DOI: 10.32347/2076-815x.2022.81.208-218
УДК 721.021, 69.001.5

д.т.н., доцент **Кривенко О.В.**,
knuba.o.v.k@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8949-0944,
д.т.н., професор **Сингаївська О.І.**,
o.syngaivska@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1313-7201,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРОЄКТУВАННЯ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ З ІНТЕГРОВАНИМИ ГЕЛІОСИСТЕМАМИ

Актуальність завдань інтеграції сонячної енергії у енергоспоживання висотних будівель пов'язана з їх високим рівнем енергоспоживання порівняно з будинками меншої поверховості. У ході проведеного у статті аналізу наукових досліджень відзначено ускладнюючі фактори застосування сонячної енергії, у першу чергу її мінливість у просторі та часі. Тому за мету дослідження прийнято проведення аналізу та визначення напрямів формування проєктних рішень висотних будівель для підвищення ефективності інтегрованих в них систем отримання сонячної енергії.

У статті досліджено вихідні засади проєктування геліосистем у висотні будівлі, встановлено фактори, що впливають на процес проєктування, виділено проєктні рівні моделювання. Показано, що реалізація переваг сонячної енергії при інтеграції у висотні будівлі має ґрунтуватись на комплексному проєктуванні з урахуванням природно-кліматичних, містобудівних, об'ємно-планувальних, конструктивних та технологічних рівнів проєктного аналізу. Проаналізовано наявні технології застосування сонячної енергії (системи активного сонячного енергопостачання - фотоелектричні, термодинамічні; системи сонячного теплопостачання - пасивне сонячне теплопостачання, активне сонячне теплопостачання; комбіновані системи). Розглянуто умови, за яких відбуватиметься реалізація принципу «допустимого втручання», коли та чи інша задача інтеграції геліосистем у висотну будівлю може бути коректно реалізована як фрагмент відповідного етапу проєктування.

Визначено, що ефективність рішень дизайну у процесі інтеграції відновлювальної енергії сонця у висотні будівлі забезпечується з урахуванням численних зв'язків та впливів, що потребує відповідного системного аналізу для оптимізації рішень.

Ключові слова: висотні будівлі; геліосистеми; енергозабезпечення будівель; відновлювальні джерела енергії; оптимізація проєктних рішень.

Постановка проблеми та аналіз досліджень. Особливістю висотних будинків є їх високе енергоспоживання порівняно з будинками меншої поверховості, що можна компенсувати за рахунок інтеграції відновлювальних енергоресурсів. Згідно з дослідженням [1] застосування енергії сонця посідає перше місце серед джерел відновлювальної енергії, що впроваджуються в енергозабезпечення сучасних висотних будівель.

Вивченню особливостей застосування сонячної енергії в енергозабезпеченні будівель присвячено дослідження [2 - 7], в яких відзначається важливість завдання щодо прогнозування сонячного відновлюваного ресурсу. В [1; 8 - 13] аналізуються питання ефективності інтеграції геліоситем у висотні будівлі. При інтеграції сонячної енергії середня кількість сонячної енергії, що потрапляє в атмосферу Землі, є значною – біля 1,353 кВт/м2 або 178 000 ТВт [14]. Набагато менша її кількість досягає поверхні Землі, а частка, яка використовується, ще менша, що пов'язано зі складністю та вартістю наявних технологій. Отже, існує актуальна потреба в удосконаленні технологій та проєктних рішень при інтеграції сонячної енергії у висотні будівлі для зростання їх ефективності та зниження вартості.

Мета статті – проаналізувати та визначити напрями формування проєктних рішень висотних будівель для підвищення ефективності інтегрованих в них систем отримання сонячної енергії.

Основна частина. У дослідженнях [5; 6; 15-17] відзначається мінливість сонячної енергії у просторі, часі та складність моделювання. Як зазначається у [7; 18-20], нестабільність надходження відновлювальної сонячної енергії стає ускладнюючим фактором при плануванні ефективності її застосування, а неточні прогнози можуть призвести до значних економічних втрат. Прогнозування надходження сонячної енергії здійснюється різними методиками з урахуванням параметрів часу, географічної широти на площинних поверхнях [18; 5; 20], на криволінійних поверхнях [2; 21], при інтеграції в об'ємно-планувальне рішення будівель [22-24]. Незважаючи на різнобічну спрямованість робіт, присвячених дослідженню ефективності використання енергії Сонця у енергозабезпеченні будівель, відсутні комплексні дослідження, що надавали б можливість оптимізувати завдання з отримання сонячної енергії з урахуванням особливостей проєктування висотних будівель при врахуванні кліматичних параметрів та умов навколишнього середовища.

