

**Огородник С.С.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Новаківський Є.В.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Швець М.Ю.**

ТЕЦ-6 СП «Київські ТЕЦ» КП «Київтеплоенерго»

**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Мінаєва Ю.Ю.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД РОКУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ**

*Стаття присвячена аналізу ефективності роботи сонячних колекторів в осінньо-зимовий період разом із додатковим баком накопичувачем та тепловим насосом.*

*У статті розглянуті основні фактори, що впливають на ефективність роботи сонячних колекторів. Запропонована схема роботи сонячних колекторів в зимовий період із підвищенням потенціалу теплоносія за рахунок теплового насосу для забезпечення потреб опалення або гарячого водопостачання.*

*Проведено аналіз ефективності та тепло сприйняття сонячних колекторів в осінньо-зимовий період від максимальної температури теплоносія та об'єму бака накопичувача, температури теплоносія після теплового насосу.*

*Визначено оптимальні питомі характеристики баку-накопичувача, температурний режим сонячних колекторів (в зимовий період), визначено оптимальний об'єм баку-накопичувача та витрата теплоносія на тепловий насос для зимового режиму роботи сонячних колекторів.*

*Проаналізовано COP теплового насосу для умов отримання гарячої води для фреонів, що представлені на ринку для подібного обладнання.*

*Отримано графічні залежності теплосприйняття системи сонячних колекторів та коефіцієнта корисної дії всієї системи залежно від об'єму бака накопичувача, температури живильної води після теплового насосу на вході в бак накопичувач, максимально можливої температури в баці накопичувачі.*

*Запропоновано принципову схему комплексної системи гарячого водопостачання (опалення) на базі плоских сонячних колекторів та теплового насосу з акумулятором тепла в холодну пору року, представлено роботу сонячних колекторів при зниженому температурному режимі сонячних колекторів зі збереженням отриманої теплоти в баку накопичувачі, з подальшим підняттям потенціалу теплоти за допомогою теплового насосу.*

*Визначені питомі характеристики теплового насосу, а саме потужність компресору, випаровувача та конденсатора та відповідні їх площі на 10 м<sup>2</sup> сонячного колектору, для різних регіонів України.*

**Ключові слова:** сонячний колектор, тепловий насос, комплексні системи, енергоефективність, відновлювальна енергетика.

**Постановка проблеми.** Основні проблеми використання відновлювальних джерел енергії – це змінність енергетичних потоків протягом доби, місяця, року та низька густина теплового потоку в порівнянні з традиційними джерелами, що вимагає значні капіталовкладення в обладнання.

Створення комплексних систем з використанням декількох відновлювальних джерел енергії та типів обладнання дозволяють підвищення надійності та економічності всієї системи.

У роботах [1–3] розглядаються комбіновані системи теплопостачання на базі теплових насо-

сів та сонячних колекторів і шляхи підвищення їх ефективності. Авторами продовжена робота в цьому напрямі і запропонована принципова схема комплексної системи гарячого водопостачання (опалення) на базі плоских сонячних колекторів та теплового насосу з акумулятором тепла в холодну пору року. У статті представлена робота сонячних колекторів при зниженому температурному режимі сонячних колекторів зі збереженням отриманої теплоти в баку накопичувачі, з подальшим підняттям потенціалу теплоти за допомогою теплового насосу. Проведено аналіз питомої теплової потужності її окремих складових системи та режиму роботи для осінньо-зимового періоду для різних регіонів України. Визначенні площі теплообміну та потужності окремих складових частин теплового насосу.

Ефективність роботи сонячних колекторів прямо залежить від інтенсивності сонячного

випромінювання, температури навколишнього середовища та швидкості вітру [1]. Сукупний вплив цих факторів зменшує ефективність роботи сонячних колекторів в осінньо-зимовий період в більше ніж в п'ять разів в порівнянні з весняно-літнім періодом. Дані сонячної радіації, швидкості вітру та густини сонячної радіації в холодну пору року для різних регіонів України представлені на рис. 1–3. Для аналізу роботи сонячних колекторів в умовах клімату України в діапазоні широт від  $44^{\circ}$  N до  $52^{\circ}$  N були взяті дані метеостанцій Криму, Одеської, Дніпропетровської, Запорізької, Львівської, Чернігівської та Київської областей, що відповідає південним, центральним та північним регіонам України [7]. Зібрані кліматичні дані, які впливають на роботу геліоустановки, а саме: середньомісячні показники температури повітря (рис. 1.), швидкості вітру (рис. 2.), середньодобова щільність сонячної радіації на горизонтальну поверхню (рис. 3).

Для зменшення впливу факторів вітру та температури навколишнього середовища на ефективність роботи сонячного колектору авторами пропонується зниження температури теплоносія на вході в останній, з накопиченням отриманої енергії в баку акумулятора. Подальше збільшення потенціалу накопиченого тепла здійснюється за допомогою теплового насосу.

