector Array Consisting of two Types of Solar Collectors, with and Without Convection Barrier. *Energy Procedia*, 70, 4-12.
11. DSTU-N B V.2.5-43:2010 Inzhenerne obladnannia budynkiv i sporud. Nastanova z ulashtuvannia system soniachnoho teplopostachannia v budynkakh zhytlovoho i hromadskoho pryznachennia. Kyiv: *Minrehionbud Ukrainy*.
12. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia. Kyiv: *Misterstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva ukrainy*.
13. Ukrainskyi hidromettsentr. Prohnoz pohody Odesa. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33837/climate/climate_stations/137/21/ (accessed: 10.09.2020).

Received 16 February 2020
Approved 03 March 2020
Available in Internet 04 July 2020