

УДК 692:721.021.2

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.050722.95.869

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СОНЯЧНИХ БУДИНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІМ

СОПІЛЬНЯК А. М.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
ТИТЮК А. А.², канд. техн. наук, доц.,
ЯРОВА Т. П.³, доц.,
СЕРЕДА С. Ю.⁴, ст. викл.,
ВЕРШКОВА Ю. С.⁵, студ.

^{1*} Кафедра нарисної геометрії та графіки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056)-756-33-80, e-mail: sopilniak.artem@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

² Кафедра нарисної геометрії та графіки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-80, e-mail: tytiuk.andrii@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

³ Кафедра нарисної геометрії та графіки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-80, e-mail: yarova.tetyana@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-8504-383X

⁴ Кафедра нарисної геометрії та графіки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-80, e-mail: sereda.svitlana@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9989-2613

⁵ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: vyljas2004@gmail.com

Анотація. *Постановка проблеми.* Проектування екологічних будинків потребує урахування всіх особливостей клімату, географічного розташування та рельєфу місцевості. В результаті таких досліджень з'являються цілі напрями розвитку архітектурного проектування: кінетична, динамічна, скляна, водна архітектури і т. д. Експериментальні технології поєднання руху будинку та максимального поглинання сонячної енергії роблять сонячний будинок більш енергоефективним та енергонезалежним і на сьогоднішній день цей напрямок досліджень є дуже актуальним. *Метою роботи* є визначення раціональної конструктивної схеми сонячного будинку та визначення можливості застосування ВІМ технологій для моделювання подібних будинків. *Висновки.* Розвиток технологій моделювання будівель дає змогу розвитку нових напрямів досліджень та проектування будівель та споруд. ВІМ технології дають потужне джерело вибору енергоефективних та раціональних архітектурно-конструктивних рішень. В даній роботі визначено раціональну зовнішню форму сонячного будинку з урахуванням форми покрівлі для розміщення сонячних панелей. Передбачено вітражний головний фасад для збільшення енергоефективності будинку та пропуску максимального всередину приміщень сонячного випромінювання взимку або можливість розмістити прозорі сонячні елементи. Також за рахунок знайденої оптимальної величини звису покрівлі максимально низити потрапляння сонячної енергії всередину будинку, тим самим низити енерговитрати на кондиціонування. Застосування ВІМ технологій для моделювання сонячних будинків дає змогу запроєктувати будинок з поворотною конструкцією для максимального збирання сонячної енергії протягом світового дня.

Ключові слова: ВІМ; Revit; сонячний будинок

THE VALUE OF A RATIONAL ROOF OVERHANG OVER A STAINED-GLASS FACADE USING BIM TECHNOLOGIES

SOPILNIAK A.M.^{1*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
TYTIUK A.A.², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
YAROVA T.P.³, Assoc. Prof.,
SEREDA S. Yu.⁴, Ass. of Prof.,
VERSHKOVA J.S.⁵, Stud.

^{1*} Department of Descriptive Geometry and Graphics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562)-756-33-80, e-mail: sopilniak.artem@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

² Department of Descriptive Geometry and Graphics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-80, e-mail: tytiuk.andrii@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

³ Department of Descriptive Geometry and Graphics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-80, e-mail: yarova.tetyana@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-8504-383X

⁴ Department of Descriptive Geometry and Graphics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-80, e-mail: sereda.svitlana@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9989-2613

⁵ Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: vjylas2004@gmail.com

Abstract. Problem statement. The design of ecological buildings requires taking into account all the features of the climate, geographical location and terrain. As a result of such researches there are whole directions of development of architectural design: kinetic, dynamic, glass, water, etc. Experimental technologies combining the movement of the house and the maximum absorption of solar energy make the solar house more energy efficient and energy independent, and today this area of research is very relevant. **The aim of work** is to determine a rational structural scheme of a solar house and to determine the possibility of using BIM technologies for modeling such houses. **Conclusions.** The development of building modeling technologies allows the development of new areas of research and design of buildings and structures. BIM technologies provide a powerful source of choice of energy-efficient and rational architectural and structural solutions. There is a stained-glass main facade to increase the energy efficiency of the house and allow the maximum amount of solar radiation inside the premises in winter or it is possible to place transparent solar cells. Also, due to the found optimal value of the roof overhang to minimize the ingress of solar energy into the house, thereby reducing energy consumption for air conditioning.