**Постановка завдання.** Мета статті – проаналізувати сумісну роботу системи сонячних колекторів з тепловим насосом у зимовий період, з використанням акумулятора теплоти. Визначити основні питомі характеристики обладнання, такі як площа сонячного колектору, об'єм акумулятора та відповідні характеристики складових частин теплового насосу для умов України.

**Виклад основного матеріалу.** Авторами розглядається комбінована система гарячого водопостачання (опалення) на базі сонячних колекторів в зимовий період. Схема установки представлена на рис. 1, яка складається з сонячного колектору (1), баку накопичувача (2),

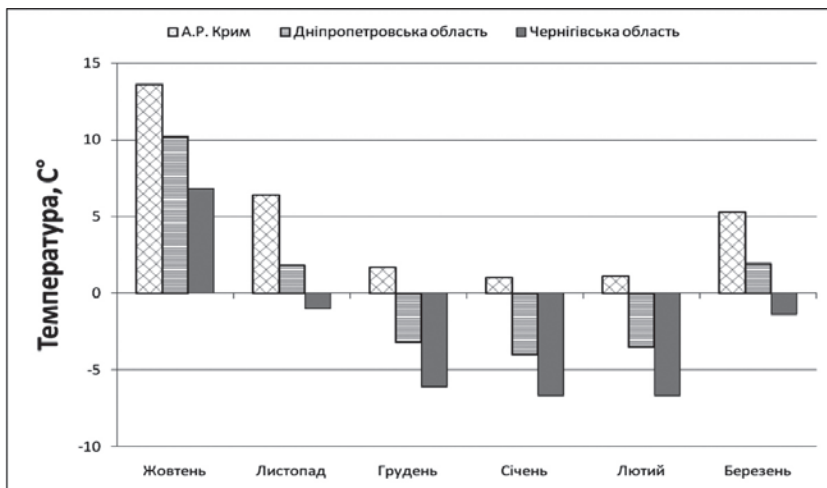


Рис. 1. Діаграма середньомісячної температури для трьох регіонів України в осінньо-весняний період

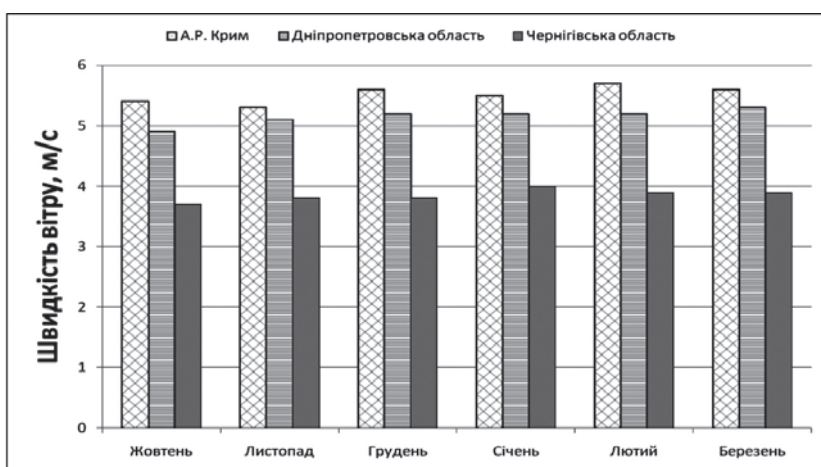
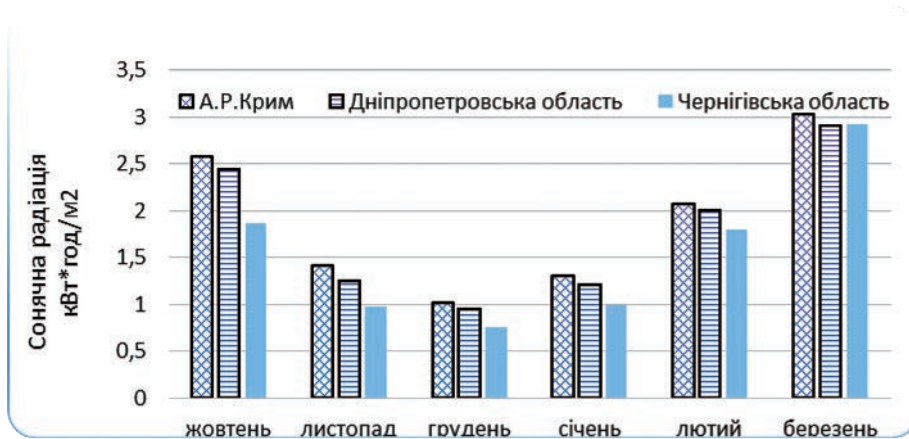
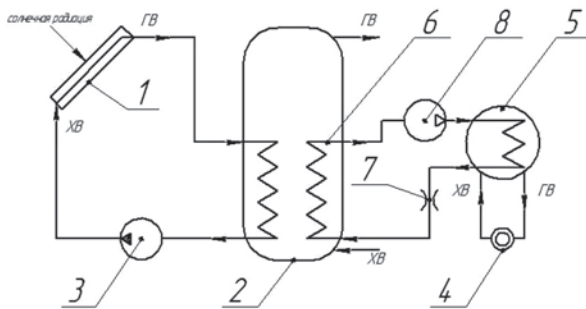


