

УДК 514.18

DOI: 10.32347/0131-579x.2024.106.210-220

аспірант, **Поляк Ю.Ю.**,

у_polyk@gmail.com

аспірант **Мартинюк О.Л.**,

martynuk@ukr.net

д. т. н., професор **Мартинов В. Л.**,

arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970

Київський національний університет будівництва і архітектури

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОНЦЕНТРАТОРІВ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ДЛЯ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ

Застосування сонячних колекторів з концентраторами сонячних променів в зелених будівлях є важливим кроком у напрямку створення енергоефективних та екологічно чистих споруд. Ці технології дозволяють забезпечити стале джерело енергії, знизити викиди та економити ресурси. Враховуючи позитивні аспекти використання сонячних колекторів, їхнє впровадження в будівництво може стати важливим кроком у розвитку сталого будівництва та збереженні навколишнього середовища

Використання сонячних колекторів з концентраторами дозволяє значно знизити споживання електроенергії та інших невідновлювальних джерел енергії, що є важливим аспектом для зелених будівель. Ці колектори здатні ефективно збирати сонячну енергію та концентрувати її для подальшого використання у різних системах опалення, охолодження та виробництва електроенергії

Підвищення енергоефективності зелених будівель можливо за рахунок використання геліосистем з оптимальними параметрами орієнтації які використовують відновлювальну екологічно чисту сонячну енергію для енергозабезпечення будівель.

Для підвищення ефективності використання геліосистем розроблено аналітичний спосіб визначення оптимальних параметрів – кута нахилу відбивача сонячного колектора для отримання максимальної кількості перетвореної сонячної енергії з урахуванням кількості шарів скла, їх прозорості та коефіцієнта поглинання залежно від кута падіння відбитих сонячних променів, затінення рамкою колектора та інше. Проведено розрахунки та визначено оптимальні кути відбивача при одношаровому та двошаровому заскленні колектора.

Запропонований спосіб можливо використовувати при проектуванні зелених будівель, що застосовують енергію сонця для енергозабезпечення.

Ключові слова: зелені будівлі; енергоефективні будівлі; оптимальні параметри геліосистем; оптимізація геометричних параметрів; графічні моделі; геометричне моделювання; архітектурне проектування.

Актуальність. У зв'язку зі зростанням свідомості суспільства про екологічні проблеми та необхідність зменшення викидів в атмосферу, зелені будівлі стають все більш популярними. Вони спроектовані з метою максимальної енергоефективності та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Одним з ключових компонентів зелених будівель є сонячні колектори з концентраторами сонячних променів, які використовуються для отримання та перетворення сонячної енергії в енергію для енергозабезпечення будівель

При проектуванні зелених будинків, що використовують енергію сонця для енергозабезпечення постає задача раціонального використання геліосистем для енергозабезпечення будинку, визначення оптимальних параметрів геліосистем для отримання максимального рівня перетвореної сонячної енергії.

Для підвищення енергозабезпечення будівель використовуються слідкуючі геліоприймачі (сонячні колектори) з відбивачами сонячного світла, що забезпечують будинок електричною енергією та гарячою водою. Питання визначення оптимальних параметрів відбивачів у геліосистемах є актуальним питанням для проведення дослідження.

Аналіз попередніх досліджень. У напрямку використання геліосистем, та визначення їх оптимальних геометричних параметрів було проведено наступні дослідження.

Так, у дослідженнях [1, 2] та його учнів розглядаються питання розрахунку геометричної форми сонячних концентраторів і різних видів геліоприймачів. Роботи [3, 4] присвячені розвитку теорії геометричного моделювання відбиваючих поверхонь. Також створено теоретичну базу запропонованого способу просторового моделювання відбитого потоку на основі плоскої задачі. У дослідженні [5] запропоновано форму дискретного приймача концентратора сонячних променів, яка забезпечує рівномірний розподіл на ньому сонячної енергії при відображенні променів. Створено геометричну модель та наведено аналітичний опис дискретного відбивача сонячних концентраторів з фотоелектричними перетвореннями, що забезпечує рівномірний розподіл енергії на приймач сонячної батареї.