Keywords: BIM; Revit; sunny house

Постановка проблеми. Останніми роками екологічне будівництво набуває досить великих масштабів. На сьогоднішній день проводять все більше і більше досліджень та експериментів, у яких архітектори, науковці або інженери намагаються об'єднати енергоефективність, зручність, безпечність для навколишнього середовища та зовнішній вигляд будівлі в ідеальній пропорції (а іноді навіть навпаки для вираження нестандартного мислення або якимось виділитися). Проектування екологічних будинків потребує урахування всіх особливостей клімату, географічного розташування та рельєфу місцевості. В результаті таких досліджень з'являються цілі напрями розвитку архітектурного проектування: кінетична, динамічна, скляна, водна архітектури і т. д.

Один з таких напрямів, як кінетична архітектура, досить жваво розвивається зі щорічним нарощуванням потужностей сонячної енергетики. Адже розташовуючи сонячні панелі на покрівлі будинку для вироблення електроенергії та проектуючи великі вітражні системи для накопичення сонячної енергії для обігріву приміщень, актуальним стає питання обертання цього будинку за сонцем.

А нові форми та структури фотогальванічних елементів, що виробляють електроенергію, розширюють сферу їх

застосування в архітектурі та будівельних конструкціях.

Експериментальні технології поєднання руху будинку та максимального поглинання сонячної енергії роблять сонячний будинок більш енергоефективним та енергонезалежним. Тому цей напрямок досліджень на сьогоднішній день є дуже актуальним.

Аналіз публікацій. Вілла «Соняшник» (недалеко від Верони) – перший у світі дім, збудований ще у 1935 р., що обертається навколо своєї вертикальної осі (рис. 1). Ідею реалізував заможний інженер із Генуї Анджело Інверніцці, побудувавши для своєї сім'ї унікальний модерністський будинок, який робить оберт на 360 градусів за 9 годин 20 хвилин (4 мм/с). Будівля складається з двох частин: широкої основи з рейками та житлової 2-поверхової будівлі на колесах, яка обертається за допомогою двигуна потужністю 3 кіловата.

Башта висотою понад 40 м, виконана зі сталевих каркаса, цегли і залізобетону, схожа на маяк, а весь об'єкт зверху нагадує величезний сонячний годинник, що повільно повертається. Будівля складається з двох частин.

На даху статичної 3-поверхової основи діаметром 44 м розташовується поворотний стрижень і три кола рейок. Друга частина – L-подібна конструкція, що безпосередньо обертається (2 поверхи, плоский дах – тераса,

плюс вежа) загальним об'ємом 5 000 м³ і вагою 1 500 т. Вона переміщується за допомогою 15 локомотивних коліс та двигуна потужністю 3 кінські сили. Об'єкт може рухатися у будь-якому напрямку під час запуску з пульта [1].



Рис. 1. Фото вілли «Соняшник»



Рис. 2. Фото будинку Геліотроп

Геліотроп (Heliotrope) – це сонячний будинок, який здатний обертатися навколо власної центральної осі, щоб найбільш ефективно протягом дня перетворювати енергію сонячних променів на тепло та електрику (рис. 2). Цей дивовижний будинок був розроблений та побудований у 1994 році за проектом архітектора Ральфа Діша (Ralph Disch). Унікальна особливість будинку полягає в тому, що він повністю автономний і може генерувати в'ятеро більше енергії, ніж споживає! Це відбувається завдяки тому, що

будинок Геліотроп може повертатися за сонцем, тому сонячні батареї і теплові труби працюють максимально ефективно весь день. Сонячні батареї на його даху забезпечують 6,6 кВт/год. електрики, а сонячні теплові трубки забезпечують будинок теплом і нагрівають воду. Побутові стічні води та дощова вода збираються, фільтруються та використовуються повторно. Вартість будівництва становила 2 млн доларів [2].

