

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПРОМЕНИСТОГО ТЕПЛООБМІНУ В ГЕЛІОПАСИВНІЙ СИСТЕМІ ПОВІТРЯНОГО ОПАЛЕННЯ «ІНСОЛАР» ЗА РАХУНОК СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Отримано 11 бер. 2024 р.; рекомендовано до публікації 21 чер. 2024 р.  
Доступно онлайн 01 лип. 2024 р.

Суржик Т. В.<sup>1</sup>, Кирнос Л. А.<sup>2</sup>

Автор для кореспонденції: Кирнос Лариса,  
e-mail: [larakirnos@gmail.com](mailto:larakirnos@gmail.com)

<sup>1</sup> д-р. техн. наук.

<https://orcid.org/0000-0002-1418-7748>

<sup>2</sup> гол. арх. проєктів.

<https://orcid.org/0000-0003-2503-3071>

<sup>1,2</sup> Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м. Київ, Україна

*У роботі розглянуті процеси променистого теплообміну, що відбуваються в солярній комірці – приміщенні геліопасивної системи «Інсолар», параметри якої оптимізовані за рахунок включення сонячних теплогенерувальних елементів – геліоприймачів-рубікубооктаедронів – у конструкцію зовнішньої оболонки будинку. Завдяки оптико-геометричним властивостям рубікубооктаедра передбачається підвищення ефективності перетворення сонячного випромінювання на низькопотенційну теплоту, яка використовується для повітряного опалення приміщень.*

*Частина перетвореної в рубікубооктаедроні енергії сонячного випромінювання за рахунок конвективного потоку, відведеного крізь повітровідні канали, надходить до теплоакумулювальної конструкції внутрішньої стіни. Частка сонячного випромінювання, проходячи крізь світлопрозорі грані геліоприймача, потрапляє до суміжного приміщення – солярної комірки – та нагріває повітря в ньому внаслідок променисто-конвекційного теплообміну. Аналіз процесів теплообміну показує, що спільні параметричні показники обумовлені крайовими умовами суміжних компонентів геліопасивної системи.*

**Ключові слова:** термодинамічна модель геліопасивного опалення, променистий теплообмін, солярна комірка – приміщення, геліоприймач-рубікубооктаедрон, геліопасивна система «Інсолар».

## ANALYSIS OF RADIATIVE HEAT EXCHANGE PROCESSES IN SOLAR PASSIVE AIR HEATING SYSTEM «INSOLAR» UNDER TO SOLAR RADIATION

Received Mar. 11, 2024; accepted Jun. 21, 2024  
Available online Jul. 01, 2024

Surzhyk T.<sup>1</sup>, Kyrnos L.<sup>2</sup>

Author for correspondence: Kyrnos Larysa,  
e-mail: [larakirnos@gmail.com](mailto:larakirnos@gmail.com)

<sup>1</sup> Dr. of Tech. Science.

<https://orcid.org/0000-0002-1418-7748>

<sup>2</sup> Chief Project Architect.

<https://orcid.org/0000-0003-2503-3071>

<sup>1,2</sup> Institute of Renewable Energy NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*The paper discusses the processes of radiant heat transfer occurring in the solar cell-room of the «Insolar» solar passive system, which parameters are optimized under to the inclusion of solar heat-generating elements – solar receivers-rubicubooctahedrons – in the design of the outer shell of the house. Due to the optical-geometric proper-ties of the rubicubooctahedron, there are two technological possibilities for converting solar radiation into low-grade heat, which is used for air heating of premises.*

*Part of the solar radiation energy converted in the rubicubooctahedron enters the heat-accumulating structure of the inner wall due to the convective flow diverted through the air ducts. A particle of solar radiation, passing through the translucent edges of the solar receiver, enters the adjacent room – the solar cell – and heats the air in it as a result of radiant-convection heat exchange. Analysis of heat transfer processes shows that the Increased efficiency are due to the boundary conditions of the adjacent components of the solar passive system*

**Keywords:** thermodynamic model of solar passive heating, radiant heat exchange, solar cell-room, Solar-receiver Rubycubooctahedron; «Insolar», solar passive system.