Прагнення підвищення тривалості опромінення сонячними променями привело до створення дискретно-слідкуючих і слідкуючих геліоприймачів. Так роботі [6] запропоновано спосіб визначення оптимального часу зміни орієнтації дискретно-слідкуючого геліоприймача.

У дослідженнях [7] запропоновано нову конструкцію циліндричного сонячного колектора з концентраторами енергії, який значною мірою підвищує ефективність роботи і не потребує установки механізмів стеження за сонцем. Питання визначення оптимального кута нахилу геліоприймачів для різних природно-кліматичних умов України наведено у роботі [8]. Так, просторова оптимізація орієнтації геліоприймача здійснюється за умови отримання максимальної кількості сонячної енергії за рік з урахуванням хмарності атмосфери.

У дослідженнях [9] доведено, що збільшення коефіцієнта корисної дії геліоприймача фотоелектричного модуля можливе без збільшення його площі. А використання пристроїв стеження покращує продуктивність до 40 відсотків на добу. У роботі [10] проаналізувати та визначити напрями формування проектних рішень висотних будівель для підвищення ефективності інтегрованих в них систем отримання сонячної енергії. У дослідженнях [11] розглянуто питання оптимального розташування фотоелектричних модулів та колекторів на огорожувальних конструкціях будівель за різних умов, оптимізації геометричних параметрів будівель для підвищення їх енергоефективності.

Питання визначення оптимальних параметрів плоских відбивачів для слідкуючих колекторів (рис. 1) з метою енергозабезпечення зелених будівель з урахуванням коефіцієнтів відбивання сонячних променів, та коефіцієнтів поглинання поверхнею геліоприймача сонячних променів з урахуванням прозорості скла та кількості шарів у наведених роботах не розглядалося.



Рис. 1 Сонячний колектор, сонячний колектор з відбивачем сонячних променів.

Мета дослідження. Провести дослідження та запропонувати аналітичний спосіб визначення оптимальних геометричних параметрів відбивачів геліоприймачів, для застосування при проектуванні зелених

будівель, з метою отримання максимального надходження енергії від сонячної радіації.

Хід досліджень. Проведено дослідження та визначено, що для слідкуючих колекторів, колекторів Ω з південною орієнтацією з кутом нахилу колектора нормального до сонячних променів, для таких що використовують пласкі відбивачі розрахунок зводиться до наступної схеми (рис. 2).

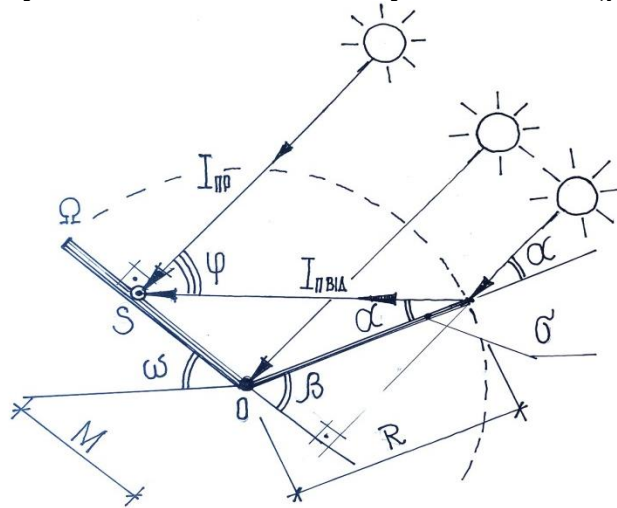


Рис. 2 Схема відбиття сонячних променів

Вирішення задачі максимального використання сонячної енергії зводиться до визначення оптимального кута нахилу β відбиваючої дзеркальної площини σ сонячного колектора Ω .

