

д. т. н., професор **Мартинів В.Л.**,  
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970  
к.т.н. **Терещук М.О.**,  
nikolatereschuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4444-3677  
аспірант **Поляк Ю.Ю.**,  
yura@teren-trade.com, ORCID: 0009-0008-4534-4006  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ГЕЛІОПРИЙМАЧІВ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД В УКРАЇНІ**

*Підвищення енергоефективності будівель можливе за рахунок застосування геліосистем з оптимальними параметрами орієнтації та площі, які використовують відновлювальну екологічно чисту сонячну енергію.*

*Проведено дослідження для забезпечення швидкого проектування енергоефективних будівель, розроблено графічні та аналітичні моделі вирішення задач визначення оптимальних параметрів орієнтації азимута й кута нахилу ( $A_{\sigma}$ ,  $\omega$ ) різних типів геліоприймачів, кількості надходження та перетвореної сонячної енергії (в електричну й теплову), площі та місця розташування геліоприймачів на огорожувальних конструкціях будівель для отримання визначеної кількості енергії та ін.*

*Розроблено графічний та аналітичний способи визначення величини надходження сонячної радіації на грані будівлі з використанням її креслень для швидкого отримання даних, необхідних для розрахунків під час проектування. Знайдено швидкий спосіб графічного визначення величини перетвореної сонячної радіації геліоприймачами та фотоелектричними модулями сонячної енергії залежно від просторової орієнтації геліоприймачів з використанням креслень будівлі. Запропоновано наочну методичку оптимізації розташування геліоприймачів на огорожувальних конструкціях будівель, комплекс графічних моделей перетворення сонячної радіації в теплову та електричну енергію за умови, що площа геліоприймачів залишається незмінною. Розроблено графічний та аналітичний способи оптимального розташування фотоелектричних модулів і геліоприймачів на гранях огорожувальних конструкцій будівлі за умови дотримання заданого рівня енергозабезпечення від сонячної радіації, при цьому площа геліоприймачів мінімізується.*

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

**Постановка проблеми.** Наразі в Україні важливо інтенсивно впроваджувати європейські підходи до стратегічного планування та реалізації державної політики у сфері енергоефективності та будівництва, розвитку нових секторів проектування для подальшого вдосконалення енергоефективного будівництва. Після перемоги у війні Україна має шанс відбудувати громадські та житлові будівлі за новими принципами енергоефективності.

Один із принципів енергоефективного будівництва полягає у використанні відновлюваних джерел енергії, в тому числі сонячної, геліосистем, що перетворюють енергію сонця в теплову та електричну для енергозабезпечення будівель. При цьому постає задача дефініції оптимальних геометричних параметрів орієнтації та площі геліоприймачів для підвищення енергоефективності будівель, розробки аналітичних та графічних способів їх визначення. Окреслене завдання становить актуальну науково-прикладну проблему.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У напрямку використання геліосистем та визначення їх оптимальних геометричних параметрів було проведено наступні дослідження. У праці [1] розглядаються питання розрахунку геометричної форми сонячних концентраторів і різних типів геліоприймачів. Дисертація [2] присвячена розвитку теорії геометричного моделювання відбиваючих поверхонь за допомогою розробки способу просторового моделювання відбитого потоку на основі плоскої задачі апарата відбиття, алгоритмів моделювання параметрів форми і положення елементів концентраторів для плоских колекторів.

У роботі [3] запропоновано форму дискретного приймача сонячного концентратора, яка забезпечує рівномірний розподіл на ньому сонячної енергії при відображенні променів. Створено геометричну модель, наведено аналітичний опис дискретного відбивача сонячних концентраторів з фотоелектричними перетвореннями. Це забезпечує рівномірний розподіл енергії на приймач сонячної батареї. Напрацьовано форму дискретного приймача, яка надає рівномірний розподіл на приймачі сонячної батареї потоку променів, заломлених плоско-опуклою лінзою, що виготовляється на основі поверхні обертання.

Прагнення підвищення періоду опромінення сонячним світлом привело до створення, крім стаціонарних, дискретно-слідкуючих і слідкуючих геліоприймачів. Так у дослідженні [4] розроблено спосіб визначення оптимального часу зміни орієнтації окремого дискретно-слідкуючого геліоприймача. У праці [5] розроблено нову конструкцію циліндричного сонячного колектора з концентраторами енергії, яка підвищує ефективність роботи до 80 % і не потребує встановлення механізмів стеження за сонцем.