**Перелік використаних позначень та скорочень.**

$T^1, T^2$  – температура на поверхнях огорожень «1», «2», визначених, як параметри мікроклімату

$E^1, E^2$  – випромінювальна здатність огорожень «1», «2»

$A^1, A^2$  – поглинальна здатність огорожень «1», «2»

$\varepsilon^1, \varepsilon^2$  – ступінь чорноти поверхонь огорожень «1», «2»

$C_{1,2}$  – приведений коефіцієнт випромінювання огорожень «1», «2»

$\varphi_{1,2}, \varphi_{2,1}$  – кутові коефіцієнти між поверхнями огорожень «1», «2»

$S_1, S_2$  – активні площі опромінення огорожень «1», «2»

$Q_{огор}$  – величини теплового потоку на поверхнях огорожень солярної комірки – приміщення

**Вступ.** На територіях, де в результаті воєнних дій пошкоджені інфраструктурні енергетичні об'єкти й виникає недостача паливних ресурсів та обмеження в електропостачанні житлової забудови, доцільно використовувати сонячні системи теплопостачання. У цьому разі сонячні активні та пасивні системи становлять додатковий енергетичний ресурс для забезпечення життєдіяльності людей (регламентованих параметрів мікроклімату приміщення).

Численними дослідженнями в галузі теплової сонячної енергетики [1–7] розглянуто технологічні процеси перетворення сонячної енергії на теплову в активних та пасивних системах, призначених для зниження теплового навантаження в будівлях (освітлення, опалення, гаряче водопостачання). Традиційно розглядалась теплоенергетична модель будівлі як сукупна система енергетично взаємозв'язаних компонентів: вплив зовнішнього клімату, вплив внутрішньої енергії оболонки будівлі (теплозахист, теплостійкість), вплив конвекційно-променистого теплообміну в окремих приміщеннях.

**Постановка завдання.** Проте в цих дослідженнях не враховано, що системи «теплова модель будівлі» та «термодинамічна модель геліопасивного опалення» мають базові відмінності, в тому, що геліопасивний компонент зовнішнього огороження вносить вагомий внесок не тільки у внутрішню енергію стіни, а й впливає на теплообмінні процеси як в конструкціях огорожень, так і в просторі (приміщення), обмеженому ними.

Загальним для цих систем є те, що вони перебувають у конструктивно-просторовій системі будівлі в умовах спряжених теплообмінних процесів, тому доцільно розглядати параметричні показники сонячних надходжень в геліоприймальні компоненти сумісно з процесами теплообміну в опалювальному (кондиційованому) об'ємі суміщених із зовнішньою стіною приміщень.

**Результати досліджень.** Основні відмінності полягають у тому, що система «теплова модель будівлі» розглядається як термодинамічний об'єкт в межах опалювального об'єму з теплозахисною огорожувальною оболонкою, який взаємодіє з багатofакторною системою навколишнього середовища [8-13, 19, 21, 25]. Отже, визначаються граничні умови, обумовлені нормованим мікрокліматом приміщень, параметрами теплообмінних процесів, на які впливають фактори навколишнього середовища, показниками опалювальної та вентиляцій-

ної систем, конструкціями та матеріалами огорожувальної оболонки будівлі.

Система «термодинамічна модель геліопасивного опалення» складається з декількох компонентів (підсистем), в яких відбуваються різні технологічні процеси і, відповідно, окремо (але в послідовно-спряженому алгоритмі взаємодії) розглядаються процеси теплообміну в цих компонентах:

- генерування теплової енергії від сонячного випромінювання;
- доставляння отриманої теплової енергії безпосередньо в суміжне приміщення;
- акумулювання теплової енергії в тепловому акумуляторі (у вигляді частини інтегрованої конструкції).

Геліопасивна система «Інсолар» (рис. 1) у своєму складі має п'ять компонентів (підсистем) з різним принципом інтегрування в просторово-конструкційну структуру будинку, які забезпечують ефективність процесів перетворення сонячного випромінювання на теплоту і, далі, в процесі теплообміну доставляння, акумулювання та розподілення отриманої теплоти.

Перший компонент геліопасивної системи, що вловлює сонячну радіацію, – сукупність опуклих багатогранників рубікубооктаедронів [22] зі світлопрозорими гранями, сформованих в площині зовнішнього огороження солярної комірки – приміщення. Солярна комірка – це порожнистий об'єм з огороженнями у вигляді плоских масивних стін з теплоакумулювальним ефектом. У складі будинку – це блок – приміщення південної орієнтації, які суміжно межують площинами огорожувальних стін, підлоги, стелі з опалювально-кондиційованим об'ємом будинку. Призначення солярної комірки як компонента геліопасивної системи – перетворення сонячного випромінювання на низькопотенціальну теплоту з подальшим акумулюванням у суміжних теплоінерційних стінах або теплоакумуляторах з дрібнозернистою кам'яною засипкою, які розташовані в межах опалювального об'єму будівлі.