Розглянемо особливості визначення інтенсивності I надходження сонячної радіації на геліоприймач Ω в момент часу. Він складається з енергії від прямих $I_{пр}$ та відбитих променів $I_{від}$.

$$I = I_{пр} \cos \varphi_{пр} + I_{від} \cos \varphi_{від}. \quad (1)$$

Інтенсивність перетвореної сонячної радіації геліоприймачем $I_{ппр}$ в момент часу складається з перетвореної енергії від прямих $I_{пр}$ та відбитих променів $I_{від}$.

$$I_{п} = I_{ппр} + I_{пвід}. \quad (2)$$

Максимальний рівень надходження перетвореної енергії $I_{пmax}$ можливо визначити при використанні концентраторів (відбивачів) з оптимальним кутом β нахилу площини відбивача σ .

Проведено дослідження визначено на рівень перетворення сонячних променів в енергію значною мірою впливає кут падіння променів на

геліоприймач (кут φ) та кількість шарів скла, їх прозорість, коефіцієнт поглинання геліоприймача, коефіцієнт забруднення скла та інше. У дослідженнях [14] розглядалися ці питання.

Рівень перетвореної відбитої сонячної енергії $I_{\text{пвід}}$ в момент часу визначається за формулою яку наведено далі.

Для колектора з одношаровим скляним покриттям

$$I_{\text{пвід}} = I_{\text{пр}} R \cos \beta K_{\text{від}} K_3 \Omega(\alpha_{\varphi}) = I_{\text{пр}} R \cos \beta K_{\text{від}} K_3 (0.876 - 1.03 \cdot 10^{-3} (2\beta - 90)^4) \quad (3)$$

Для колектора з двошаровим скляним покриттям

$$I_{\text{пвід}} = I_{\text{пр}} R \cos \beta K_{\text{від}} K_3 \cdot (\alpha_{\varphi}) = I_{\text{пр}} R \cos \beta K_{\text{від}} K_3 (0.843 - 1.29 \cdot 10^{-3} (2\beta - 90)^4) \quad (4)$$

де $I_{\text{пр}}$ – інтенсивність надходження прямої сонячної радіації [12];

$K_{\text{від}}$ – коефіцієнт відбиття сонячних променів дзеркальної поверхні відбивача;

α – кут падіння сонячних променів на відбивач;

R – довжина відбивача σ ;

β – кут нахилу площини відбивача σ ;

$(t\theta_{\varphi}) = (0.843 - 1.29 \cdot 10^{-3} \cdot (2\beta - 90)^4)$ – залежність коефіцієнта пропускання скла t та коефіцієнта поглинання θ_{φ} геліоприймачем Ω залежно від кута падіння сонячних променів на поверхню геліоприймача та кута нахилу відбивача для двошарового засклення ;

$(t\theta_{\varphi}) = (0.876 - 1.03 \cdot 10^{-3} \cdot (2\beta - 90)^4)$ – залежність коефіцієнта пропускання скла та поглинання геліоприймача залежно від кута падіння сонячних променів на поверхню геліоприймача та кута нахилу відбивача β для одношарового засклення.

Було проведено розрахунки та визначено раціональний кут нахилу відбивача сонячних променів (рис. 3) та побудовано графік залежності рівня перетвореної радіації залежно від β – кута нахилу відбивача (рис. 4).

РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО КУТА НАХИЛУ ВІДБИВАЧА СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА										
Складові	Показники									
	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Кут нахилу відбивача σ (град)	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Інтенсивність σ (сонячної радіації) ($I_{\text{пр}}$) Вт/см ²	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Радіус, довжина сонячн відбивача R (см)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Кут L (град)	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Коефіцієнт відбиття променів відбивачем ($K_{\text{в}}$) (коеф)	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Кут між відбитим променем та нормаллю площини (F) (град)	90,00	80,00	70,00	60,00	50,00	40,00	30,00	20,00	10,00	0,00
Площа поверні віддіння променів (S')	0,707	0,643	0,574	0,500	0,423	0,342	0,259	0,174	0,087	0,000
Коефіцієнт запилення, затінення покриття (K_3)	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Коеф. Поглинання поверхні геліоприймача (L)										
Коеф. Пропускання скла T										
Залежність (коеф пропускання та поглинання) TL від F										
двошарове засклення	0,00	0,315	0,533	0,676	0,762	0,810	0,833	0,841	0,843	0,843
одношарове засклення	0,200	0,454	0,629	0,743	0,812	0,850	0,868	0,874	0,876	0,876
Кількість перетвореної сонячної енергії (двошарове засклення) (Вт)	0,0	0,73	1,10	1,22	1,16	1,00	0,78	0,53	0,27	0,00
Кількість перетвореної сонячної енергії (одношарове засклення) (Вт)	0,51	1,05	1,30	1,34	1,24	1,05	0,81	0,55	0,28	0,00