Реалізація переваг сонячної енергії при інтеграції у висотні будівлі має ґрунтуватись на комплексному проєктуванні з урахуванням містобудівних, об'ємно-планувальних, конструктивних та технологічних рівнів проєктного аналізу.

Для попереднього проєктного аналізу розташування геліосистем у висотних будівлях визначимо такі фактори впливу:

– кількість сумарної сонячної радіації, її складових, періодичність та змінність

режимів надходження, які залежать від макро-, мезо- та мікрокліматичних характеристик місця розташування висотної будівлі;
- геометрія поверхні висотної будівлі – визначається відповідно до функціональних, конструктивних, об'ємно-планувальних рішень та містобудівних вимог;
- тип геліосистем – інженерні та технологічні характеристики, що визначають технічні можливості та рентабельність геліосистем.

Отже, інтегрування геліосистем у висотні будівлі залежить від багатьох факторів впливу, які потребують додаткових уточнень під час визначення завдань проєктування, що забезпечують можливість:
- управління формою висотної будівлі при коригуванні рівня надходження сонячної радіації на поверхню будівлі без зміни положення у просторі;
- управління положенням висотної будівлі у просторі, що вирішує завдання оптимальної орієнтації будівлі за сторонами світу без зміни її форми;
- оптимізацію розміщення геліосистем у хмарочосі з урахуванням параметрів надходження сонячної радіації.

Існуючі технології застосування сонячної енергії мають широкий спектр рішень, що визначають область формоутворювальних засобів дизайну при інтеграції геліосистем у висотні будівлі.

Проаналізуємо основні види та технології застосування сонячної енергії [14].

Системи активного сонячного енергопостачання (перетворення сонячної енергії в електричну)*:*
- *фотоелектричні* – електромагнітне опромінення оптичного діапазону сонця перетворюється на електроенергію постійного струму;
- *термодинамічні* – сконцентрована сонячна енергія використовується для отримання пари, що подається на турбогенератор, де виробляється енергія (сонячні електростанції (СЕС)).

Системи сонячного теплопостачання (перетворення сонячної радіації в теплову):
- *пасивне сонячне теплопостачання* з використанням пасивних солярних елементів будинку-геліотеплиці, оранжереї, південні засклені теплоакумулювальні стіни (стіна Тромба), вікна, тераси, балкони. Системи, в яких не використовується спеціальне обладнання, а самі конструктивні елементи будівель є приймачами та акумуляторами сонячної енергії (для різних кліматичних зон дають можливість економити від 20 до 60 % палива, необхідного для опалення);
- *активне сонячне теплопостачання* – застосовуються активні установки на основі сонячних колекторів з циркуляцією теплоносія;

– *комбіноване активне та пасивне сонячне теплопостачання* – дає можливість застосовувати енергію сонячного опромінення найбільш ефективно.

Системи з різними комбінаціями сонячного енерго- та теплопостачання належать до моноенергетичних чи систем, хоча можливе рішення поліенергетичних систем при живленні висотних будівель різними джерелами відновлювальної енергії (вітер та сонце; сонце та тепло землі та ін.), що дає можливість більш ефективно пристосовуватись до змінних природо-кліматичних умов для формування безперебійного енергозабезпечення.

Будь-який вид застосування сонячної енергії у висотній біокліматичній будівлі потребує оптимізації проєктних рішень із забезпеченням ефективності роботи та зручності обслуговування при урахуванні численних зв'язків та впливів, що потребує відповідного системного аналізу.

Під час вирішення завдань дизайну біокліматичної висотної архітектури потенціал відновлюваної сонячної енергії стає фактором вибору форми хмарочоса, розміщення його на ділянці з урахуванням навколишнього середовища та природно-кліматичних характеристик на усіх етапах проєктування.

