

## **Section: Architecture and Construction**

DOI 10.70286/eoss-22.09.2025.001

# **ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДИНАМІЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ СХОВИЩ ОСВІТНІХ УСТАНОВ: БІОФІЛЬНИЙ ПІДХІД**

**Василенко Олександр**

доктор архітектури, професор

ORCID: 0000-0002-8261-3104

**Духіна Вікторія**

здобувачка вищої освіти магістерського рівня

ORCID: 0000-0002-5560-2434

Кафедра архітектури будівель та споруд

Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна

**Анотація.** У статті розглянуто інноваційні технології динамічного освітлення для укриттів освітніх установ з позицій біофільного підходу, спрямованого на створення психологічно комфортного та безпечного середовища в умовах обмеженого простору та відсутності природного світла. Проаналізовано принципи штучного неба (Artificial Skylight) та динамічного регулювання спектра і інтенсивності світла, які дозволяють підтримувати циркадні ритми користувачів, знижувати рівень стресу та тривожності, а також підвищувати когнітивну активність. Досліджено світовий досвід інтеграції біофільного освітлення у навчальні простори та укриття, а також вітчизняні практики, зокрема модернізацію укриттів Миколаївського ліцею №55. Актуальність дослідження для України зумовлена сучасними викликами у сфері безпеки навчальних закладів та потребою створення умов, що мінімізують психологічне напруження у кризових ситуаціях. Впровадження інноваційних технологій динамічного освітлення на основі біофільного дизайну дозволяє підвищити функціональність, комфорт і безпеку укриттів, а також узгоджується з міжнародними тенденціями розвитку освітніх просторів.

**Ключові слова:** біофільний дизайн; штучне освітлення; психологічний комфорт; сховище; навчальні установи; безпека; динамічне освітлення; природне освітлення.

**Актуальність дослідження.** Сучасні виклики безпеки в Україні, пов'язані з військовою агресією та необхідністю створення ефективної системи цивільного захисту, зумовлюють підвищені вимоги до функціональної організації сховищ у навчальних закладах. Одним із ключових аспектів формування безпечного та психологічно комфортного середовища в укриттях є організація штучного освітлення. Відсутність природного світла в підземних просторах негативно

впливає на психоемоційний стан учнів і педагогічного персоналу, спричиняючи відчуття замкненості, тривожності та дезорієнтації.

Дослідження у сфері архітектури, психології та ергономіки доводять, що параметри освітлення – колірна температура, інтенсивність і динаміка світлових потоків – безпосередньо впливають на когнітивну активність, рівень стресу та загальне самопочуття користувачів. В умовах навчальних закладів, де укриття можуть використовуватись тривалий час, питання якісного освітлення набуває особливої ваги.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми організації сховищ у навчальних закладах знайшли відображення як у нормативно-правових документах, так і в наукових працях українських та зарубіжних дослідників. Базові вимоги до безпеки та облаштування захисних споруд визначені у Законі України «Про освіту» [3] та Кодексі цивільного захисту України [5], а також у сучасних ДБН, що регламентують архітектурні й технічні аспекти організації укриттів. Практичні приклади реконструкції та модернізації укриттів у закладах освіти демонструють офіційні джерела, зокрема повідомлення Київської обласної військової адміністрації [4] та місцевих ЗМІ [6], що підтверджує актуальність проблеми у контексті сучасних викликів.

Наукові дослідження українських авторів акцентують увагу на архітектурно-дизайнерських рішеннях захисних приміщень. У працях Жидкової Т. В. та Пилипенко Н. А. [2] проаналізовано особливості дизайну укриттів у закладах дошкільної освіти з урахуванням ергономічності та психологічного комфорту. Семироз Н. Г. [8] досліджує інтер'єрні рішення для укриттів цивільного захисту населення, зосереджуючись на засобах зменшення психологічної напруги у замкнутих просторах. Важливим для дослідження є внесок Пойманової К. О. [7], яка розглядає біофільний дизайн як концептуальну основу формування навчального середовища, що безпосередньо співвідноситься з завданнями створення комфортного освітлення в укриттях.