У першому геліоприймальному компоненті сонячне випромінювання проходить крізь стінки граней рубікубооктаедронів, нагріває повітря в порожнинах їх об'ємів, а інша частина випромінювання потрапляє крізь протилежні світлопрозорі грані рубікубооктаедронів у солярну комірку – приміщення (рис. 1).

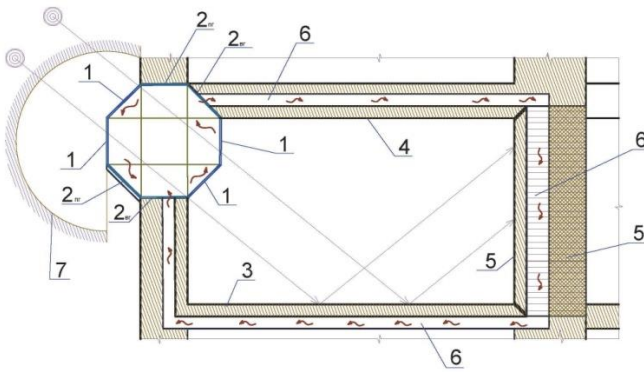


Рис. 1. Схема структурних компонентів у геліопасивній системі сонячного опалення «Інсолар»

- 1 – світлопрозорі грані геліовловлювального компонента (рубікубооктаедрона);  
 2вг – світловідбивальні грані геліовловлювального компонента (рубікубооктаедрона);  
 2пг – світлопоглинальні грані геліовловлювального компонента (рубікубооктаедрона);  
 3 – огороження «1» (підлога) солярної кімнатки – приміщення;  
 4 – огороження «2» (стеля) солярної кімнатки – приміщення;  
 5 – огороження «5», стіна акумулятора – повітряного теплообмінника;  
 6 – повітревідвідні канали для переміщення теплового потоку конвекцією;  
 7 – небосхил, сіра поверхня.

Fig. 1. Diagram of structural components in the solar passive solar heating system "Insolar"

- 1 – translucent faces of the solar-capturing component (rubicubooctahedron);  
 2вг – reflective faces of the solar-capturing component (rubicubooctahedron);  
 2пг – light-absorbing faces of the solar-capturing component (rubicubooctahedron);  
 3 – fencing "1" (floor) of the solar cell-room;  
 4 – fencing "2" (ceiling) of the solar cell-room;  
 5 – fence "5", wall of the accumulator – air heat exchanger;  
 6 – air-conducting ducts for the movement of heat flow by the Convection;  
 7 – sky, gray surface.

У процесі променистого теплообміну між огороженнями солярної кімнатки відбувається нагрівання поверхонь цих огорожень і північно орієнтованих приміщень, в яких теплота віддається поверхням огорожувальних стін та крізь повітровідні канали направляється в геліоприймальний компонент системи для подальшого нагрівання.

У солярній кімнатці відбувається променистий теплообмін, внаслідок чого поверхня огорожень нагрівається, акумулюючи отриману теплоту (рис. 2).

Теплова енергія, що перетворена від випромінювання у внутрішньому об'ємі рубікубооктаедрона, направляється

ся повітревідними каналами (за рахунок конвекційної теплопередачі) до північно орієнтованих приміщень, в яких теплота віддається поверхням огорожувальних стін і, далі, по повітревідним каналам направляється у геліоприймальний компонент системи (рубікубооктаедрон) для подальшого нагрівання від сонячного випромінювання.

У солярній кімнатці відбувається променистий теплообмін, внаслідок чого поверхня огорожень нагрівається, акумулюючи отриману теплоту (рис. 2).

Для розгляду процесів теплообміну в геліопасивній системі «Інсолар» приймаємо такі умови:

- одномірне стаціонарне поле, для якого виконується  $t = f(x, \tau)$ ;
- з метою спрощення виразів теплообміну, що наявний один геліовловлювальний елемент рубікубооктаедрона з прийнятими світлопрозорими гранями  $S_{1c}, S_{2c}, \dots, S_{jc}$  та світловідбивальними гранями  $S_{1g}, S_{2g}, \dots, S_{jg}$ ;
- у відповідності з сонячним часом приймаються одномоментні параметри зовнішнього середовища, що відповідають літнім показникам температури в липні на географічних широтах 45°, 50°, 55°, 60°.

За даними багатьох теоретичних та експериментальних досліджень [12–21, 25], теплонадходження від сонячної радіації  $Q_{np.m}$  (Вт) крізь світлопрозорі конструкції в приміщення будинку визначаються таким виразом:

$$Q_{np.m} = Q_{pad} + Q_{mn}, \quad (1)$$

де  $Q_{pad}$  – тепловий потік, який надходить крізь світлопрозорі конструкції огорожень приміщення за рахунок радіаційного теплообміну;

$Q_{mn}$  – тепловий потік, який надходить крізь світлопрозорі конструкції огорожень приміщення за рахунок теплопровідності кондукцією.