Рис. 1. Етапи формування рішень з інтеграції сонячної енергії у висотну будівлю *(розроблено Кривенко О.В.)*

Для оптимізації процесу проєктування та для підвищенння ефективності систем отримання відновлювальної енергії сонця у висотній будівлі визначимо такі етапи (рис. 1):

Перший етап (попередній аналіз). Перевірка потенціалу відновлювальної сонячної енергії на макрокліматичному рівні, де на основі карт ресурсів та природних характеристик місцевості є можливість визначити перспективність застосування сонячного енергетичного ресурсу.

Другий етап (уточнювальний аналіз). Більш детальний аналіз потенціалу сонячної енергії (визначеного на першому етапі) з урахуванням можливостей посилення енергетичного потенціалу за рахунок формування містобудівних та об'ємно-планувальних рішень будівлі. Цей етап становить основу для розробки проєктного рішення та ґрунтується на мезокліматичному аналізі місцевості.

Третій етап (проєктні роботи). Цей етап ґрунтується на прийнятих загальних функціональних, об'ємно-планувальних, містобудівних, інженерно-технічних рішеннях висотної будівлі. Отримані попередні розрахунки з енергетичного споживання висотної будівлі дають можливість для моделювання кількісних параметрів та місця розташування систем з відновлювальної енергетики у будівлі. Цей етап проєктування відновлюваної енергії у висотній будівлі проводиться з урахуванням мікрокліматичних параметрів.

При реалізації інтеграції геліосистем у висотну будівлю, виникає питання можливостей їх реалізації. Виділимо такі умови інтеграції геліосистем у висотну будівлю:

– найбільш обмежені умови інтеграції – під час реконструкції існуючої висотної будівлі під біокліматичні завдання з незмінною довколишньою забудовою та озелененням, коли об'ємно-планувальна, будівельна та інженерна структура сформована;

– частково обмежені умови інтеграції – коли висотна будівля знаходиться на стадії проєктної розробки, але має значну кількість обмежувальних факторів та впливів на застосування геліосистем;

– вільні умови інтеграції – коли висотна будівля знаходиться на стадії проєктної розробки без обмежень щодо орієнтації та параметрів форми, а завдання інтеграції геліосистем є пріоритетними.

Таким чином, вирішення завдання з інтеграції геліосистем у висотну будівлю можуть бути застосовані на різних рівнях архітектурно-будівельного проєктування. Це потребує коректного співставлення завдань інтеграції геліосистем та завдань загального процесу проєктування. У процесі проєктування геліосистем у висотні будівлі необхідно зважати на узгодженість щодо:

– загальної дизайн-концепції висотної будівлі, стилістичної і композиційної єдності геліообладнання та прийомів їх інтеграції в структуру будівлі; відповідність функціональним та типологічним ознакам будівлі;

– конструктивної доцільності обраних геліосистем відповідно до несучої спроможності конструктивних систем, їх стійкості, надійності, довговічності, зручності обслуговування;

– забезпечення нормативних вимог щодо теплозахисту, сонцезахисту, освітленості, шумоізоляції.

За означених вище умов відбуватиметься реалізація принципу «допустимого втручання», коли те чи інше завдання інтеграції геліосистем у висотну будівлю може бути коректно реалізоване як фрагмент відповідного етапу архітектурного проєктування та дозволяє вирішувати такі завдання:

– формувати пропозиції візуального сприйняття при розташуванні висотних будівель на місцевості;

– коригувати рішення дизайну елементів висотних будівель щодо композиційного, кольорового рішення, фактурного оздоблення;

– вносити корективи у рішення огороджувальних та несучих конструкцій висотних будівель (форма та конструкції покриттів, фасадів, сонцезахисних елементів, навісів).

Підсумовуючи, слід зазначити, що у світі зводиться чимало будівель з інтегрованими в них системами відновлювальної енергії, у тому числі геліосистемами. Розглянуті у досліджені питання оптимізації проєктних параметрів у процесі інтеграції відновлювальних енергоресурсів у висотні будівлі (на прикладі геліосистем) направлені на забезпеченні ефективності рішень отримання відновлювальної енергії.

Висновки. У статті досліджено вихідні засади проєктування геліосистем у висотні будівлі, встановлено чинники, що впливають на процес проєктування, виділено проєктні рівні моделювання. Проаналізовано наявні технології застосування сонячної енергії: системи активного сонячного енергопостачання (фотоелектричні, термодинамічні); системи сонячного теплопостачання (пасивне сонячне теплопостачання, активне сонячне теплопостачання); комбіновані системи. Розглянуто умови, за яких відбуватиметься реалізація принципу «допустимого втручання», коли та чи інша задача інтеграції геліосистем у висотну будівлю може бути коректно реалізована як фрагмент відповідного етапу проєктування.