Зарубіжні наукові роботи підкреслюють значення біофільного підходу та інноваційних технологій динамічного освітлення. Дослідження Deol J. та співавторів [12] доводять позитивний вплив біофільного освітлення на комфорт та продуктивність студентів. Dewi O. S. і колеги [13] аналізують застосування енергоефективного освітлення та біофільного дизайну у бібліотечних просторах, що має аналогічну цінність для сховищ. Yagcioglu B. [17] та Incesakal S., Venice M. S. [14] розкривають роль біофільних інтер'єрів в освітніх та громадських будівлях.

Окремий напрям становлять дослідження технологій «штучного неба» (artificial skylight). Роботи Bellazi A. та ін. [9], Canazei M. та ін. [10], а також Madias E.-N. D. і колег [15] фіксують позитивний вплив подібних систем на психологічний стан та когнітивну активність користувачів у середовищах без доступу природного світла. Вони доводять, що імітація природного денного освітлення у закритих приміщеннях сприяє зниженню рівня тривожності та формує комфортне сприйняття простору.

Результати сучасних досліджень підтверджують необхідність інтеграції біофільного дизайну та інноваційних систем динамічного освітлення у сховища навчальних закладів. Водночас, у вітчизняному контексті потребує подальшого розвитку питання адаптації цих технологій до українських умов, нормативної бази та особливостей освітнього середовища.

**Постановка проблеми.** Сховища навчальних закладів в Україні проектується переважно як технічно функціональні приміщення, де питання психологічного комфорту користувачів часто залишаються другорядними. Відсутність природного освітлення у підземних просторах призводить до підвищеної тривожності, зниження когнітивної активності та зростання психологічного навантаження на учнів і педагогів. Традиційні системи освітлення, засновані на статичному світловому середовищі, не здатні компенсувати вказані негативні чинники.

У цьому контексті особливого значення набувають інноваційні технології динамічного освітлення, які дозволяють відтворювати природні світлові сценарії, адаптовані до добових ритмів людини. Технології типу «штучного неба» (artificial skylight), системи з регульованою колірною температурою та інтенсивністю світлових потоків створюють середовище, максимально наближене до природного. Їх застосування у сховищах освітніх установ не лише підвищує психологічний комфорт і знижує рівень стресу, а й сприяє підтриманню навчальної працездатності та концентрації уваги.

З огляду на актуальні виклики безпеки та стратегічну мету підвищення якості освітнього середовища, впровадження таких технологій є необхідною складовою інноваційного розвитку архітектурних рішень для укріплень навчальних закладів.

**Мета дослідження** полягає у науковому обґрунтуванні застосування інноваційних технологій динамічного освітлення в укріпленнях освітніх установ на основі принципів біофільного дизайну, зокрема технології «штучного неба» (artificial skylight), з метою підвищення психологічного комфорту, безпеки та когнітивної активності користувачів в умовах відсутності природного світла.

**Завдання дослідження:** проаналізувати сучасні підходи до організації освітлення в укріпленнях навчальних закладів з урахуванням нормативних вимог та міжнародного досвіду; дослідити принципи біофільного дизайну як основу для створення психологічно комфортного та безпечного світлового середовища в умовах обмеженого простору; розкрити інноваційні можливості технології «штучного неба» (artificial skylight) та інших систем динамічного освітлення, які імітують природні світлові сценарії.

**Результати дослідження і їх обговорення.** На основі аналізу нормативних документів України та міжнародного досвіду, таких як ДБН В.2.2-10:2022 і ДБН В.2.2-40:2018, було встановлено, що сучасні стандарти потребують подальшого удосконалення з точки зору адаптації до специфічних потреб військовослужбовців, які проходять реабілітацію. В зарубіжних практиках

(зокрема, в країнах ЄС) більше уваги приділяється ландшафтному дизайну як інструменту для психологічної підтримки пацієнтів. Впровадження подібних елементів в Україні може значно покращити умови реабілітації.