Уразі надходження прямого сонячного випромінювання в солярну кімнатку – приміщення крізь поверхні зовнішніх світлопрозорих граней, порожнину та поверхні внутрішніх світлопрозорих граней рубікубооктаедра первинна енергія  $Q_{pad}$  відображається таким чином:

$$Q_{pad} = (I_{np} + I_p)(K'_{кр} f_{jc} + K''_{кр} f_{jb})q_{cf} \quad (2)$$

де  $I_{np}, I_p$  – поверхнева густина теплового потоку (Вт/м<sup>2</sup>), яка відповідає прямій та розсіяній сонячній радіації, що надходить на зовнішню поверхню світлопрозорих граней рубікубооктаедрона;  $K'_{кр}, K''_{кр}$  – коефіцієнти, які враховують затінення світлопрозорих граней рубікубооктаедрона рамними конструкціями;  $q_{cf}$  – коефіцієнт загального пропускання (сонячний фактор) крізь світлопрозорі грані рубікубооктаедрона;  $f_{jc}, f_{jb}$  – площі поверхні зовнішніх та внутрішніх світлопрозорих граней рубікубооктаедрона.

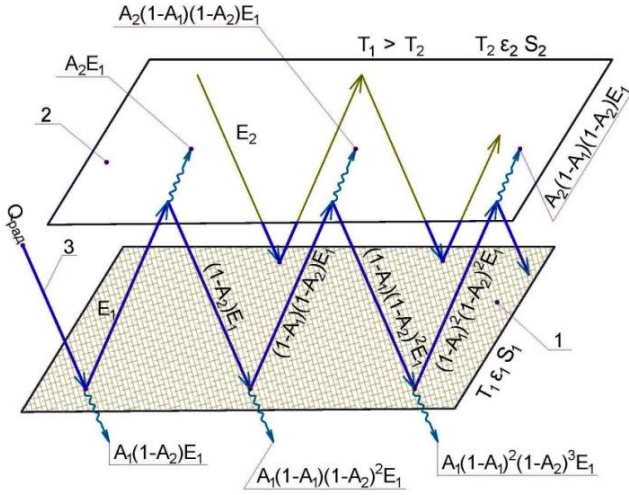


Рис. 2. Схема променистого теплообміну між паралельними поверхнями огороження «1» (підлога) та огороження «2» (стеля) у солярній кімнаті – приміщенні. 1 – огороження «1» (підлога); 2 – огороження «2» (стеля); 3 – потік сонячної радіації  $Q_{rad}$ , що надходить до солярної кімнатки – приміщення.

Fig. 2. Diagram of radiant heat transfer between the parallel surfaces of enclosure "1" (floor) and enclosure "2" (ceiling) in a solar cell-room. 1 – fencing "1" (floor); 2 – fence "2" (ceiling); 3 is the flux of solar radiation  $Q_{rad}$  coming to the solar cell-room.

Прийmemo такі умови для розгляду процесу променистого теплообміну в солярній кімнаті – приміщенні:

- задаємо дві паралельні поверхні прямокутної форми, які належать огороженням солярної кімнатки – приміщення, з огороженням «1» площею  $S_1$  (підлога), огороженням «2» площею  $S_2$  (стеля);
- не беремо до уваги газове середовище у солярній кімнаті, не розглядаємо його теплообмін;
- задаємо температури  $T_1$  і  $T_2$  на поверхнях огорожень, визначені як нормовані параметри мікроклімату (житлових приміщень);  
– враховують, що  $T_1 > T_2$ , оскільки на поверхню підлоги надходить сонячне випромінювання;
- задаємо випромінювальну здатність поверхонь огороження «1», огороження «2» –  $E_1$ ,  $E_2$ ; поглинальну здатність огороження «1», огороження «2» –  $A_1$ ,  $A_2$ ;
- приведена поглинальна здатність  $A_n$  або приведений ступінь чорноти системи  $\epsilon_n$ , в якій відбувається променистий теплообмін, визначаються за формулами:

$$A_n = \frac{1}{1/A_1 + 1/A_2 - 1};$$

$$\epsilon_n = \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1}. \quad (3)$$