Рис. 3 Розрахунок раціонального кута β нахилу відбивача сонячних променів

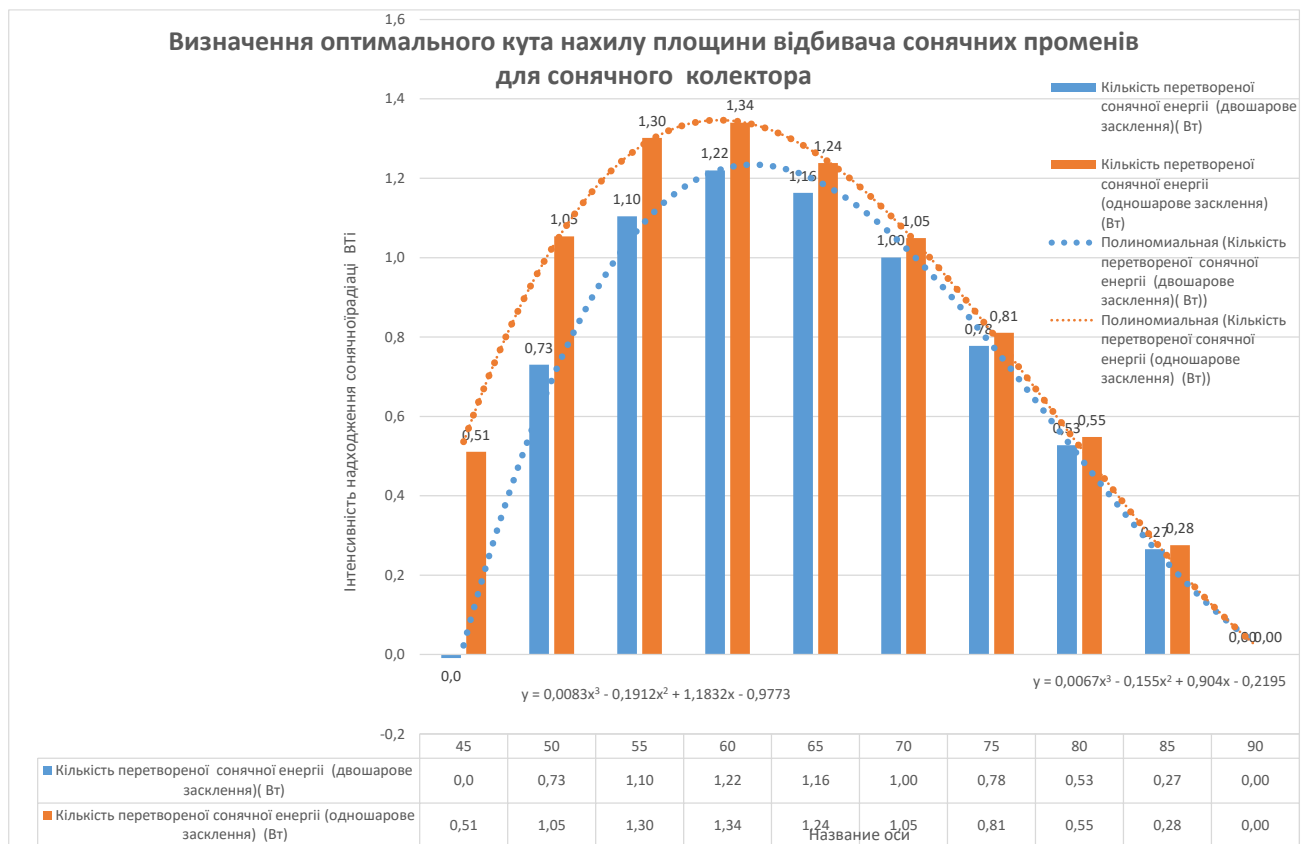


Рис. 4 Визначення раціонального (близького до оптимального) кута нахилу відбивача сонячних променів

Проведено дослідження та визначено раціональний, близький до оптимального кута нахилу відбивача. Для одношарового засклення колектора він становив $\beta = 59^\circ$. Для двошарового засклення $\beta = 62^\circ$.