**1. Сучасні підходи до організації освітлення в укриттях навчальних закладів з урахуванням нормативних вимог та міжнародного досвіду.** Організація освітлення в укриттях навчальних закладів визначається поєднанням нормативних вимог безпеки та завдань формування комфортного психологічного середовища. В Україні відповідні положення регламентуються Кодексом цивільного захисту та Законом України «Про освіту» [3, 5], які зобов'язують заклади освіти забезпечувати укриття умовами, придатними для тривалого перебування учнів та педагогів. Однак у практичних реалізаціях простежується орієнтація переважно на функціональні й безпекові параметри, тоді як питання психологічного комфорту та біофільного середовища залишаються другорядними.

Показовим прикладом є укриття Миколаївського ліцею №55 (рис. 1), що має площу 940 м<sup>2</sup> і розраховане на 600 осіб. Простір організований як багатофункціональний: передбачено навчальні аудиторії з інтерактивним обладнанням, бібліотеку, зони відпочинку, санітарні приміщення. Для гнучкого зонування застосовано звукоізовані штори, що дає змогу одночасно проводити навчальні заняття та інші активності [6]. Недоліком є відсутність біофільних елементів у дизайні, зокрема застосування мінімалістичного оздоблення та відкритих комунікацій, що може негативно впливати на психологічний комфорт користувачів.

Міжнародний досвід, навпаки, демонструє інтеграцію біофільних принципів в освітні середовища навіть у закритих просторах. Шкільний комплекс у місті Рійс-ла-Пап (Франція), реалізований архітектурним бюро Tectoniques, демонструє сучасний підхід до організації освітнього середовища з акцентом на природне та штучне освітлення [12]. Проект базується на принципах сталого розвитку та біофільного дизайну, де головним завданням стало створення простору, максимально наближеного до природних умов. Архітектори широко використали великі світлові прорізи та динамічні системи освітлення, що забезпечують зміну інтенсивності та колірної температури залежно від часу доби. Це дозволяє підтримувати біоритми учнів та створювати сприятливий психологічний клімат [8].



Рис. 1. Укриття Миколаївського ліцею №55. Загальні приміщення.



Рис. 2. Шкільний комплекс у м. Рійє-ла-Пап (Франція).

Порівняння вітчизняного та зарубіжного досвіду засвідчує різницю у підходах: якщо в Україні акцент робиться на базових умовах безпеки, то в міжнародній практиці освітнє середовище розглядається як простір, що має відтворювати елементи природного середовища.

**2. Принципи біофільного дизайну як основа для створення психологічно комфортного та безпечного світлового середовища в умовах обмеженого простору.** Біофільний дизайн у контексті організації штучного освітлення для сховищ освітніх установ виступає ключовою концепцією, спрямованою на мінімізацію негативного впливу ізольованого середовища та відсутності природного світла на психофізіологічний стан користувачів [7]. Основою цього підходу є відтворення природних світлових сценаріїв шляхом застосування динамічних технологій освітлення, які імітують ефекти блакитного неба, сонячного світла та дифузного денного освітлення.

Серед принципів біофільного дизайну у сфері штучного освітлення ключовими є:

1. Імітація природного середовища – відтворення візуальних і світлових характеристик неба та сонячного світла, що формує відчуття відкритого простору навіть у підземних чи ізольованих укриттях.

2. Динаміка світлових параметрів – зміна інтенсивності та колірної температури протягом часу, що дозволяє підтримувати циркадні ритми, знижує рівень тривожності та підвищує когнітивну активність.

3. Розсіяність і м'якість світла – уникнення різких контрастів і тіней, що забезпечує комфортне сприйняття середовища та створює умови для тривалої присутності у сховищах без перевантаження зорової системи.

4. Включення візуальних асоціацій з природою – використання технологій, які відтворюють ефекти листя, водної поверхні чи руху хмар, що формує додатковий психологічний комфорт і знижує рівень стресу.