Рис. 2. Діаграма середньомісячної швидкості вітру для трьох регіонів України в осінньо-весняний період



**Рис. 3. Середньодобова щільність сонячної радіації на горизонтальну поверхню для трьох регіонів України**

циркуляційного насосу(3) та теплового насосу (5, 6, 7, 8). Для розрахунку прийнята система плоских сонячних колекторів загальною площею 10 м<sup>2</sup>, яка працює на бак акумулятор, який виступає у ролі джерела низькопотенційного тепла для теплового насосу. Кут нахилу сонячних колекторів відповідає літньому встановленню і становить  $s = \varphi - 15^\circ$ , де  $\varphi$  - широта місцевості. Для підвищення ККД сонячного колектору в зимовий період автотрами пропонується знижувати температуру теплоносія на вході до сонячного колектору. Тепловий насос та збільшений низькотемпературний бак накопичувач розглядаються як додаток до наявної літньої системи гарячого водопостачання.



**Рис. 4. Спрощена схема представленої установки: 1 – сонячний колектор; 2 – бак акумулятор; 3 – насос; 4 – споживач; 5 – конденсатор; 6 – випарник теплового насосу; 7 – дросель; 8 – компресор**

Тепло, що поглинається сонячними колекторами, передається до баку накопичувача. Цей бак є джерелом тепла для випаровувача теплового насосу. Для зменшення теплових втрат в навколишнє середовище в осінньо-зимовий період з поверхні сонячних колекторів та в бак накопичувачі температура теплоносія в бак повинна бути в якомога менших межах [5–7]. Мінімальна

температура обмежується замерзанням води на поверхнях випаровувача. Температурний потенціал отриманої теплоти достатній для роботи теплового насосу з COP >3,5 при температурі гарячого теплоносія на виході не нижче 55°C. Потенціал тепла підвищується за рахунок стиснення парів фреону в компресорі теплового насосу. Упродовж доби з бака накопичувача постійно відводиться теплота для роботи

теплового насосу, яка у вигляді гарячої води відводиться з конденсатора (див рис. 1) та може використовуватися для потреб гарячого водопостачання або системи опалення. Відведення теплоти з баку накопичувача дозволяє підтримувати відносно постійну температуру в бак накопичувачі.

Робота сонячних колекторів на бак акумулятор з постійним відведення тепла з баку акумулятору на тепловий насос змодельована за допомогою програмного забезпечення Retscreen [5]. При чисельному моделюванні роботи системи сонячних колекторів за основними вхідними факторами розглянуті: густина сонячної радіації залежно від регіону (метеостанції) України, об'єм бака накопичувача, температура теплоносія, що повертався в бак акумулятор, після теплового насосу, об'єм води, що відбирався на тепловий насос впродовж доби, та максимальна можлива температура теплоносія в баці накопичувачі.

Під час побудови графіків розглядалися кліматичні умови осінньо-зимового періоду для широти місцевості 48 ° (Дніпропетровська область), що відповідає середньому значенню для України.

На рис. 5 та рис. 6 представлені графіки теплосприйняття системи сонячних колекторів та ККД всієї системи залежно від об'єму бака накопичувача від 500 до 5000 літрів, температури живильної води після теплового насосу на вході в бак накопичувач від 5 до 15 °С, максимально можливої температури в баці-накопичувачі від 10 до 40°C, відбор теплоти (теплоносія) впродовж доби з баку накопичувача – 2000 та 3000 літрів за добу.

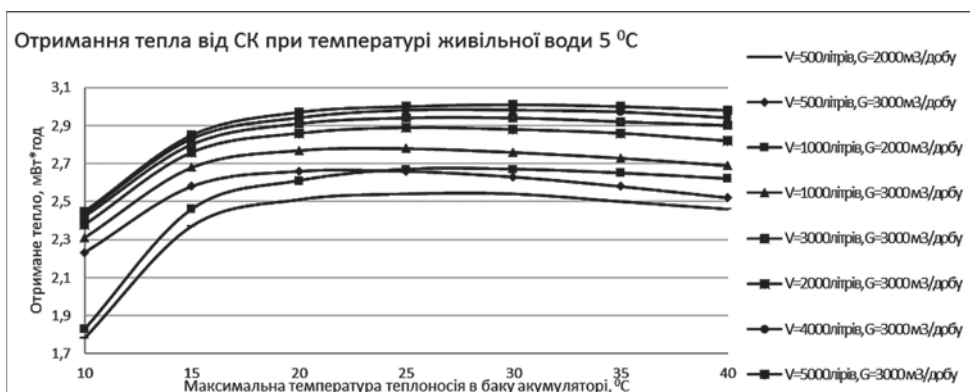
Аналіз графіків (рис. 5 та 6) показує, що максимальний вплив на ефективність системи сонячних колекторів (ККД) та отримання тепла від сонячних колекторів є температура живильної води на

вході в бак накопичувач, об'єм бака накопичувача та максимальна температура в баку накопичувачі.