А перший каркасний купольний будинок Domespace з'явився в 1988 році, а ще через чотири роки він став обертовим, завдяки ідеї, що виникла, вбудувати в його основу спеціальний пристрій (рис. 3). Конструкція будинку є складним організмом, що складається з більш ніж 3 тисяч деталей. Об'єм базується на міцному сталевому каркасі з вбудованим у нього ланцюговим приводом електромотора. Завдяки цьому пристрою, потужність якого при цьому зовсім не велика – 3...4 кВт, будинок може здійснювати оберт навколо своєї осі на 320 градусів всього за одну хвилину. Також без особливих зусиль можна дати таку установку, щоб будівля безперервно і чітко слідувала за рухом сонця [3].

Це дозволило б забезпечувати необхідне освітлення всередині приміщень, а також збирати максимальну кількість сонячної енергії.



Рис. 3. Фото будинку Domespace

Тільки уявіть, що будинок буде обертатися за сонцем і якщо у вас на даху будинку знаходяться сонячні панелі, вони будуть отримувати в рази більше енергії сонця, це дозволить повністю забезпечувати свій дім потрібною кількістю електроенергії.

Архітектурна компанія Casas em Movimento з Португалії розробила кілька проектів житлових будинків, які повністю

працюють за допомогою сонячної енергії та здатні рухатися та відслідковувати положення сонця (рис. 4).



Рис. 4. Фото будинку компанії Casas em Movimento

Технологія полягає в поєднанні двох обертальних рухів. По-перше, вся конструкція новобудови може обертатися на 180° навколо вертикальної осі впродовж дня. Дах цього будинку повністю покритий сонячними панелями здатен змінювати положення в вертикальній площині, обертаючись до 90° (рис. 5). Архітектори запевняють, що їх енергоефективний будинок, незвичайної конструкції, здатний виробляти 25 тис. кВт/год/рік енергії. А це вп'ятеро більше, ніж те скільки виробляє одноповерховий будинок з сонячними панелями на даху.

Щодня для обертання будівлі використовується така кількість енергії, яка рівна роботі шести лампочок на 60 Вт

протягом однієї години – мізерні енерговитрати з огляду на загальну кількість виробленої будинком енергії [4].

Метою даної роботи є визначення раціональної конструктивної схеми сонячного будинку та визначення можливості застосування BIM технологій для моделювання подібних будинків.

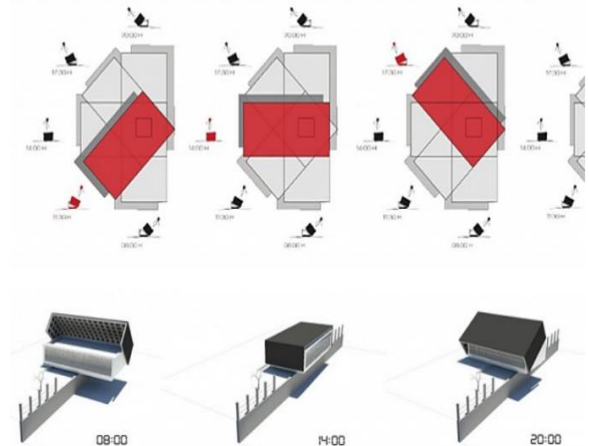


Рис. 5. Схеми обертальних рухів будинку

Основна частина. В продовження теми максимального використання сонячної енергії була розвинута наступна проблематика. Дана робота зроблена на основі будинку, який моделювався в попередній роботі [6] для визначення раціонального звису покрівлі (рис. 6 та 7) в залежності від пори року.