Визначено, що ефективність рішень дизайну у процесі інтеграції відновлювальної енергії сонця у висотні будівлі забезпечується з урахування численних зв’язків та впливів, що потребує відповідного системного аналізу для оптимізації рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Семикин П.П. Принципы формирования архитектуры высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии: дисс. … канд. арх. М: Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища), 2014. 153 с.

2. Запривода В.І. Геометричне моделювання надходження сонячної радіації на поверхні просторових покриттів архітектурних об'єктів: дис. канд. … техн. наук 05.01.0. Київ: КНУБА, 2002. 137с.

3. Зоколей С. Солнечная энергия и строительство / Перевод с английского М.: Стройиздат, 1979. 209 с.

4. Мартинов В.Л. Моделювання надходження сонячної радіації на гранні поверхні архітектурних об'єктів: дис. … канд. техн. наук 05.01.01. Київ: КИСИ.1993. 118 с.

5. Krivenko, O., Pidgornyi, A., Zaprivoda, V., Martynov, V., Zaprivoda, A. (2023). Geometric Aspects of Modeling Real Conditions of Solar Irradiation of Energy Efficient Architectural Objects. In: Cheng, LY. (eds) ICGG 2022 - Proceedings of the 20th International Conference on Geometry and Graphics. ICGG 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 146. P 288-297. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-13588-0_25

6. Підгорний О.Л. Геометричне моделювання надходження сонячної радіації на різні поверхні // Прикладна геометрія та інженерна графіка, 1993. Вип. № 54. С. 10–12.

7. Харкнесс Е., Мехта М. Регулирование солнечной радиации в зданиях. М.: Стройиздат, 1984. 176 с

8. Кривенко О.В. Геометричне моделювання інтеграції сонячної енергії у висотні біокліматичні будівлі // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ: КНУБА, 2019. Вип. № 96, С. 51–57. ISSN: 0131-579X. DOI: https://doi.org/10.32347/0131-579x.2019.96.

9. Krivenko O., Kulikov P., Zaprivoda A., Zaprivoda V. (2020). Calculation of the instant model of solar radiation distribution on curved surfaces in high-rise buildings. *EUREKA: Physics and Engineering, Estonia, Tallinn, 6*(2020), 14–23. DOI: https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001513

10. Kolosov A., Chudinov D., Yaremenko S. (2018). Design of solar systems in high-rise buildings. E3S Web of Conferences, 33, 02055. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302055

11. Ling C.S., Ahmad M.H., Ossen D.R. (2007). The Effect of Geometric Shape and Building Orientation on Minimising Solar Insolation on High-Rise Buildings in Hot Humid Climate. *Journal of Construction in Developing Countries*, 12(1), 27–38.

12. Lotfabadi P. (2015). Solar considerations in high-rise buildings. *Energy and Buildings*, *89*(2015), 183–195. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.044

13. Zhigilina A., Ponomarenko A. (2018) Energy efficiency of high-rise buidings. E3S Web of Conferences, 33.02003. DOI: http://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302003

14. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы. Київ: Наукова думка, 1999. 320 с.

15. Xie, Y., Sengupta, M., Dudhia, J. (2016). A Fast All-sky Radiation Model for Solar applications (FARMS): Algorithm and performance evaluation. *Solar Energy, 135*(2016), 435–445. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.003

16. Kalogirou S.A. (2009). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Academic Press, Elsevier, 840.

17. Andreychuk V., Filyuk Y. (2017). Analysis of the energy potential of solar light of the western region of ukraine with the account of climatic conditions. *EUREKA: Physics and Engineering*, *4*(2017), 25–32. DOI: https://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00398

18. Ellis P.G., Torcellini P.A. (2005) Simulating tall buildings using Energy Plus. Ninth International Building Performance Simulation Association (IBPSA) Conference and Exhibition, *Building Simulation,* Quebec, Montreal, 1–9.