Питання визначення оптимального кута нахилу геліоприймачів у природно-кліматичних умовах України розглядається у статті [6]. Оптимізація орієнтації геліоприймача здійснюється за умови отримання

максимальної кількості сонячної енергії за рік з урахуванням хмарності. У публікації [7] проаналізовано та визначено напрямки формування проектних рішень висотних будівель для підвищення ефективності інтегрованих у них систем отримання сонячної енергії.

Задача оптимального розташування геліоприймачів (рис. 1) на огорожувальних конструкціях енергоефективних будівель, з визначенням площі та рівня перетвореної сонячної енергії в теплову та електричну в наведених вище дослідженнях не аналізувалася.



Рис. 1. Фотоелектричний модуль, вакуумний колектор, сонячний колектор

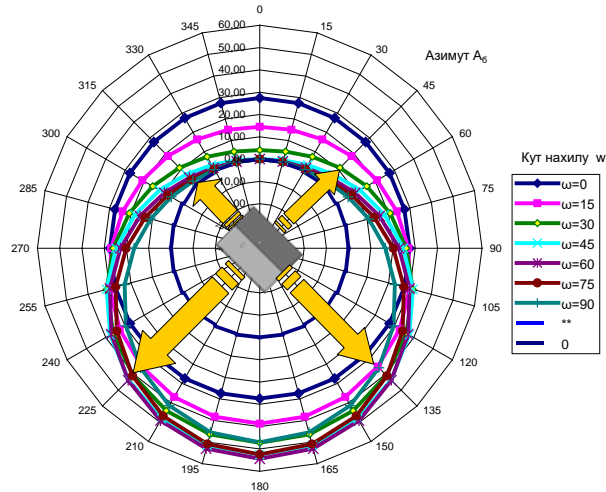
Існуючі способи дефініції оптимальних параметрів орієнтації (азимута  $A_{\sigma}$  та кута нахилу  $\omega$ ), площі геліоприймачів  $S$ , рівня перетвореної сонячної енергії в теплову та електричну вимагають тривалого часу для належних розрахунків, високого рівня проєктувальників для визначення раціональних параметрів для різних типів геліосистем (площинних та вакуумних колекторів, фотоелектричних модулів).

**Цілі та завдання статті** полягають у проведенні досліджень щодо розроблення графічних й аналітичних способів швидкого визначення геометричних параметрів геліоприймачів при проєктуванні енергоефективних будівель. Розв'язанням даних задач є визначення оптимальних параметрів орієнтації ( $A_{\sigma}$ ,  $\omega$ ), площі  $S$  для багатоманітних типів геліоприймачів за різних вихідних умов.

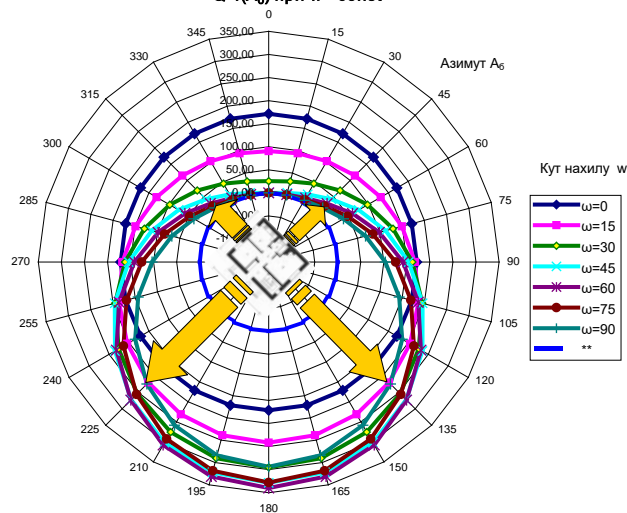
**Основна частина.** Проведено дослідження для швидкого проєктування енергоефективних будівель. Розроблено графічні та аналітичні моделі вирішення задач визначення оптимальних параметрів орієнтації азимута й кута нахилу ( $A_{\sigma}$ ,  $\omega$ ) різних типів геліоприймачів (деякі з них наведено на рис. 2), кількості надходження та перетвореної сонячної енергії (в електричну й теплову), площі та місця розташування геліоприймачів на огорожувальних конструкціях будівель для отримання визначеної кількості енергії.

Розглянуто комплекс задач (рис. 3), які виникають за нового будівництва. Для їх розв'язання розроблено пакет прикладних програм *HELIOOPT*, з допомогою якого створюються графічні моделі різних типів. Проєктувальник, суміщаючи план будівлі з графічною моделлю визначає оптимальні показники геліосистем.