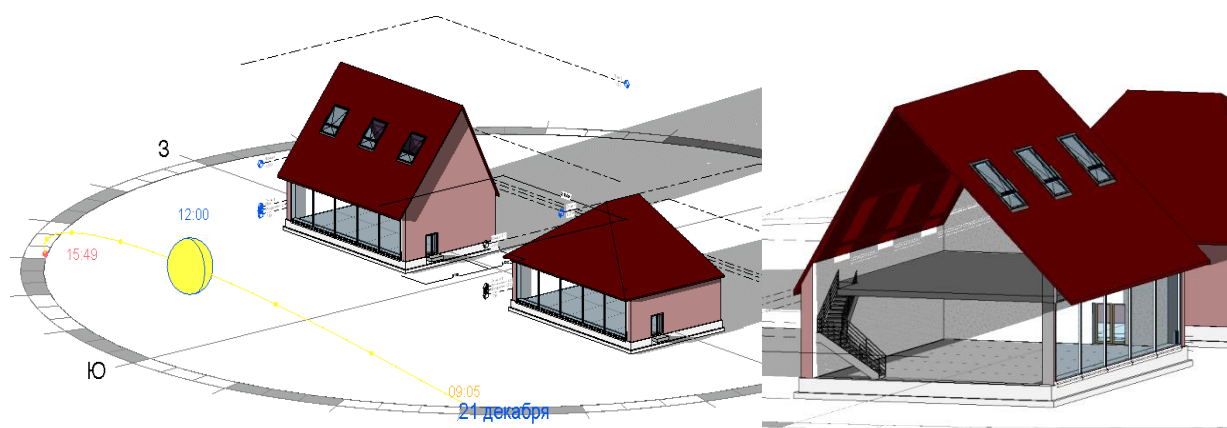


Рис. 6. 3D вигляд будинку для визначення раціональної величини звису покрівлі (два варіанти покрівлі під розміщення сонячних панелей) з положенням сонця 21 грудня та переріз

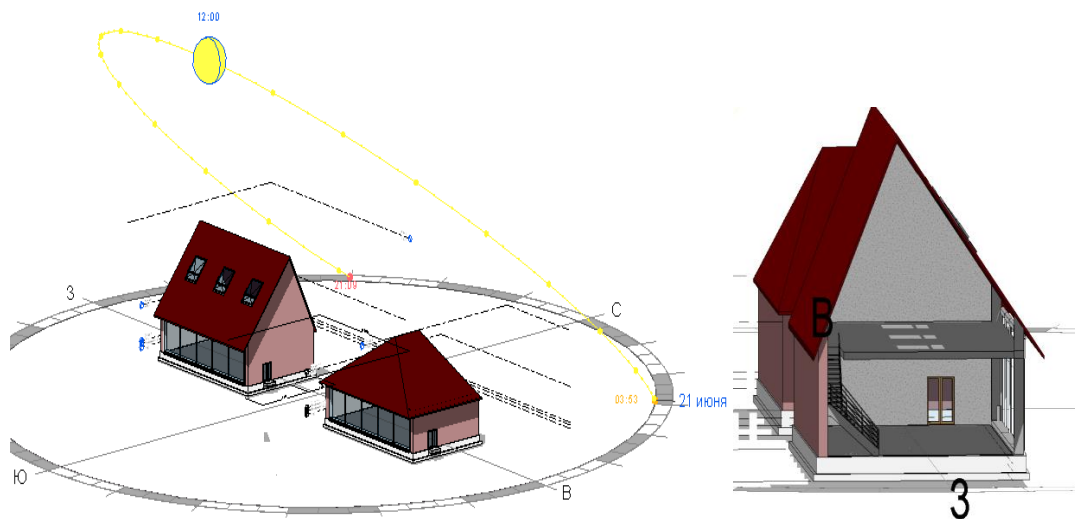


Рис. 7. 3D вигляд будинку для визначення раціональної величини звису покрівлі (два варіанти покрівлі під розміщення сонячних панелей) з положенням сонця 21 червня

Земля, обертаючись навколо Сонця протягом свого річного циклу, по-різному освітлює земну поверхню та з різною інтенсивністю. На це впливає кут нахилу осі обертання нашої планети і траєкторія руху навколо Сонця.

Найбільший та найменший кути нахилу Землі спостерігаються під час зимового та літнього сонцестояння.

В цій статті проаналізовано положення будинку в денний період часу при зміні напрямку положення будинку з вітражною стороною, яка повертається за сонцем в зимовий період часу.