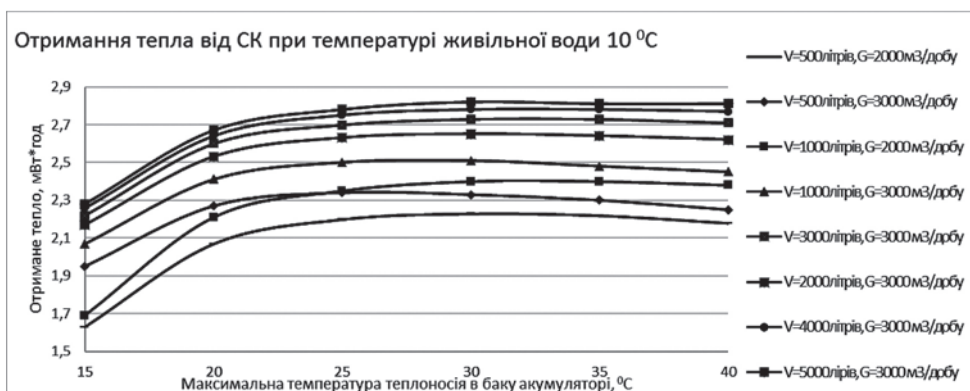
Збільшення температури живильної води на вході в бак накопичувач на 5°C призводить до зниження ККД та теплосприйняття сонячних колекторів від 30 до 5% за інших рівних умов. Так, при підвищенні максимальної температури в баці-накопичувачі до 15°C ККД та теплосприйняття знижуються від 30% до 20% при зміні об'єму бака-накопичувача від 500 до 5000 літрів. При збіль-

шенні максимальної температури в баці-накопичувачі з 10 до 40°C зменшення ККД та теплосприйняття сповільнюється з 17 до 5% на кожні 5°C підвищення температури живильної води. Збільшення об'єму бака накопичувача зменшує вплив підвищення температури живильної води на ефективність сонячних колекторів.

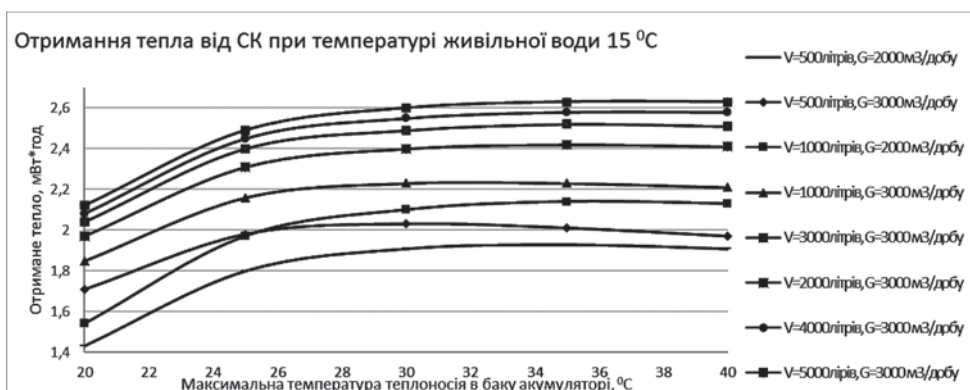
Оптимальне підвищення температури теплоносія становить на 10-15°C від температури живильної води, що поступає в бак-накопичувач,



а)



б)



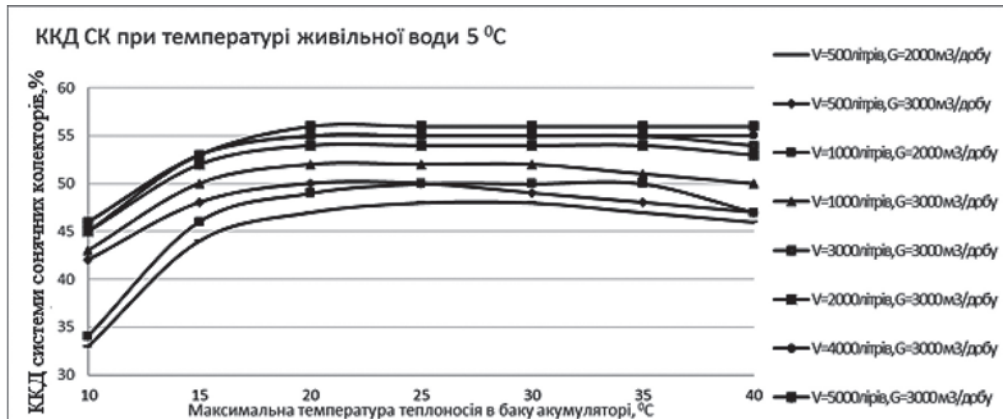
в)