### **3. Інноваційні можливості технології «штучного неба» (artificial skylight).**

Технологія «штучного неба» (Artificial Skylight, AS) є одним із ключових інструментів сучасного біофільного дизайну для організації динамічного освітлення в укриттях освітніх установ [11]. Вона дозволяє відтворювати природні параметри денного світла, включно з його спектром, інтенсивністю та динамікою, що забезпечує психофізіологічний комфорт користувачів навіть у повністю ізольованих просторах, де природне освітлення відсутнє.

Суттєвою інноваційною складовою технології є комплексна симуляція природного освітлення. Сучасні системи Artificial Skylight інтегрують кілька ключових компонентів: високоякісні світлодіодні джерела світла з регульованим спектром, які відтворюють весь діапазон сонячного спектра; оптичні дифузори, що забезпечують рівномірне розсіювання світла по всьому простору та імітують природне розсіювання сонячного світла атмосферою; наноматеріали, що моделюють взаємодію світла з повітрям, створюючи ефект «блакитного неба»; програмовані контролери, що динамічно змінюють інтенсивність та колірну температуру світла залежно від часу доби, відтворюючи природні добові ритми [12-14]. Такий підхід дозволяє синхронізувати циркадні ритми користувачів, що є критично важливим для підтримки концентрації уваги, когнітивної активності та загального психофізіологічного здоров'я.

Однією з важливих інновацій є здатність технології створювати візуальну ілюзію відкритого простору, що особливо актуально для підземних або ізольованих укриттів. Імітація небесного купола та динамічні світлові сценарії формують відчуття природного середовища, знижують психологічне напруження та прояви клаустрофобії, особливо у дітей молодшого шкільного віку. Додатково, штучне небо дозволяє моделювати природні сцени, такі як проникнення сонячного світла крізь листя дерев, що позитивно впливає на емоційний стан і підтримує почуття безпеки [10, 11].

Інноваційні системи дозволяють комбінувати розсіяне та акцентне світло,

що дає змогу функціонально зонувати простір укриття без застосування фізичних перегородок. Наприклад, навчальні та інтерактивні зони можна підсвічувати інтенсивнішим, холодним світлом, а рекреаційні та відпочинкові зони — м'яким, теплим світлом.

Сучасні комерційні рішення, такі як CoeLux, SVL та інші високотехнологічні системи, демонструють високоточну відтворюваність спектра природного світла, реалістичне формування тіней та динамічні зміни освітлення залежно від часу доби [9]. Системи CoeLux, наприклад, дозволяють адаптувати освітлення під різні кліматичні умови та архітектурні простори, відтворюючи середземноморські, тропічні або північні сценарії освітлення. Завдяки цьому технологія штучного неба може ефективно застосовуватися у різних типах укриттів, забезпечуючи універсальність і масштабованість рішень.

Додатково, інтеграція Artificial Skylight у дизайн укриттів сприяє реалізації принципів біофільного дизайну, що включає використання природних мотивів, світлових і текстурних патернів, а також відтворення природних явищ у внутрішньому просторі. Вказане рішення забезпечує комплексний вплив на психофізіологічний стан користувачів: підтримку циркадних ритмів, підвищення психологічного комфорту та зниження рівня тривожності, що є особливо важливим у кризових або тривалих перебуваннях у захисних приміщеннях.

Технологія «штучного неба» відкриває широкі перспективи для впровадження в укриття навчальних закладів як ефективного інструменту створення безпечного, комфортного та адаптивного освітнього середовища.