У відповідності з рис. 2 огороження «1» випромінює  $E_1$ , а огороження «2» поглинає  $E_1 A_2$  та відбиває в бік поверхні  $S_1$

$$E_1(1 - A_2), \quad (4)$$

Із цієї кількості енергії огороження «1» поглинає

$$E_1(1 - A_2)A_1, \quad (5)$$

та відбиває

$$E_1(1 - A_2)(1 - A_1), \quad (6)$$

Поверхня огороження «2» знову поглинає

$$E_1(1 - A_2)(1 - A_1)A_1, \quad (7)$$

та відбиває

$$E_1(1 - A_2)^2(1 - A_1), \quad (8)$$

Із цієї кількості променевої енергії поверхня «1» знову поглинає

$$E_1(1 - A_2)^2(1 - A_1)A_1, \quad (9)$$

Щоб визначити теплову енергію  $Q_{1,2}$ , яка передається шляхом променистого теплообміну з поверхні огороження «1» на огороження «2», потрібно з первинної енергії  $E_1$  відняти те, що вертається та знову поглинається, а далі ту енергію, що поглинається від огороження «2», отримаємо шляхом підсумку виразів (5) і (9):

$$Q_{1,2} = E_1(1 + p + p^2 + \dots)(1 - A_2)A_1, \quad (10)$$

де  $p = (1 - A_2)(1 - A_1)$ ,  $p$  – коефіцієнт відбивання короткохвильової радіації матеріалом поверхні.

Оскільки  $p < 1$ , то сума нескінченної спадної прогресії становить

$$1 + p + p^2 + \dots = \frac{1}{1 - p}, \quad (11)$$

Підставляючи (11) у (10), отримаємо

$$Q_{1,2} = \frac{E_1(1 - A_2)A_1}{1 - p}, \quad (12)$$

Тоді

$$E_1 A_1(1 + p + p^2 + \dots) = \frac{E_2 A_1}{1 - p}, \quad (13)$$

Знаходимо

$$q_{1,2} = E_1 - \frac{E_1(1 - A_2)A_1}{1 - p} - \frac{E_2 A_1}{1 - p}. \quad (14)$$

Приведемо праву частину формули (14) до загального знаменника та, враховуючи що

$$1 - p = 1 - (1 - A_1 - A_2 + A_1 A_2) = A_1 + A_2 - A_1 A_2, \quad (15)$$

запишемо вираз питомого теплового потоку  $q_{12}$ , що надходить на огороження «1» внаслідок променистого теплообміну:

$$q_{1,2} = \frac{E_1 A_2 - E_2 A_1}{A_1 + A_2 - A_1 A_2} = C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]; \quad (16)$$

Випромінювальна здатність плоскої поверхні огороження «1»  $E_1$  та огороження «2»  $E_2$  у процесі променистого теплообміну становить [3]:

$$E_1 = A_1 C_0 \frac{T_1}{100}; \quad E_2 = A_2 C_0 \frac{T_2}{100} \quad (17)$$

де

$E_1, E_2$  – випромінювальна здатність огорожень «1», «2»;

$A_1, A_2$  – поглинальна здатність огорожень «1», «2»;

$C_{1,2}$  – приведений коефіцієнт випромінювання огорожень «1», «2»;

$C_0$  – приведений коефіцієнт [13, 16, 17] випромінювання (постійна величина Стефана – Больцмана);

$$C_{1,2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}}. \quad (18)$$

Відповідно до закону Бугера – Ламберта – Бера [23], що визначає послаблення паралельного монохроматичного пучка світла при розповсюдженні його в поглинальному середовищі,  $A = \varepsilon$ , де  $\varepsilon$  – приведений ступінь чорноти системи. Підставляючи в (16) замість  $A_1, A_2$  показники ступеня чорноти системи  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ , отримаємо вираз кількості теплоти  $Q_{1,2}$ , що надходить на поверхню огороження «1» (підлоги) площею  $S_1$

$$Q_{1,2} = \varepsilon_n C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] S_1. \quad (19)$$

Теплота, що надходить на поверхню у процесі променистого теплообміну кожної пари огорожень, наприклад, від поверхні огороження «1» до поверхні огороження «2», залежить від таких параметрів:

$$Q_{1,2} = f(T_1, T_2, E_1, E_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2, C_{1,2}, \varphi_{1,2}, \varphi_{2,1}, S_1, S_2). \quad (20)$$

де

$T_1, T_2$  – температура на поверхнях огорожень «1», «2», визначена, як параметри мікроклімату, °K;

$E_1, E_2$  – випромінювальна здатність огорожень «1», «2»;

$A_1, A_2$  – поглинальна здатність огорожень «1», «2»;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – ступінь чорноти поверхонь огорожень «1», «2»;

$C_{1,2}$  – приведений коефіцієнт випромінювання огорожень «1», «2»;

$\varphi_{1,2}, \varphi_{2,1}$  – кутові коефіцієнти між поверхнями огорожень «1», «2»;

$S_1, S_2$  – активні площі опромінення огорожень «1», «2».