Рис. 5. Отримання тепла від сонячних колекторів залежно від об'єму бака накопичувача, максимальної температури теплоносія та відбору тепла (теплоносія) впродовж доби: а) – температура живильної води +5°C; б) – температура живильної води +10; в)- температура живильної води +15°C

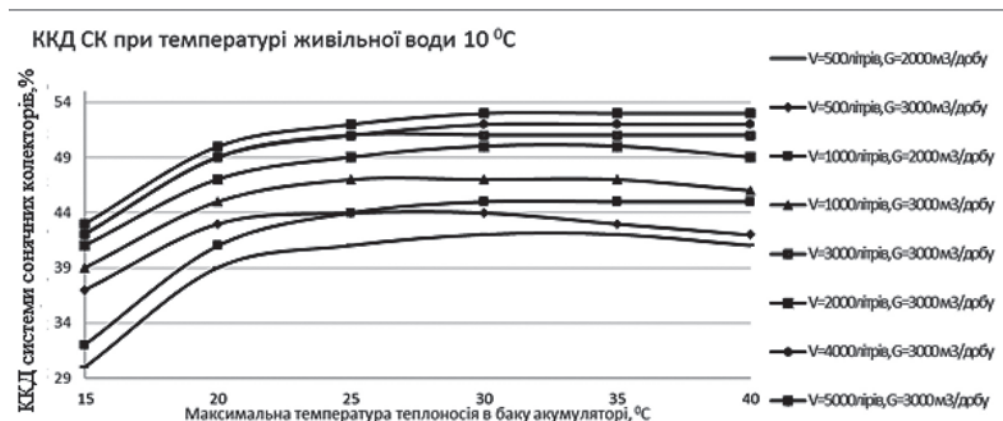
незалежно від об'єму останнього. Подальше збільшення температури теплоносія призводить до зниження ефективності сонячних колекторів за рахунок збільшення втрат у навколишнє середовище.

Відбір тепла з баку-накопичувача з поверненням охолодженого теплоносія впливає на ефективність роботи сонячних колекторів. На рис. 5

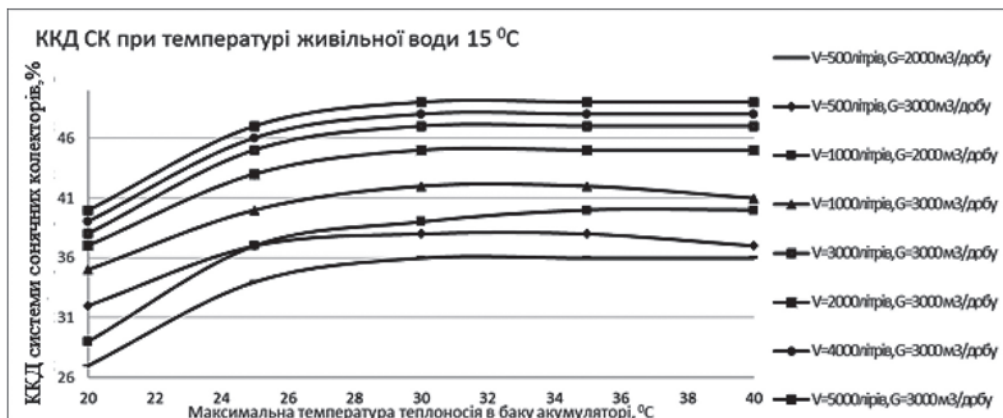
та рис. 6 представлено графік теплосприйняття та ККД системи сонячних колекторів при об'ємі баку накопичувача від 500 до 5000 літрів (50-500 літрів/м<sup>2</sup>) при витраті теплоносія 2000 та 3000 літрів на добу (200 та 300 літрів /м<sup>2</sup> за добу). Із графіків видно, що при збільшенні відбору теплоносія в 1,5 рази приріст теплосприйняття



а)



б)



в)

Рис. 6. ККД системи сонячних колекторів залежно від об'єму баку накопичувача, максимальної температури теплоносія та відбору тепла (теплоносія) впродовж доби:  
а) температура живильної води +5°C; б) температура живильної води +10;  
в) температура живильної води +15°C

сонячних колекторів та їх ККД збільшується від 20 до 3%. Це зумовлено підтримкою більш низької температури на вході в сонячний колектор

Верхня межа відповідає нагріву теплоносія в БН на 5°C, нижня межа при нагріві теплоносія до 40°C відповідно. Це пояснюється тим, що збільшення температури в баці-накопичувачі призводить до збільшення теплових втрат в навколишнє середовище, збільшення тепловідводу зменшує температуру теплоносія в баці-накопичувачі.