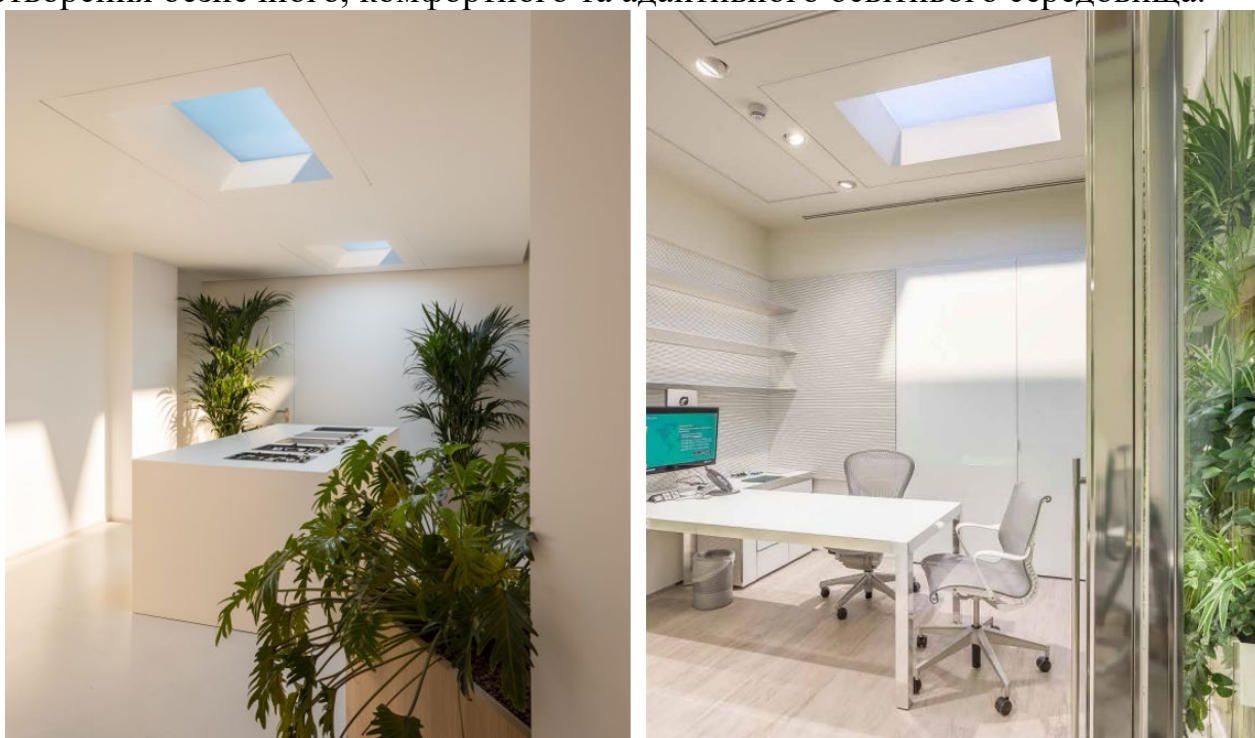


Рис. 3. Світильники CoeLux, імітація неба.

**Висновки.** Перспективи впровадження технологій динамічного освітлення на основі біофільного підходу у сховищах навчальних закладів є значними та

багатогранними. По-перше, такі системи дозволяють створювати умови для підтримки психологічного комфорту та зниження стресу серед учнів і персоналу, що особливо актуально в умовах обмеженого простору та відсутності природного освітлення. По-друге, технології штучного неба (Artificial Skylight) і регульованого спектра світла сприяють синхронізації циркадних ритмів, підтримці когнітивної активності та концентрації уваги, що має пряме значення для ефективності навчального процесу навіть у кризових ситуаціях.

Крім того, інтеграція зазначених систем штучного освітлення у дизайн укріплень дозволяє забезпечити функціональну адаптивність простору, зонування навчальних, рекреаційних та соціальних зон, а також зменшити відчуття ізоляції. Впровадження біофільних принципів у поєднанні з динамічним освітленням створює передумови для формування безпечного, комфортного та стимулюючого середовища, що відповідає сучасним міжнародним стандартам та нормативним вимогам України.