Вироблення електроенергії фотоелектричним модулем залежно від просторової орієнтації за опалювальний період для 50 град Пн.Ш.  
 $E_i=f(A_{\phi})$  при  $w = \text{const}$  (кВт год/м<sup>2</sup>)



Залежність надходження СР на площину геліоприймача від просторової орієнтації за опалювальний період для 50 град Пн.Ш.  
 $Q=f(A_{\phi})$  при  $w = \text{const}$



Виробка енергії для опалення колектором залежно від просторової орієнтації за опалювальний період для 50 град Пн.Ш.  
 $Q=f(A_{\phi})$  при  $w = \text{const}$  (кВт год/м<sup>2</sup>) к.к.д. =45%

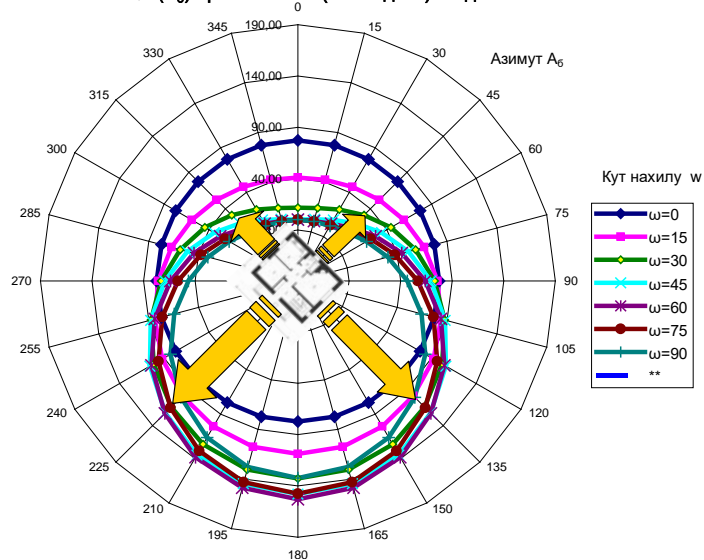


Рис. 2 . Графічні моделі визначення рівня надходження й перетворення енергії фотоелектричними модулями та колекторами розташованими на гранях будівлі