На алгоритм процесу променистого теплообміну пар огорожень солярної комірки – приміщення (рис. 1, 2) впливають параметри добових сонячних надходжень. Позначення огорожень: підлога – «1», стеля – «2», бічна стіна ліва – «3», бічна стіна права – «4», торцева теплоакмулювальна стіна – «5». Огороження з паралельними поверхнями променистого теплообміну: «1 → 2», «2 → 1», «3 → 4», «4 → 3». Огороження з поверхнями під кутом 90°: «1 → 3», «1 → 4», «1 → 5»; «2 → 3», «2 → 4», «2 → 5»; «3 → 1», «3 → 2», «3 → 5»; «4 → 1», «4 → 2», «4 → 5»; «5 → 1», «5 → 2», «5 → 3», «5 → 4».

**Висновки.** На підставі аналізу променистого теплообміну між огороженнями «1», «2» в компоненті геліопасивної системи будинку «Інсолар» (солярна комірка – приміщення) з функцією перетворення сонячної радіації на теплоту з подальшим акумулюванням цієї теплоти безпосередньо в конструкціях внутрішніх стін визначено:

- параметри променистого теплообміну, від яких залежить величина теплового потоку  $Q_{огор}$  на поверхнях огорожень солярної комірки – приміщення;
- алгоритм динаміки процесу променистого теплообміну пари огорожень «підлога – стеля», які роблять переважальний внесок у величину сонячних теплонадходжень до солярної комірки – приміщення;
- процес променистого теплообміну пари огорожень «підлога – торцева теплоакмулювальна стіна» відбувається з урахуванням кутового коефіцієнта  $\varphi_{1,3}$  між поверхнями огорожень «1», «3», кут дорівнює 90°;
- для оптимізації теплонадходжень від сонячного випромінювання у солярну комірку – приміщення необхідно враховувати поглинальну та випромінювальну здатність її огорожень, ступінь чорноти поверхонь огорожень, активні площі опромінення огорожень та кути між ними.

## ПОСИЛАННЯ

1. Кудря С. О. Відновлювані джерела енергії: монографія. / За заг. редакцією С. О. Кудрі. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. К.: Вид-во НВП «Інтерсервіс». 2020. 392 с. [Ukr].