На рис. 7 представлено графік зміни теплосприйняття теплотою системою сонячних колекторів залежно від зростання об'єму бака накопичувача. Приріст об'єму бака накопичувача від 500 літрів до 5000 літрів призводить до зростання теплосприйняття від 1-1,5% до 0,25-0,5% на кожні 500 літрів додаткового об'єму бака накопичувача. Найбільший приріст теплосприйняття та ККД відповідає для об'єму бака накопичувача 2000-3000 літрів, особливо для режимів роботи з найбільшою кінцевою температурою в баку накопичувачі. З аналізу графіку видно, що після досягнення об'єму бака-накопичувача 3000 літрів, збільшення зростання ефективності сонячних колекторів значно уповільнюється до 0,25 % на 500 літрів при об'ємі бака від 3000 до 5000 літрів для всіх температурних режимів.

Дані отриманої сонячної енергії для різних регіонів України- південного (Сімферополь, Одеса), центрального (Львів, Дніпро, Запоріжжя) та північного регіону (Чернігів, Київ) для зимових місяців для об'єму бака-накопичувача 3000 літрів, температури теплоносія на вході 5°C, максимальною температурою в баці-накопичувачі 20°C відбором теплоносія з бака-накопичувача 3000 літрів за добу представлені в таблиці 1.

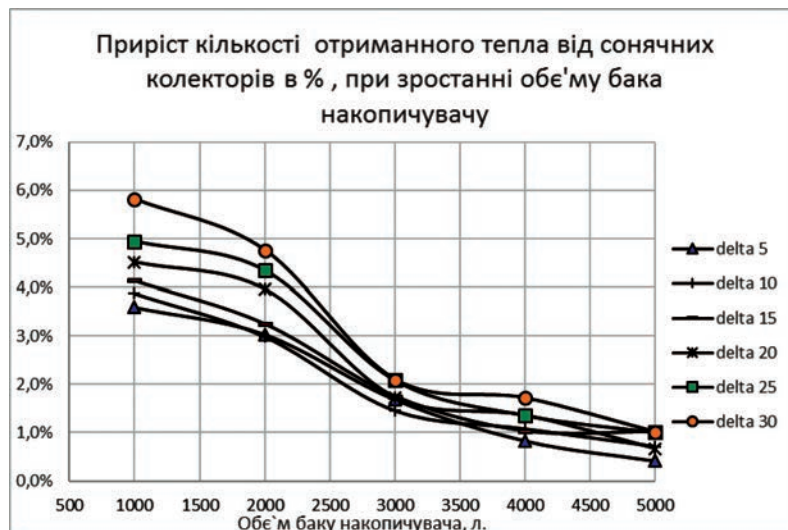


Рис. 7. Графік збільшення теплосприйняття системою сонячних колекторів залежно від збільшення бака-накопичувача при різних максимальних температурах в баці-накопичувачі

Зміна отриманої енергії сонячними колекторами за зимовий період при зменшенні максимальної температури в баку накопичувачі до 15°C коливається в межах ±2% залежно від регіону.

При визначенні параметрів роботи теплового насоса, що живиться теплом з баку акумулятору, були прийняті такі умови: температура випарування робочого тіла  $t_{\text{вип.}} = 0^\circ\text{C}$ , а температура конденсації  $t_{\text{конд.}} = 55^\circ\text{C}$ , адиабатний ККД циклу  $\eta_{\text{oi}} = 0,75$ . В якості робочого тіла теплового насоса розглянуті фреони: R22, R407C, R410B, які сьогодні можуть застосовуватися. За допомогою програмного забезпечення CoolPack для кожного фреону був розрахований коефіцієнт трансформації тепла циклу теплового насоса, що наведено в таблиці 2.

Для визначення потужності випарника вираз (1) теплового насоса використовувалися такі допущення:

1. Потужність випарника розраховується на середнє значення отриманої теплоти від сонячних колекторів в зимові місяці.