### Список використаних джерел

1. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. Київ: Мінрегіон України, 2022. 66 с.
2. Жидкова, Т. В., Пилипенко, Н. А. (2023). Дизайн приміщень захисних споруд в закладах дошкільної освіти. Український журнал будівництва та архітектури, 4, 77-84.
3. Закон України про освіту. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text>
4. Київська обласна військова адміністрація. (2023). У Білогородському ліцеї капітально відремонтували укріття. <https://koda.gov.ua/u-bilogorodskomu-liczeyi-kapitalno-vidremontuvaly-ukryttya/>
5. Кодекс цивільного захисту України. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text>
6. МикВісті. (2024). У Миколаєві відкрили укріття в школі, на ремонт якого збирала кошти «Українська правда». <https://nikvesti.com/ua/news/public/v-mikolayivskomu-liczeyi-vidkrili-ukryttia-naibilshu-vmistiti-600-lyudey>
7. Пойманова, К. О. (2024). Біофільний дизайн як основна концепція у формуванні навчального простору загальноосвітньої школи. Український мистецтвознавчий дискурс, 1, 154-159.
8. Семироз, Н. Г. (2022). Дизайн інтер'єрів укріття цивільного захисту населення. Theory and practice of gesign, 26, 210-215.
9. Bellazi, A., Danza, L., Devitofrancesco, A., Ghellere, M., Salamone, F. (2022). An artificial skylight compared with daylighting and LED: Subjective and objective performance measures. Journal of Building Engineering, 45. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103407>
10. Canazei, M., Pohl, W., Bliem, H. R., Martini, M., Weis, E. (2017). Artificial skylight effects in a windowless office environment. Building and Environment, 124, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.045>
11. CoeLux. Experience the sky. Products. <https://www.coelux.com/>

12. Deol, J., Lee, H., Kwok, A., Pappo, J., Zhou, R. (2022). The effects of biophilic lighting on student comfort and productivity. University of British Columbia.
13. Dewi, O. C., Ismoyo, A. D., Felly, R., Aisyah, Yordani, L. (2020). Energy-efficient Lighting and Biophilic Design Concept to Boost Reading Interest in Social Facilities' Library. International Conference on Environment and Renewable Energy, 6, 9.
14. Incesakal, S., Venice, M. S. (2024). Effects of Earthshelter's on Urban Space in Context of Biophilic Design; A case of Meydan İstanbul Mall, Turkey. Proceedings of the International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism, 3(1), 130–143.
15. Madias. E.-N. D., Christodoulou, K., Androvitsaneas, V. P., Skalkou, A., Sotiropoulou, S., Zervas, E., Doulos, L. T. (2023). The effect of artificial lighting on both biophilic and human-centric design. Journal of Building Engineering, 76. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107292>.
16. Natsira, N., Jamalab, N., Kusnoc, A. (2021). The Artificial Lighting Analysis of Study Rooms in Dormitories and Classrooms Islamic Boarding School of Lil Banat Parepare. EPI International Journal of Engineering, 4 (1), 81-92.
17. Yagciogli, B. (2022). Effects of Biophilic Design in Interior Space and Evaluation in Educational Buildings. School of natural and applied sciences.

## **БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ МАЙБУТНЬОГО: ІННОВАЦІЇ ТА ЕКОЛОГІЯ В АРХІТЕКТУРІ**

**Авраменко Аліна Євгенівна**

здобувачка вищої освіти бакалаврського рівня

**Мельник Дарина Андріївна**

здобувачка вищої освіти бакалаврського рівня

Спеціальність 191 «Архітектура та містобудування»

**Тараненко Сергій Вікторович**

викладач

Сумський фаховий коледж будівництва та архітектури, Україна

Будівництво та архітектура завжди відображали розвиток людства: від перших кам'яних споруд до сучасних хмарочосів зі скла й сталі. Сьогодні людство стоїть на порозі нової ери, де технології, наука та екологічне мислення змінюють уявлення про конструкції, технології та методи спорудження будівель. Матеріали нового покоління дозволяють зводити архітектурні об'єкти, які не лише забезпечують комфорт і безпеку, а й взаємодіють із довкіллям, виробляють енергію та самовідновлюються.

Інноваційні будівельні матеріали – це найсучасніші матеріали, які розробляються з використанням передових технологій різних галузей відповідно