Завдяки обертанню ми побачимо, що сонячні панелі, що розміщені на даху будинку збиратимуть максимум енергії, та майже вся кімната буде освітлена весь

сонячний день, а отже буде збирати сонячне тепло всередині, і будинок зможе максимально самостійно забезпечувати себе електроенергією на власні потреби.

Нижче приведені схеми положення – орієнтації та повороту будинку відносно центральної осі будинку, слідуючи за сонцем (рис. 8 та 9).

Для того, щоб генерувати енергію із сонячного світла, сонячні панелі, що зазвичай встановлюють на покрівлі, повинні поглинати сонячне випромінювання. Якраз в попередній роботі на рисунках 3D вигляду будинку для визначення раціональної величини звису покрівлі розглядалися два варіанти покрівлі для розміщення сонячних панелей: двоскатна та вальмова.

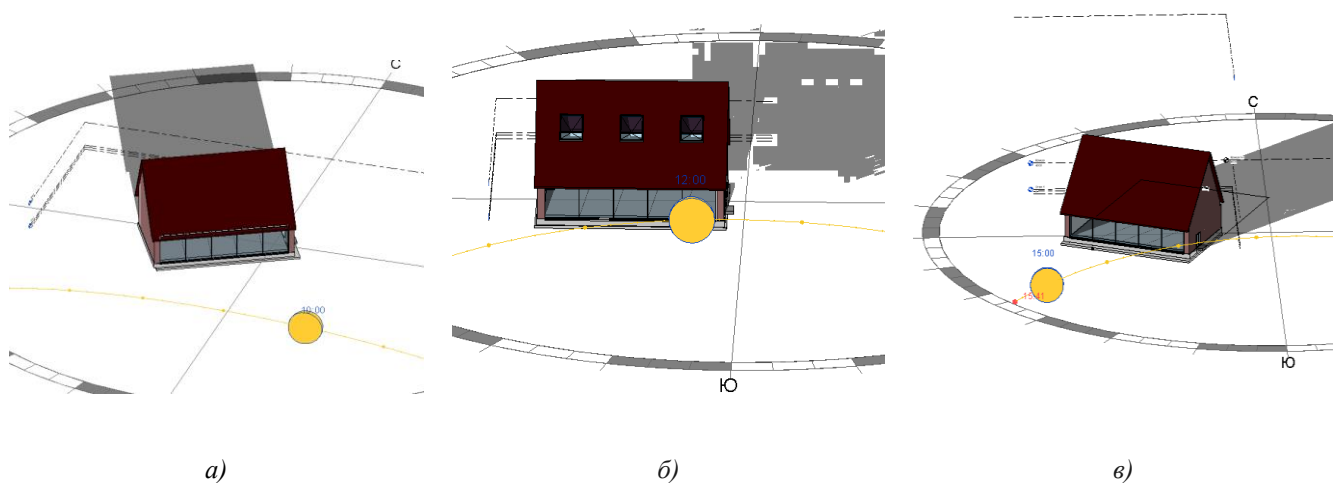


Рис. 8. 3D вид положення – орієнтації та повороту будинку відносно центральної осі будинку, слідуючи за сонцем: а) 3D моделювання з положенням будинку повернутим до сонця на 10 годину дня; б) те ж саме, повернутим до сонця на 12 годину дня; в) те ж саме, повернутим до сонця на 15 годину дня