Таблиця 1

**Кількість енергії, яка була прийнята сонячним колектором залежно від регіону та місяця**

Регіон		Q <sub>груд</sub>	Q <sub>січень</sub>	Q <sub>лютий</sub>	Q <sub>сер</sub>
		кВт*год			
Північ України	Чернігів	260	344	468	357
	Київ	151	186	247	195
Центральна Україна	Львів	261	343	441	348
	Запоріжжя	216	292	414	307
	Дніпро	270	350	480	367
Південь України	Сімферополь	256	337	439	344
	Одеса	187	215	326	243

2. Час роботи теплового насосу 12 годин на добу.

$$Q_{\text{вип}} = \frac{Q_{\text{с.к.}}^{\text{сер}}}{n_{\text{год}} \cdot n_{\text{днів}}}; \quad (1)$$

$$Q_{\text{с.к.}}^{\text{сер}} = \left( \frac{Q_{\text{с.к.}}^{\text{грудень}} + Q_{\text{с.к.}}^{\text{січень}} + Q_{\text{с.к.}}^{\text{лютий}}}{3} \right); \quad (2)$$

$$n_{\text{днів}} = \frac{(n_{\text{днів}}^{\text{грудень}} + n_{\text{днів}}^{\text{січень}} + n_{\text{днів}}^{\text{лютий}})}{3} \quad (3)$$

де  $Q_{\text{вип}}$  – потужність випарника;  $Q_{\text{с.к.}}^{\text{сер}}$  – середня кількість енергії, яка була прийнята сонячним колектором:  $Q_{\text{с.к.}}^{\text{грудень}}$  – у грудні,  $Q_{\text{с.к.}}^{\text{січень}}$  – у січні,  $Q_{\text{с.к.}}^{\text{лютий}}$  – у лютому;  $n_{\text{год}} = 12 \text{ годин}$  – кількість годин на добу протягом яких ми використовуємо тепловий насос;  $n_{\text{днів}}$  – середня кількість днів, протягом яких ми використовуємо тепловий насос:  $n_{\text{днів}}^{\text{грудень}} = 31 \text{ день}$ ,  $n_{\text{днів}}^{\text{січень}} = 31 \text{ день}$ ,  $n_{\text{днів}}^{\text{лютий}} = 28 \text{ днів}$ ;

Потужність компресора розраховується виходячи з потужності випарника та коефіцієнту трансформації тепла:

$$Q_{\text{компр.}} = \frac{Q_{\text{вип.}}}{\text{COP} - 1} \quad (4)$$

де  $Q_{\text{компр.}}$  – потужність компресора;  
COP – коефіцієнт трансформації тепла.

$$Q_{\text{конд.}} = Q_{\text{компр.}} + Q_{\text{вип.}} \quad (5)$$

де  $Q_{\text{конд.}}$  – потужність конденсатора теплового насосу.

Площа теплообмінного обладнання розраховується з такої залежності:

$$F = \frac{Q_{\text{конд.}}}{k \cdot \Delta t}; \quad (6)$$

де  $k = 500 \dots 800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  – коефіцієнт теплопередачі для умов конденсації ( випаровування) органічної рідини до води, приймаємо  $600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  [10];

$\Delta t$  – середній логарифмічний температурний напір, приймаємо  $\Delta t = 5$ ;

Характеристики теплообмінного обладнання та компресора теплового насосу в заданих умовах розраховані за виразами (1-6), згідно з кількістю отриманої енергії від сонячних колекторів в найбільш холодний місяць року для різних регіонів України, та представлені в таблицях 2, 3.

Потужність компресора залежно від робочого тіла коливається в межах 5%, тому під час визначення потужності конденсатора враховувалась середня потужність компресорів при різних робочих тілах. Розбіжність для одного регіону отриманої кількості теплоти та відповідно потужності теплонасосного обладнання залежить від хмарності для даного регіону і відповідно до надходження сонячної радіації [11].

Таблиця 2

Потужності випарника, компресора (залежно від робочого тіла) і конденсатора теплового насоса

Регіон	Q <sub>випар</sub>	Q <sub>компр</sub>			Q <sub>конд</sub>	
		R410B	R407C	R22		
		COP=3,05	COP=3,18	COP=3,25		
кВт						
Північ України	Чернігів	0,970	0,473	0,445	0,431	1,420
	Київ	0,547	0,267	0,251	0,243	0,801
Центральна Україна	Львів	0,947	0,462	0,435	0,421	1,386
	Запоріжжя	0,842	0,411	0,386	0,374	1,232
	Дніпро	1,000	0,488	0,459	0,444	1,464
Південь України	Сімферополь	0,939	0,458	0,431	0,417	1,374
	Одеса	0,674	0,329	0,309	0,300	0,987

Таблиця 3

Площа теплообмінного обладнання

Регіон	Q <sub>конд</sub>	F <sub>конд</sub>	Q <sub>вип.</sub>	F <sub>вип.</sub>	
		кВт	м <sup>2</sup>	кВт	м <sup>2</sup>
Північ України	Чернігів	1,420	0,473	0,970	0,323
	Київ	0,801	0,267	0,547	0,182
Центральна Україна	Львів	1,386	0,462	0,947	0,316
	Запоріжжя	1,232	0,411	0,842	0,281
	Дніпро	1,464	0,488	1,000	0,333
Південь України	Сімферополь	1,374	0,458	0,939	0,313
	Одеса	0,674	0,225	0,674	0,225

**Висновки.** Ефективність наявних сонячних колекторів в осінньо-зимовий період може бути підвищена за рахунок зниження температурного режиму, за умов застосування окремого бака-накопичувача.