2. Матях С.В. Визначення ефективності впровадження систем сонячного гарячого водопостачання. / С. В. Матях, В.Ф. Рєзцов, Т. В. Суржик. Відновлювана енергетика. 2020. № 1. С. 34–42. [Ukr].
3. Півняк Г. Г. Традиційні та нетрадиційні системи енергозабезпечення урбанізованих і промислових територій України. / За заг. ред. Г. Г. Півняка. Дніпро: Вид-во Національного гірничого інституту. 2013. 333 с. [Ukr].
4. Берник І. М. Оцінка та аналіз способів отримання теплової енергії і конструктивних рішень теплоенергетичного та теплоакumuлюючого устаткування. Техніка будівництва. 2011. № 27. С. 47–54. [Ukr].
5. Ашуєва Т. Г. Нестійкість нелінійних систем і рівнянь Максвелла і особливості формування неоднорідних електротеплових структур. / Т. Г. Ашуєва, Л. А. Кирнос, В. Ф. Рєзцов, Т. В. Суржик, Н. Х. Еркенев. «Технічна електродинаміка». Тематичний вип. «Проблеми сучасної електротехніки». Ч. 2. Київ. 2000. С. 11–15. [Ukr].
6. Суржик Т. В. Електротеплова нестійкість у середовищах з анізотропною електро- і теплопровідністю. Журн. «Технічна електродинаміка» ІЕД НАН України. Київ. 2000. С. 8–13. [Ukr].
7. Ашуєва Т. Г. Електротеплова нестійкість в середовищах неоднорідним розподіленням електричного поля. / Т. Г. Ашуєва, Л. А. Кирнос, В. С. Смирнов, Т. В. Суржик. Журн. «Технічна електродинаміка» № 2 ІЕД НАН України. Київ. 2000. С. 11–15. [Ukr].
8. Кирнос Л. А. Динаміка нагрівання та охолодження приміщень при комбінованому використанні сонячних і традиційних енергосистем. / Л. А. Кирнос, В. П. Кучинський, Т. В. Суржик, В. Ф. Рєзцов. Матеріали XXI міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Київ. 2020. С. 314–319. [Ukr].
9. Кирнос Л. А. Суржик Т. В. Європейські стандарти енергоефективності пасивних малоповерхових будинків із сонячним опаленням. Матеріали XV міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Київ. 2014. С. 155–159. [Ukr].
10. Амерханов Р. А. Оптимізація сільськогосподарських енергетичних установок із використанням відновлюваних видів енергії. М.: Вид-во Колос. 2003. 532 с. [Rus].
11. Амерханов Р. А. Проектування систем енергозабезпечення. / А. В. Богдан, С. В. Вербицька, К. А. Гарькавий. М.: Вид-во Енергоатоміздат. 2010. 542 с. [Rus].
12. Бекман У. Розрахунок систем сонячного тепlopостачання. Пер з англ. / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. М.: Вид-во Енергоіздат. 1982. 90 с. [Rus].
13. Блох А. Г. та ін. Теплообмін випромінюванням: Довідник. / А. Г. Блох, Ю. А. Журавльов, Л. Н. Рижков. М.: Енергоатоміздат. 1991. 432 с. [Rus].
14. Богословський В. Н. Будівельна теплофізика (теплофізичні основи: опалення, вентиляція, кондиціонування). М.: Вид-во "Вища школа". 1982. 415 с. [Rus].
15. Валов М. И. Використання енергії в системах тепlopостачання: монографія. / И. Валов, Б. И. Казанджан. М.: Вид-во MEI. 1991. 140 с. [Rus].
16. Даффі Дж. А. Теплові процеси з ввикористанням сонячної енергії. / Дж. А. Даффі, У. А. Бекман. М.: Вид-во Мир. 1977. 354 с. [Rus].
17. Крейт Ф. Блек У., Основи теплопередачі: Пер. з англ. М.: Вид-во «Мир». 1983. 512 с. [Rus].
18. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. / За ред. С. О. Кудрі ІВЕ НАН України. Київ. 2020. 82 с. [Ukr].
19. Держава: природні умови та ресурси. Енциклопедія історії України. Кн. 1. / За ред. В. А. Смоля. Київ: Вид-во «Наукова думка». 2018. 608 с. [Ukr].
20. Маркус Т.А., Моррис Э. Н. Будівля, клімат і енергія. Пер. з англ. М.: Вид-во «Гідрометеоіздат». 1985. 543 с. [Rus].
21. Davis M. G. Heating buildings by winter sunshine. Building Science Supplement and Housing. 1975. 53–66 p. [Eng].
22. Williams Robert. The Geometrical Foundation of Natural Structure: A Source Book of Design. Dover Publications, 1979. Inc. ISBN 0-486-23729-X. [Eng].
23. Прохоров А. М. Фізичний енциклопедичний словник. М.: Вид-во «Радянська енциклопедія». 1983. 944 с. [Rus].
24. ДБН В.2.2–15:2019 Житлові будинки і споруди: основні положення. Київ: Український зональний науково-дослідний і проектний інститут по цивільному будівництву (КиївЗНДІЕП). 2009. [Ukr].
25. 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. Інститут проблем нетрадиційних енерготехнологій та інжинірингу (ПІ-НЕІ). Київ. 2010. [Ukr].
26. ДСТУ-Н Б В.2.6-83:2009 Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування світлопрозорих елементів огорожувальних конструкцій. ТК 300 «Світлопрозорі конструкції». Київ. 2010. [Ukr].