19. Thomas R. Photovoltaics and Architecture. (2001). London & NY: Spon Press, 61–85.

20. Zhang J., Florita, A., Hodge B.-M., Lu S., Hamann H. F., Banunarayanan V., Brockway A. M. (2015). A suite of metrics for assessing the performance of solar power forecasting. *Solar Energy*, *111*(2015), 157–175. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.016

21. Wen-Shao Chang, Yoshikazu Araki. (2016). Use of shape-memory alloys in construction: A critical review. *ICE Proceedings Civil Engineering 169*(2), 87–95. DOI: 10.1680/jcien.15.00010

22. Поляков И.А., Ильвицкая С.В. Гелиоархитектура. // Архитектура и строительство России, 2016. Вып. № 1–2 (217–218). С. 166.

23. Рябов А.В. Архитектурное формообразование зданий с использованием средств альтернативной енергетики: дисс. канд. … арх. М.: ФГБОУ ВПО Московский архитектурный институт, 2012, 135 с.

24. Kalogirou S.A. (2015). Building integration of solar renewable towards zero or nearly zero energy buildings. *International Journal of Low-Carbon Technologies, 10*(4), 379–385. DOI: https://doi.org/10.1093/ijlct/ctt071

Doctor of Technical Sciences, associate Professor **Krivenko Olga,**
doctor of Technical Sciences, Professor **Synhayivska Oleksandra**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

OPTIMIZATION OF THE DESIGN PROCESS OF HIGH-RISE BUILDINGS WITH INTEGRATED SOLAR SYSTEMS

The relevance of the tasks of integrating solar energy into the energy system of high-rise buildings is associated with their high level of energy consumption compared to lower-rise buildings. In the course of the analysis of scientific research carried out in the article, factors were noted that complicate the use of solar energy, primarily its variability in space and time. Therefore, the aim of the study was to optimize the formation of design solutions for high-rise buildings to improve the efficiency of solar energy systems integrated into them.

In the article, the initial provisions for the design of heliosystems in high-rise buildings are investigated, the factors influencing the design process are established, and the design levels of modeling are highlighted. It is shown that the realization of the advantages of solar energy when integrated into high-rise buildings should be based on integrated design, taking into account the natural-climatic, urban planning, space-planning, structural and technological levels of design analysis. The available technologies for the use of solar energy are analyzed. The conditions under which the implementation of the principle of "permissible interference" will be carried out, when one or another task of integrating solar systems into a high-rise building can be correctly implemented as a fragment of the corresponding design stage.

It has been determined that the effectiveness of design solutions for the integration of solar renewable energy into high-rise buildings is provided taking into account numerous connections and influences, which requires an appropriate system analysis for their optimization.

Key words: high-rise buildings; solar systems; energy supply of buildings; renewable energy sources; optimization of design solutions.

REFERENCES

1. Semikin P.P. Printsipy formirovaniya arkhitektury vysotnykh zdaniy s vozobnovlyayemymi istochnikami energii: diss. … kand. arkh. M: Tsentral'nyy nauchno-issledovatel'skiy i proyektnyy institut zhilykh i obshchestvennykh zdaniy, 2014. 153 s. {in Russian}

2. Zapryvoda V.I. Heometrychne modelyuvannya nadkhodzhennya sonyachnoyi radiatsiyi na poverkhni prostorovykh pokryttiv arkhitekturnykh

ob″yektiv: dys. kand. … tekhn. nauk 05.01.0. Kyyiv: KNUBA, 2002. 137s. {in Ukrainian}

3. Zokoley S. Solnechnaya energiya i stroitel'stvo / Perevod s angliyskogo M.: Stroyizdat, 1979. 209 s. {in Russian}

4. Martynov V.L. Modelyuvannya nadkhodzhennya sonyachnoyi radiatsiyi na hranni poverkhni arkhitekturnykh ob″yektiv: dys. … kand. tekhn. nauk 05.01.01. Kyyiv: KYSY.1993. 118 s. {in Ukrainian}

5. Krivenko, O., Pidgornyi, A., Zaprivoda, V., Martynov, V., Zaprivoda, A. (2023). Geometric Aspects of Modeling Real Conditions of Solar Irradiation of Energy Efficient Architectural Objects. In: Cheng, LY. (eds) ICGG 2022 - Proceedings of the 20th International Conference on Geometry and Graphics. ICGG 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 146. P 288-297. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-13588-0_25 {in English}