*Математичний спосіб визначення оптимальних параметрів
Цільова функція*

Рівень перетвореної відбитої сонячної енергії в момент часу, розраховується:

$$I_{\text{пвід}} = I_{\text{пр}} * R * \cos \beta * K_{\text{від}} * K_3 * (0.876 - 1.03 * 10^{-3} * (2\beta - 90)^4) \quad (5)$$

Рівень перетвореної відбитої сонячної енергії максимізується:

$$I_{\text{пвід}} \rightarrow \max. \quad (6)$$

Змінним параметром функції слугує параметр β кута нахилу площини відбивача σ .

Система обмежень

Кут нахилу β площини відбивача σ .

$$45 \leq \beta \leq 90. \quad (7)$$

Довжина відбивача R є незмінною

$$R = const. \quad (8)$$

Розв'язання даної задачі зводиться до оптимізації нелінійної функції за декількома змінними методом Хука–Дживса [12]

Проведені розрахунки показали, що оптимальний кут нахилу β відбивача становить для колектора з одношаровим заскленням $\beta = 58.7^\circ$, для колектора з двошаровим заскленням $\beta = 62.3^\circ$.

Висновки. Проведено дослідження та запропоновано аналітичний спосіб вирішення задач визначення оптимальних параметрів відбивачів у слідуючих сонячних колекторах з одношаровим та двошаровим заскленням, з урахуванням коефіцієнтів пропускання скла, поглинання поверхнею колектора залежно від кута падіння променів, коефіцієнта затінення рамкою колектора, коефіцієнта поглинання відбивачів. Проведено розрахунок, який показав, що оптимальний кут відбивача при одношаровому заскленні становить $\beta = 58.7^\circ$ при двошаровому заскленні $\beta = 62.3^\circ$. Цей спосіб, та математичну модель доцільно використовувати при проектуванні зелених будівель, які використовують енергію сонця для енергозабезпечення.

Використання сонячних колекторів з концентраторами в зелених будівлях показує інноваційний підхід до проектування та будівництва. Ці технології не лише сприяють зменшенню негативного впливу на довкілля, а й стимулюють розвиток новітніх технологій та підвищують конкурентоспроможність будівельних проектів.

Застосування сонячних колекторів з концентраторами сонячних променів в зелених будівлях є важливим кроком у напрямку створення енергоефективних та екологічно чистих споруд. Ці технології дозволяють забезпечити стале джерело енергії, знизити викиди та економити ресурси. Враховуючи позитивні аспекти використання сонячних колекторів, їхнє впровадження в будівництво може стати важливим кроком у розвитку сталого будівництва та збереженні навколишнього середовища

Література

1. *Дворецкий А. Т.* Геометрическое моделирование отраженных энергетических потоков в гелиотехнике : дисс. ... доктора техн. наук : 05.01.01 / Дворецкий Александр Тимофеевич. Симферополь, 2001. 325 с.
2. *Дворецкий А. Т.* Геометрическое моделирование отражающих поверхностей с учётом главных кривизн / *Зб. наук. праць Київського національного університету технологій та дизайну* (спецвипуск) : геометрич. та комп'ют. моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн : доповіді 2-ї Кримської наук.-практ. конференції, Сімферополь-Новий Світ, 19–23 вер. 2005 р. Київ : КНУТД, 2005. С. 11–14.