## REFERENCES

1. Kudrya, S. O. Renewable sources of energy: monograph. / By general editor S. O. Kudrya Institute of Renewable

- Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. Publisher RPE "Interservice". Kyiv. 2020. 392 p. [Ukr].
2. Matyakh S.V. Determination of the effectiveness of the implementation of solar hot water supply systems. / S. V Matyakh, V. F. Reztsov, T. V. Surzhyk. Renewable Energy. 2020. № 1. P. 34–42. [Ukr].
  3. Pivnyak H. G. Traditional and Non-Traditional Systems of Energy Supply of Urbanized and Industrial Territories of Ukraine. Overall. / Ed. G. G Pivnyak, Published by the National Mining Institute. Dnipro. 2013. 333 p. [Ukr].
  4. Bernyk I. M. Evaluation and Analysis of Methods of Obtaining Thermal Energy and Constructive Solutions of Heat Power and Heat Accumulating Equipment. Journ. "Construction Techniques". 2011. № 27. P. 47–54. [Ukr].
  5. Ashueva T. G. Instability of nonlinear systems and Maxwell's equations and features of the formation of inhomogeneous electrothermal structures. / T. G. Ashueva, L. A. Kirnos, V. F. Reztsov, T. V. Surzhyk, N. K. Erkenov. "Technical Electrodynamics". Thematic issue "Problems of Modern Electrical Engineering" Part 2. Kyiv. 2000. P. 11–15. [Ukr].
  6. Surzhyk T. V. Electrothermal instability in media with anisotropic electrical and thermal conductivity. Journ. "Technical Electrodynamics" of the IER of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. 2000. P. 8–13. [Ukr].
  7. Ashueva T. G. Electrothermal instability in media by inhomogeneous distribution of electric field. / T. G. Ashueva, L. A. Kirnos, V. S. Smirnov, T. V. Surzhyk. Journ. "Technical Electrodynamics" № 2 of the IER of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. 2000. P. 11–15. [Ukr].
  8. Kyrnos L. A. Dynamics of heating and cooling of premises in the combined use of solar and traditional energy systems. / L. A. Kyrnos, V. P. Kuchynsky, T. V. Surzhyk, V. F. Reztsov, Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century". Kyiv. 2020. P. 314–319. [Ukr].
  9. Kirnos L. A., Surzhik T. V. European Energy Efficiency Standards for Passive Low-Rise Buildings with Solar Heating. Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century". Kyiv. 2014. P. 155–159. [Ukr].
  10. Amerkhanov R. A. Optimization of agricultural energy installations using renewable energy. M.: Publisher Kolos. 2003. P. 532 [Rus].
  11. Amerkhanov R. A. Design of energy supply systems. / R. A. Amerkhanov, A. V. Bogdan, S. V. Verbytskya, K. A. Garkavyi. M.: Publisher Energoatomizdat. 2010. P. 542. [Rus].
  12. Beckman W. Calculation of solar heat supply systems. Lane. from English. / W. Beckman, S. Klein, Jounh A. Daffie. M.: Publisher Energyizda., 1982. P. 90. [Rus].
  13. Blokh A. G. et al. Heat Transfer by Radiation: A Handbook. / A. G. Blokh, Yu. A. Zhuravlev, L. N. Ryzhkov. M.: Energoatom-izdat. 1991. 432 p. [Rus].
  14. Bogoslovskiy V. N. Construction thermophysics (thermophysical basics: heating, ventilation, air conditioning). M.: Vyshcha Shkola Publisher. 1982. 415 p. [Rus].
  15. Valov, M. I. Use of energy in heat supply systems: monograph. / I. Valov, B. I. Kazanjan. M.: MEI Publisher. 1991. 140 p. [Rus].
  16. Daffy J. A. Thermal processes with the use of solar energy. / J. S. Miller, Es A. Duffy, W. A. Beckman. M.: Publisher Mir. 1977. 354 p. [Rus].
  17. Crait, F. and Black, U. Fundamentals of Heat Transfer. from English. M.: Publisher Mir. 1983. 512 p. [Rus].
  18. Atlas of the energy potential of renewable energy sources of Ukraine. / Ed. S. O. Kudrya Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. 2020. 82 p. [Ukr].
  19. State: natural conditions and resources. Encyclopedia of the History of Ukraine. B. 1. / Ed. V. A. Smoliy Publisher «Naukova Dumka" Kyiv. 2018. 608 p. [Ukr].
  20. Markus T. A. Morrys E. N. Building, klymat and energy. Transl. from Engl. M.: Publisher "Hydrometeoizdat". 1985. 543 p. [Rus].
  21. Davis M. G. Heating buildings by winter sunshine. Building Science Supplement and Housing. 1975. P. 53–66. [Eng].
  22. Williams Robert. The Geometrical Foundation of Natural Structure: A Source Book of Design. Dover Publications. 1979. Inc. ISBN 0-486-23729-X. [Eng].
  23. Prokhorov A. M. Physical encyclopedic dictionary. M.: Publisher Radyanska encyclopedia. 1983. 944 p. [Rus].
  24. DBN V.2.2–15:2019 Residential buildings and structures: basic provisions. Ukrainian Zonal Research and Design Institute for Civil Construction (KyivZNDIEP). Kyiv. 2009. [Ukr].
  25. DSTU-N B V.2.5-43:2010 Engineering equipment of buildings and structures. Guidelines for the installation of solar heating systems in residential and public buildings. Institute for Problems of Non-Traditional Energy Technologies and Engineering (PINEI). Kyiv. 2010. [Ukr].
  26. DSTU-N B V.2.6-83:2009 Constructions of buildings and structures. Guidelines for the design of translucent elements of enclosing structures. TC 300 "Translucent structures". Kyiv. 2010. [Ukr].