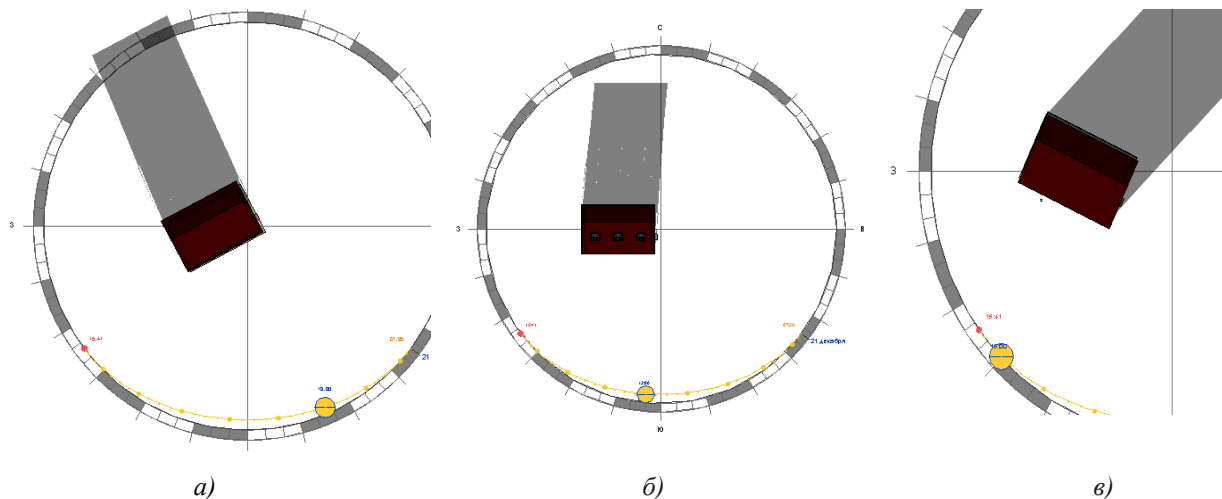


Рис. 9. Вид зверху (проекція) положення - орієнтації та повороту будинку відносно центральної осі будинку, слідуючи за сонцем: а) вид зверху моделювання з положенням будинку повернутим до сонця на 10 годину дня; б) те ж саме, повернутим до сонця на 12 годину дня; в) те ж саме, повернутим до сонця на 15 годину дня

При визначенні форми даху відштовхувалися від значень кутів падіння сонячних променів на місці розташування будинку. Важливими є два кути – зимового (сонце знаходиться в нижній точці небосхилу) і літнього (сонце займає найвище положення) сонцестояння:

– опівдні 21 грудня кут зимового сонцестояння дорівнює 67 градусів мінус широта;

– 21 червня кут літнього сонцестояння дорівнює 47 градусів плюс кут, визначений на 21 грудня.

Тому взимку сонце знаходиться відносно низько на небі з найнижчою дугою через небо під час зимового сонцестояння, 21 грудня (рис. 6).

Влітку сонце проходить високий шлях по небу і знаходиться під найвищим кутом під час літнього сонцестояння, 21 червня (рис. 7).

Для району м. Дніпро визначено оптимальний кут нахилом 45 градусів для розміщення сонячних панелей. Тому в даній роботі скат покрівлі повернутий до сонця прийнятий під кутом 45 градусів.

В звичному для нас вигляді сонячні панелі не можуть пропускати сонячне світло через себе (як це робить скло у вікні). Таким чином, ідея прозорих сонячних панелей може здатися абсурдною та абсолютно нелогічною, адже прозора панель не може поглинати випромінювання.

Та наразі, створені сонячні панелі інженерами університету Мічигану (США),

складаються з прозорих люмінесцентних (рис. 10) сонячних концентраторів (TLSC). TLSC здатні вибірково поглинати невидиме сонячне випромінювання, включаючи інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання, і пропускати через себе інші видимі промені. Іншими словами, ці пристрої прозорі для людського ока (практично як скло), але при цьому поглинають частину сонячного світла, яке потім перетворюється на електрику. Це відносно нова технологія, яка вперше розроблена лише у 2013 році, але вже зараз вона демонструє вражаючі результати [5].



Рис. 10. Елемент прозорих люмінесцентних сонячних концентраторів

Дослідники з Мічиганського державного університету (МДУ) стверджують, що їхні прозорі сонячні панелі можуть прослужити понад 30 років, що робить їх більш довговічними, ніж більшість звичайних сонячних панелей [5]. Такими прозорими

сонячними елементами можна оснастити вікна та отримувати додаткову, до основних сонячних панелей на покрівлі, електрику без особливого клопоту протягом десятиліть. Ця розробка дуже перспективна і зацікавила багатьох людей. Особливо інтересною ідеєю було б розробка та створення сонячних склопакетів, на заміну існуючим (або модернізація існуючих, за можливості).