3. *Митрофанова С. О.* Геометричне моделювання відбиваючих поверхонь у плоских сонячних колекторах з елементами концентраторами : дис. ... канд. техн. наук 05.01.01 / Митрофанова Світлана Олексіївна. Сімферополь, 2008. 184 с.
4. *Митрофанова С. А.* Аналитическое описание поверхности отраженных лучей для концентраторов в виде поверхностей вращения / *Сборник научных трудов II научно-практической конференции «Геометрическое и компьютерное моделирование: энергосбережение, экология, дизайн».* Київ : ДОП КНУТД, 2005. С. 136–141.
5. *Воскресенська С. М.* Моделювання потоків відбитих і заломлених сонячних променів при рівномірному розподілі енергії стосовно створення фотоелектричних систем : дис. ... канд. техн. наук. : 05.01.01 / Воскресенська Світлана Миколаївна. Сімферополь, 2012. 192 с.
6. *Шнерх О. А.* Підвищення ефективності геліосистем теплопостачання дискретною орієнтацією сонячних колекторів : дис. ... канд. техн. наук : 11.00.11 / Шнерх О. А. Київ, 1994. 166 с. Бібліогр. С. 141–153.
7. *Паламарчук О. Ю.* Підвищення ефективності використання сонячної енергії за допомогою колекторів з концентраторами : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Паламарчук Оксана Юріївна ; Харківський державний університет будівництва та архітектури. Харків, 2007. 161 с. Бібліогр. С. 141–153.
8. *Диб М. З.* Определение оптимального угла наклона гелиоприемников на Украине / *Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво).* Київ : ДП НДІБК, 2013. Вип. 77. С. 217–221.
9. *Конеченков А. Е.* Фотоэнергетика / *Электропанорама.* Київ, 2002. № 3. С. 49–50.
10. *Кривенко О.В., Сингаєнко О.І.* Оптимізація процесу проектування висотних будівель з інтегрованими геліосистемами / *Містобудування та територіальне планування: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць.* Київ : КНУБА, 2022. Вип. 81. С. 208–218.
11. *Мартинов В. Л.* Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми : автореф. дис. докт. техн. наук : 05.01.01 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2015. 39 с.
12. *Банди Б.* Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди ; пер с англ. О. В. Шихеевой; под. ред. В. А. Вольнского. Москва : Радио и связь, 1988. 128 с.
13. *Константиновский Ю.А., Завазов А.И., Рабинович М.Д., Ферт А.Р.* Использование солнечной энергии для тепло-снабжения зданий. Київ : Будівельник, 1985. 104с.

14. *Нукифоров В.А.* Математическое моделирование и экспериментальное исследование гелиосистем теплоснабжения зданий применительно к районам юга УССР. Автореф. дис. канд. техн. наук. : 05.23.03. Київ; 1983. 20с.
15. Рекомендации по проектированию зданий с пассивными системами солнечного отопления. Киев : КиевЗНИИЭП, 1989. 99с.

References

1. *Dvoretzky A. T.* Geometric modeling of reflected energy flows in solar technology: diss. ... doctor of technology Sciences: 05.01.01 / Dvoretzky Aleksandr Timofeevich. Simferopol, 2001. 325 p.
2. *Dvoretzky A. T.* Geometric modeling of reflecting surfaces with consideration of main curvatures / *Collection. of science Proceedings of the Kyiv National University of Technology and Design* (special issue): geometric. and a computer. modeling: energy saving, ecology, design: reports of the 2nd Crimean Science and Practice. conference, Simferopol-New World, September 19–23. 2005. Kyiv : KNUTD, 2005. P. 11–14.
3. *Mitrofanova S. O.* Geometric modeling of reflective surfaces in flat solar collectors with concentrator elements: dissertation. ... candidate technical Sciences 05.01.01 / Mitrofanova Svitlana Oleksiivna. Simferopol, 2008. 184 p.
4. *Mitrofanova S. A.* Analytical description of the surface of reflected rays for concentrators in the form of surfaces of rotation / *Collection of scientific works of the II scientific-practical conference «Geometric and computer modeling: energy saving, ecology, design»*. Kyiv : DOP KNUTD, 2005. P. 136–141.
5. *Voskresenska S. M.* Modeling of the streams of reflected and refracted solar rays with uniform distribution of energy in relation to the creation of photovoltaic systems: diss. ... candidate technical of science : 05.01.01 / Voskresenska Svitlana Mykolaivna. Simferopol, 2012. 192 p.
6. *Shnerkh O. A.* Increasing the efficiency of solar heating systems by discrete orientation of solar collectors: diss. ... candidate technical Sciences: 11.00.11 / O. A. Shnerkh. Kyiv, 1994. 166 p. Bibliogr. pp. 141–153.
7. *Palamarchuk O. Yu.* Increasing the efficiency of using solar energy using collectors with concentrators: diss. ... candidate technical Sciences: 05.23.03 / Oksana Yuriivna Palamarchuk; Kharkiv State University of Construction and Architecture. Kharkov, 2007. 61 p. Bibliography. p. 141–153.
8. *Dyb M. Z.* Determination of the optimal angle of inclination of solar receivers in Ukraine / *Building constructions: interdepartmental scientific and technical collection of scientific works (construction)*. Kyiv : DP NDIBK, 2013. Issue. 77. pp. 217–221. P. 49–50.
10. *Kryvenko O.V., Syngayenko O.I.* Optimization of the design process of high-rise buildings with integrated solar systems / *Urban planning and territorial planning:*