Оптимальним об'єм бака-накопичувача для осінньо-зимового період орієнтовно 300 літрів/м<sup>2</sup> сонячного колектора. Оптимальний режим експлуатації – температура живильної води 5°C та за максимальної температури води в БН

15-20°C. Нижча температура не розглядається за умовами замерзання теплоносія. Витрата теплоносія складає 300 літрів на 1м<sup>2</sup> на добу.

Застосування теплового насосу в одній системі із сонячним колектором дозволяє підвищити параметри теплоносія до 55°C при коефіцієнті трансформації тепла вище 3 при різних робочих тілах. Теплова потужність теплового насосу на 10 м<sup>2</sup> сонячного колектора складає 0,8 – 1,4 кВт, потужність компресора: 0,45 – 0,6 кВт.

#### Список літератури:

1. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Теплові процеси с использованием солнечной энергии. Москва : Мир, 1977. 413 с.
2. Новаковский Е.В. Анализ результатов экспериментальных исследований традиционных солнечных коллекторов и дельта-систем *Холодильная техника и технология*. 2004. № 1(87). С. 45–48.
3. Дикий Н.А. Комбинированное производство энергии для преодоления кризиса в энергетике. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2000. № 1. С. 13–17.
4. Ткаченко С.Й., Остапенко О.П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2009. 176 с.
5. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. Москва : Энергоиздат, 1981. 320 с.
6. Денисова А.Е. Особенности работы теплового насоса в комплексной альтернативной системе теплоснабжения. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2001. № 1. С. 6–8.
7. Surface meteorology and Solar Energy. URL : <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>.
8. Ye.Yerdesh Numerical simulation on solar collector and cascade heat pump combi water heating systems in Kazakhstan climates, Z. Abdulinab, A. Aliulyac, Ye. Belyayevac, M. Mohanraj, A. Kaltayevac. *Renewable Energy*, Volume 145, January 2020. P. 1222–1234.
9. Maria Pinamonti, Water-to-water heat pump integration in a solar seasonal storage system for space heating and domestic hot water production of a single-family house in a cold climate. Maria Pinamonti, Ian Beausoleil-Morrison, Alessandro Prada, Paolo Baggio. *Solar Energy*, Volume 213, 1 January 2021, P. 300–311.
10. Маньковский О.Н., Толчинский А.Р., Александров М.В. Теплообменная аппаратура химических производств. Инженерные методы расчета / Под ред. Романкова П.Г. и Курочкиной М.И. Ленинград : Химия, 1976. 368 с.
11. Пуховий І.І., Новаківський Є.В. Енергія, отримана від сонячного випромінювання в різних кліматично-географічних зонах України з урахуванням хмарності та її залежність від орієнтації сонячних колекторів. *Відновлювальна енергетика*. 2006. № 4. С. 28–36.

#### **Ohorodnyk S.S., Novakivskyi Ye.V., Shvets M.Yu., Guida O.G., Minaieva Yu.Yu. IMPROVING EFFICIENCY SOLAR COLLECTORS IN THE WINTER SEASON WITH THE USE OF HEAT PUMPS**

*This article is devoted to the analysis of the efficiency of solar collectors in the autumn-winter period together with an additional storage tank and heat pump.*

*The main factors influencing the efficiency of solar collectors are considered in the article. The scheme of operation of solar collectors in the winter with increase of potential of the heat carrier at the expense of the heat pump for maintenance of needs of heating or hot water supply is offered.*

*An analysis of the efficiency and heat perception of solar collectors in the autumn-winter period from the maximum temperature of the coolant and the volume of the storage tank, the temperature of the coolant after the heat pump.*

*The optimal specific characteristics of the storage tank, the temperature regime of solar collectors (in winter), the optimal volume of the storage tank and the consumption of coolant for the heat pump for the winter mode of solar collectors are determined.*

*The coefficient of performance of the heat pump for the conditions for hot water production for freons presented on the market for similar equipment is analyzed.*



*Graphical dependences of heat perception of the solar collector system and efficiency of the whole system depending on the volume of the storage tank, the temperature of the feed water after the heat pump at the inlet to the storage tank, the maximum possible temperature in the storage tank are obtained.*

*The scheme of the complex system of hot water supply (heating) on the basis of flat solar collectors and the heat pump with the heat accumulator in a cold season is offered, work of solar collectors at the lowered temperature of solar collectors with preservation of the received heat in a storage tank by means of the heat pump.*

*The specific characteristics of the heat pump, namely the capacity of the compressor, evaporator and condenser and their respective areas per 10 m<sup>2</sup> of solar collector, for different regions of Ukraine are determined.*

**Key words:** *solar collector, heat pump, complex systems, energy efficiency, renewable energy.*