Проте технологія прозорих сонячних елементів (склопакетів) поки що не дозволяє зробити їх досить потужними, але в недалекому майбутньому це неминуче станеться.

Технології розвиваються, і їх розвиток дає змогу зробити будівництво екологічним та доступним для повсякденного використання. Зараз все це звучить як щось, з ряду «наукової фантастики», але це вже існує, і це вже є у нашому житті.

Висновки. Розвиток технологій моделювання будівель дає змогу розвитку нових напрямів досліджень та

проектування будівель та споруд. BIM технології дають потужне джерело вибору енергоефективних та раціональних архітектурно-конструктивних рішень.

В даній роботі визначено раціональну зовнішню форму сонячного будинку з урахуванням форми покрівлі для розміщення сонячних панелей. Передбачено вітражний головний фасад для збільшення енергоефективності будинку та пропуску максимального всередину приміщень сонячного випромінювання взимку або можливість розмістити прозорі сонячні елементи. Також за рахунок знайденої оптимальної величини звису покрівлі максимально знизити потрапляння сонячної енергії всередину будинку, тим самим знизити енерговитрати на кондиціонування.

Застосування BIM технологій для моделювання сонячних будинків дає змогу запроєктувати будинок з поворотною конструкцією для максимального збирання сонячної енергії протягом світового дня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rotational villa girasole. Obviousmag 2003, SP/BR. URL: http://obviousmag.org/en/archives/2011/01/rotational_villa_girasole.html
2. Architecte Rolf Disch (1944). Maison Passive Solaire Cylindrique Heliotrop Tournante (1994). Virginia Maneval. March 1, 2017. URL: <http://www.bubblemania.fr/ru/bulles-architecture-rolf-disch-maison-heliotrope-solaire-tournante-1994/>
3. Вращающиеся дома DOMESPACE. Франция. 2015. URL: <https://convolute-wood.livejournal.com/101605.html>
4. Casas Em Movimento homes turn to solar. February 16, 2016. URL: <https://newatlas.com/casas-em-movimento/41851/>
5. Вчені винайшли прозорі сонячні панелі, які можуть замінити вікна. 17 березня 2015. URL: <https://inspired.com.ua/stream/transparent-solar-cells/>
6. Сопільняк А. М., Титюк А. А., Ярова Т. П., Серeda С. Ю., Вершкова Ю. С. Визначення раціонального звису покрівлі вітражного фасаду за допомогою BIM технологій. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 2. С. 100–108.

REFERENCES

1. Rotational villa girasole. Obviousmag 2003, SP/BR. URL: http://obviousmag.org/en/archives/2011/01/rotational_villa_girasole.html
2. Architecte Rolf Disch (1944). Maison Passive Solaire Cylindrique Heliotrop Tournante (1994). Virginia Maneval. March 1, 2017. URL: <http://www.bubblemania.fr/ru/bulles-architecture-rolf-disch-maison-heliotrope-solaire-tournante-1994/>
3. *Vrashchayushchiyesya doma DOMESPACE. Frantsiya* [Rotating houses DOMESPACE. France.]. 2015. URL: <https://convolute-wood.livejournal.com/101605.html> (in Russian).
4. Casas Em Movimento homes turn to solar. February 16, 2016. URL: <https://newatlas.com/casas-em-movimento/41851/>
5. *Vcheni vynayshly prozori sonyachni paneli, yaki mozhut' zaminyty vikna* [Scientists have invented transparent solar panels that can replace windows]. March 17, 2015. URL: <https://inspired.com.ua/stream/transparent-solar-cells/> (in Ukrainian).
6. Sopilniak A.M., Tytiuk A.A., Yarova T.P., Sereda S.Yu. and Vershкова J.S. *Vyznachennya ratsional'noho zvyusu pokrivli vitrazhnogo fasadu za dopomohoyu BIM tekhnolohiy* [The value of a rational roof overhang over a stained-glass facade using bim technologies]. *Ukrayins'ky zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, no. 2, pp. 100–108. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції : 03.07.2022.