## ЗАДАЧІ

## ГРАФІЧНИЙ СПОСІБ РОЗВ'ЯЗАННЯ з використанням моделей

## АНАЛІТИЧНИЙ СПОСІБ РОЗВ'ЯЗАННЯ

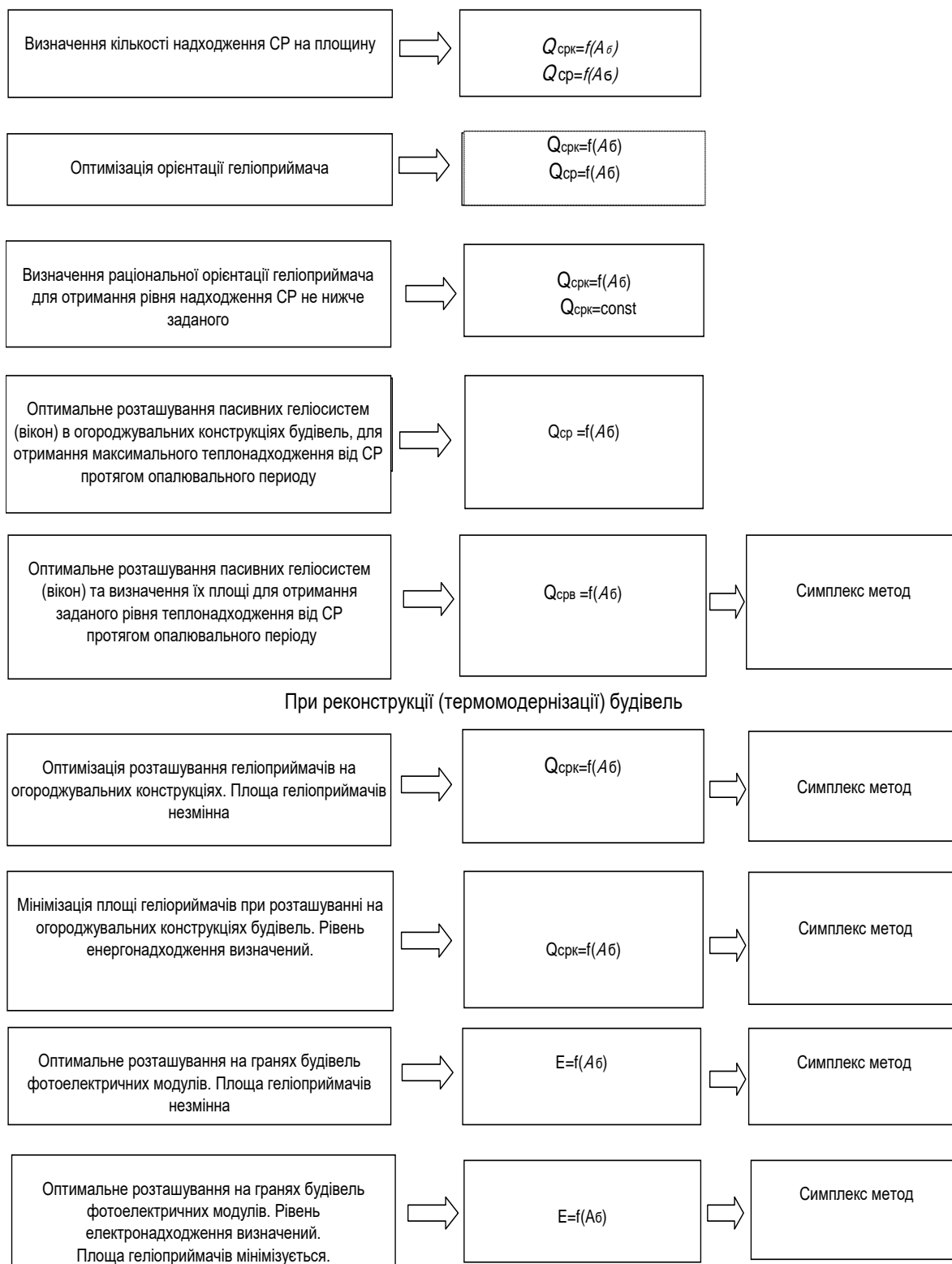


Рис. 3. Способи розв'язання задач з визначення оптимальних параметрів та розташування геліоприймачів і фотоелектричних модулів на енергоефективних будівлях

Таким чином, розроблено типи моделей [8], а саме: надходження сонячної радіації на поверхні геліоприймачів і фотоелектричних модулів, моделі енергонадходження за рахунок перетворення сонячної радіації на теплову або електричну енергію.

Оскільки під час проєктування енергоефективних будівель та термомодернізації існуючих постає низка питань щодо розташування геліоприймачів на їх гранях, то було проведено аналіз задач і запропоновано їх графічний та аналітичний способи розв'язання, які й показано на рис. 3. Наразі графічний спосіб забезпечує виконання наявних завдань за допомогою відповідних моделей, тоді як аналітичний – з використанням оптимізаційних способів математичного програмування (симплекс-метод).

Досліджено також ряд важливих задач, що виникають при реконструкції (термомодернізації будівель) та розроблено графічні й оптимізаційні моделі (з належними цільовими функціями) та аналітичний спосіб їх розв'язання

**Висновки та перспективи.** У результаті виконаних досліджень розроблено графічні й аналітичні способи та пакет прикладних програм HELIOOPT розв'язання задач визначення оптимальних параметрів орієнтації (азимута й кута нахилу) для різних типів геліосистем при проєктуванні енергоефективних будівель, кількості надходження та перетвореної сонячної енергії (в електричну й теплову), площі та місця розташування геліоприймачів на огорожувальних конструкціях будівель з отриманням визначеної кількості енергії. Це дозволяє підвищувати швидкість якості проєктування енергоефективних будівель.

## Література

1. *Дворецький О.Т., Головченко О.І.* Концепція освітлення приміщень житлових та суспільних залів відбитим світлом. Прикладна геометрія та інженерна графіка, 2006. Вип. 78. С. 216–222.
2. *Митрофанова С.О.* Геометричне моделювання відбиваючих поверхонь у плоских сонячних колекторах з елементами концентраторами: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. Сімферополь, 2008. 184 с.
3. *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. Сімферополь, 2012. 192 с.
4. *Шнерх О.А.* Підвищення ефективності геліосистем тепло-постачання дискретною орієнтацією сонячних колекторів: дис. ... канд. техн. наук: 11.00.11. Київ, 1994. 166 с.
5. *Паламарчук О.Ю.* Підвищення ефективності використання сонячної

енергії за допомогою колекторів з концентраторами: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. Харків, 2007. 161 с.