6. Pidhornyy O.L. Heometrychne modelyuvannya nadkhodzhennya sonyachnoyi radiatsiyi na rizni poverkhni // Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika, 1993. Vyp. № 54. S. 10–12. {in Ukrainian}

7. Kharkness Ye., Mekhta M. Regulirovaniye solnechnoy radiatsii v zdaniyakh. M.: Stroyizdat, 1984. 176 s. {in Russian}

8. Kryvenko O.V. Heometrychne modelyuvannya intehratsiyi sonyachnoyi enerhiyi u vysotni bioklimatychni budivli // Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika. Kyyiv: KNUBA, 2019. Vyp. № 96, S. 51–57. ISSN: 0131-579X. DOI: https://doi.org/10.32347/0131-579x.2019.96. {in Ukrainian}

9. Krivenko O., Kulikov P., Zaprivoda A., Zaprivoda V. (2020). Calculation of the instant model of solar radiation distribution on curved surfaces in high-rise buildings. *EUREKA: Physics and Engineering, Estonia, Tallinn, 6*(2020), 14–23. DOI: https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001513 {in English}

10. Kolosov A., Chudinov D., Yaremenko S. (2018). Design of solar systems in high-rise buildings. E3S Web of Conferences, 33, 02055. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302055 {in English}

11. Ling C.S., Ahmad M.H., Ossen D.R. (2007). The Effect of Geometric Shape and Building Orientation on Minimising Solar Insolation on High-Rise Buildings in Hot Humid Climate. *Journal of Construction in Developing Countries*, 12(1), 27–38. {in English}

12. Lotfabadi P. (2015). Solar considerations in high-rise buildings. *Energy and Buildings*, *89*(2015), 183–195. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.044 {in English}

13. Zhigilina A., Ponomarenko A. (2018) Energy efficiency of high-rise buidings. E3S Web of Conferences, 33.02003. DOI: http://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302003 {in English}

14. Mkhitaryan N.M. Energetika netraditsionnykh i vozobnovlyayemykh istochnikov. Opyt i perspektivy. Kyyiv: Naukova dumka, 1999. 320 s. {in Russian}

15. Xie, Y., Sengupta, M., Dudhia, J. (2016). A Fast All-sky Radiation Model for Solar applications (FARMS): Algorithm and performance evaluation. *Solar Energy, 135*(2016), 435–445. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.003 {in English}

16. Kalogirou S.A. (2009). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Academic Press, Elsevier, 840. {in English}

17. Andreychuk V., Filyuk Y. (2017). Analysis of the energy potential of solar light of the western region of ukraine with the account of climatic conditions. *EUREKA: Physics and Engineering*, *4*(2017), 25–32. DOI: https://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00398 {in English}

18. Ellis P.G., Torcellini P.A. (2005) Simulating tall buildings using Energy Plus. Ninth International Building Performance Simulation Association (IBPSA) Conference and Exhibition, *Building Simulation,* Quebec, Montreal, 1–9. {in English}

19. Thomas R. Photovoltaics and Architecture. (2001). London & NY: Spon Press, 61–85. {in English}

20. Zhang J., Florita, A., Hodge B.-M., Lu S., Hamann H. F., Banunarayanan V., Brockway A. M. (2015). A suite of metrics for assessing the performance of solar power forecasting. *Solar Energy*, *111*(2015), 157–175. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.016 {in English}

21. Wen-Shao Chang, Yoshikazu Araki. (2016). Use of shape-memory alloys in construction: A critical review. *ICE Proceedings Civil Engineering 169*(2), 87–95. DOI: 10.1680/jcien.15.00010 {in English}

22. Polyakov I.A., Il'vitskaya S.V. Gelioarkhitektura. // Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii, 2016. Vyp. № 1–2 (217–218). S. 166. {in Russian}

23. Ryabov A.V. Arkhitekturnoye formoobrazovaniye zdaniy s ispol'zovaniyem sredstv al'ternativnoy yenergetiki: diss. kand. … arkh. M.: FGBOU VPO Moskovskiy arkhitekturnyy institut, 2012, 135 s. {in Russian}

24. Kalogirou S.A. (2015). Building integration of solar renewable towards zero or nearly zero energy buildings. *International Journal of Low-Carbon Technologies, 10*(4), 379–385. DOI: https://doi.org/10.1093/ijlct/ctt071 {in English}