interdisciplinary scientific and technical collection of scientific papers. Kyiv : KNUBA, 2022. Issue. 81. pp. 208–218.

11. *Martynov V. L.* Modeling of optimal geometric parameters of energy-efficient buildings of faceted form: autoref. thesis dr. technical Sciences: 05.01.01 / Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture. Kyiv, 2015. 39 p.

12. *Bandy B.* Methods of optimization. Introductory course / B. Bandy; pers with english O. V. Shikheeva; under ed. V. A. Volynskyi. Moscow : Radio and communication, 1988. 128 p.

13. *Konstantinovskiy Yu.A., Zavarov A.I., Rabynovych M.D., Firth A.R.* The use of solar energy for heat supply is completed. Kyiv : Budivelnyk, 1985. 104p.

14. *Nikiforov V.A.* Mathematical modeling and experimental research of solar heating systems applied to the regions of the south of the Ukrainian SSR. Autoref. thesis Ph.D. technical sciences : 05.23.03. Kyiv, 1983. 20 p.

15. Recommendations for the design of houses with passive solar heating systems. Kyiv : KyivZNIIEP, 1989. 99p.

UDC 514.18

Graduate student, **Yu.Polyak**,
y_polyk@gmail.com
graduate student **O.L.Martyniuk**,
martynuk@ukr.net

Doctor of Technical Sciences, Professor **VyacheslavMartynov**,
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970

Kyiv National University of Construction and Architecture

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF SOLAR COLLECTORS CONCENTRATORS FOR GREEN BUILDINGS

The use of solar collectors with solar concentrators in green buildings is an important step in the direction of creating energy-efficient and environmentally friendly buildings. These technologies make it possible to provide a sustainable source of energy, reduce emissions and save resources. Considering the positive aspects of using solar collectors, their implementation in construction can become an important step in the development of sustainable construction and environmental protection.

The use of solar collectors with concentrators can significantly reduce the consumption of electricity and other energy sources, which is an important aspect for green buildings. These collectors are able to efficiently collect solar energy and

concentrate it for further use in various heating, cooling and power generation systems.

Increasing the energy efficiency of green buildings is possible due to the use of solar systems with optimal orientation parameters that use renewable, environmentally friendly solar energy for the energy supply of buildings.

An analytical method has been developed to determine the optimal parameters - the angle of inclination of the solar collector reflector to obtain the maximum amount of converted solar energy, taking into account the number of glass layers, their transparency and absorption coefficient depending on the angle of incidence of reflected solar rays, shading by the collector frame, etc. Calculations were made and optimal angles of the reflector were determined for single-layer and double-layer glazing of the collector.

The proposed method can be used in the design of green buildings that use solar energy for energy supply.

Keywords: green buildings, energy-efficient buildings, optimal parameters of solar systems, optimization of geometric parameters, graphic models, geometric modeling, architectural design.