6. Диб М.З. Визначення оптимального кута нахилу геліоприймачів в Україні. *Будівельні конструкції*, 2013. Вип. 77. С. 217–221.

7. Кривенко О.В., Сингаєнко О.І. Оптимізація процесу проектування висотних будівель з інтегрованими геліосистемами. *Містобудування та територіальне планування*, 2022. Вип. 81. С. 208–218.

8. Мартинов В. Л. Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01. Київ, 2015. 39 с.

### References

1. Dvoretzkyi O.T., Holovchenko O.I. Kontseptsiiia osviltennia prymishchen zhytlovykh ta suspilnykh zaliv vidbytym svitlom. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafiika*, 2006. Vyp. 78. S. 216–222. {in Ukrainian}

2. Mytrofanova S.O. Heometrychne modeliuвання vidbyvaiuchykh poverkhon u ploskykh soniachnykh kolektorakh z elementamy kontsentratoramy: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.01.01. Simferopol, 2008. 184 s. {in Ukrainian}

3. Voskresenska S.M. Modeliuвання potokiv vidbytykh i zalomlenykh soniachnykh promeniv pry rivnomirnomu rozpodili enerhii stosovno stvorennia fotoelektrychnykh system: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.01.01. Simferopol, 2012. 192 s. {in Ukrainian}

4. Shnerkh O.A. Pidvyshchennia efektyvnosti heliosystem teplo-postachannia dyskretnoiu oriiantatsiieiu soniachnykh kolektoriv: dys. ... kand. tekhn. nauk: 11.00.11. Kyiv, 1994. 166 s. {in Ukrainian}

5. Palamarchuk O.Iu. Pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia soniachnoi enerhii za dopomohoiu kolektoriv z kontsentratoramy: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.03. Kharkiv, 2007. 161 s. {in Ukrainian}

6. Dyb M.Z. Vyznachennia optymalnoho kuta nakhyly heliopryimachiv v Ukraini. *Budivelni konstruktsii*, 2013. Vyp. 77. S. 217–221. {in Ukrainian}

7. Kryvenko O.V., Synhaienko O.I. Optymizatsiia protsesu proiektuvannia vysotnykh budivel z intehrovanymy heliosystemamy. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, 2022. Vyp. 81. S. 208–218. {in Ukrainian}

8. Martynov V. L. Modeliuвання optymalnykh heometrychnykh parametriv enerhoefektyvnykh budivel hrannoi formy: avtoref. dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.01.01. Kyiv, 2015. 39 s. {in Ukrainian}

Doctor of Technical Sciences, Professor **Viacheslav Martynov**,  
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970  
Doctor of Philosophy **Mykola Tereschuk**,  
nikolatereschuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4444-3677  
Post Graduate student **Yurii Poliak**,  
yura@teren-trade.com, ORCID: 0009-0008-4534-4006  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## **OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF SOLAR RECEIVERS FOR ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS IN THE POST-WAR PERIOD IN UKRAINE**

*Increasing the energy efficiency of buildings is possible due to the use of solar systems with optimal parameters of orientation and area, which use renewable, environmentally friendly solar energy for energy supply of buildings. The research was conducted and for the rapid design of energy-efficient buildings, graphic and analytical models were developed for solving the problems of determining the optimal parameters of the orientation of the azimuth and the angle of inclination ( $A\sigma$ ,  $\omega$ ), various types of solar receivers, the amount of incoming and converted solar energy (into electrical and thermal energy), area and location solar receivers on the enclosing structures of buildings, to obtain a certain amount of energy, etc. Thus designed. Graphical and analytical methods of determining the amount of solar radiation on the face of the building and solar receiver using its drawings to quickly obtain data necessary for calculations during the design of energy-efficient buildings. A quick way to graphically determine the amount of solar radiation converted by solar receivers and photovoltaic modules of solar energy depending on the spatial orientation of the solar receivers using building drawings was found. A visual method of optimizing the location of solar receivers on the enclosing structures of buildings using building drawings and a complex of graphic models and converted solar radiation into thermal and electrical energy, provided that the area of solar receivers remains unchanged, is proposed. Graphical and analytical methods have been developed for the optimal location of photovoltaic modules and solar receivers on the edges of the building's enclosing structures, subject to compliance with the specified level of energy supply from solar radiation, while the area of solar receivers is minimized.*

*Key words: energy-efficient buildings, optimal solar system parameters, optimization of geometric parameters, graphic models, geometric modeling, architectural design.*