



УДК 620.9:69:378.048.2

ІННОВАЦІЙНІ ПРИНЦИПИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНОГО БУДІВНИЦТВА

Тетяна Пащенко,

*кандидат педагогічних наук, старший
науковий співробітник відділу змісту і
технологій професійної освіти Інституту
професійної освіти НАПН України,
<http://orcid.org/0000-0002-7629-7870>
e-mail: tantarena@ukr.net*

Анотація. У статті розглянуто та систематизовано інноваційні принципи енергоефективного та екологічно орієнтованого будівництва, які є стратегічним імперативом для сталого розвитку та євроінтеграції України. Визначено, що енергоефективне та екологічно орієнтоване будівництво ґрунтується на комплексній парадигмі, яка об'єднує раціональне використання ресурсів, пасивний дизайн, застосування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та екологічність матеріалів. Доведено, що зниження загального впливу на довкілля та цифровізація процесів забезпечують синергію цих принципів та перетворюють будівлі на стійкі, енергонезалежні об'єкти з високим рівнем комфорту.

Ключові слова: енергоефективне будівництво, екологічно орієнтоване будівництво, зелене будівництво, інноваційні принципи, відновлювані джерела енергії (ВДЕ), пасивний дизайн, життєвий цикл будівлі, сталий розвиток.

INNOVATIVE PRINCIPLES OF ENERGY-EFFICIENT AND ECOLOGICALLY ORIENTED CONSTRUCTION

Tetyana Pashchenko,

*PhD in Pedagogy, Senior Researcher
Department of Vocational Education Content and
Technologies Institute of Vocational Education of
the NAES of Ukraine*

Abstract. The article examines and systematizes the innovative principles of energy-efficient and ecologically oriented construction (EEOC), which serve as a strategic imperative for Ukraine's sustainable



development and European integration. It is determined that EEOC is based on a comprehensive paradigm that integrates rational resource use, passive design, the application of renewable energy sources (RES), and material eco-friendliness. It is proven that the reduction of overall environmental impact and the digitalization of processes ensure the synergy of these principles and transform buildings into sustainable, energy-independent objects with a high level of comfort.

Key words: Energy-efficient construction, ecologically oriented construction, green building, innovative principles, renewable energy sources (RES), passive design, building life cycle, sustainable development.

Сучасні виклики кліматичних змін, енергетичної кризи та урбанізації зумовлюють необхідність переосмислення підходів до будівництва. Традиційні технології, що орієнтовані на максимальну продуктивність без урахування екологічних наслідків, більше не відповідають вимогам сталого розвитку. У цьому контексті принципи енергоефективного та екологічно орієнтованого будівництва стають ключовими для формування комфортного, безпечного та ресурсозберігаючого життєвого середовища.

Енергоефективність у будівництві передбачає раціональне використання енергетичних ресурсів на всіх етапах життєвого циклу будівлі – від проєктування до експлуатації. Вона базується на впровадженні інноваційних технологій, таких як інформаційне моделювання будівель (BIM), системи моніторингу на основі Інтернету речей (IoT), а також використання відновлюваних джерел енергії. Екологічна орієнтація, своєю чергою, акцентує увагу на мінімізації негативного впливу на довкілля, застосуванні екологічно чистих матеріалів та створенні умов для здорового мікроклімату.

Поєднання цих принципів забезпечує не лише економію енергії та зниження експлуатаційних витрат, але й сприяє підвищенню якості життя, зменшенню викидів парникових газів та досягненню цілей сталого розвитку. Саме тому інтеграція енергоефективних та екологічних рішень у професійну підготовку майбутніх будівельників є стратегічним завданням сучасної освіти.

Основні принципи енергоефективного та екологічно орієнтованого будівництва:

раціональне використання ресурсів – мінімізація енергетичних та матеріальних витрат на всіх етапах будівництва;

пасивний дизайн – оптимальна орієнтація будівлі, теплоаккумуляція, природне освітлення та вентиляція;

цифровізація процесів – застосування BIM, IOT та аналітичних систем для моделювання та контролю енергоспоживання;

використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – сонячні панелі, теплові насоси, системи накопичення енергії;

екологічність матеріалів – вибір безпечних, сертифікованих та довговічних будівельних матеріалів;

зниження впливу на довкілля – мінімізація викидів, утилізація відходів, впровадження принципів циркулярної економіки.

Раціональне використання ресурсів у будівництві передбачає максимальну оптимізацію енергії, матеріалів і води протягом усього життєвого циклу будівлі – від проектування до експлуатації й утилізації. Воно передбачає такі аспекти: матеріалоефективність – завдяки принципам індустріальної екології та екодизайну, зменшується споживання первинних матеріалів і збільшується повторне використання ресурсів (Kibert, 2008).

Згідно з аналізом, близько 90 % матеріалів, колись видобутих, залишаються в сучасному будівництві; важливо впроваджувати вторинні матеріали та переробку на всіх етапах проектування і будівництва; енергозбереження – проєктні рішення, спрямовані на термоізоляцію, оптимальну орієнтацію будівлі, використання природного освітлення та вентиляції, дають змогу знизити потребу у штучному опаленні та кондиціонуванні; водозбереження (використання систем збору дощової води, ефективних сантехнічних рішень і повторне використання води) – важливий елемент ресурсоефективного підходу; управління відходами – мінімізація будівельного сміття, сортування, повторне використання матеріалів та впровадження циркулярної економіки як ключ до зменшення негативного екологічного впливу (Pichlmeier, 2023).

Пасивний дизайн базується на ідеї гармонійної взаємодії будівлі з навколишнім середовищем. Він використовує сонячну енергію, природну вентиляцію, теплоємність матеріалів та оптимальну орієнтацію споруди для створення комфортного мікроклімату. Це означає, що будівля «працює» сама по собі, зменшуючи потребу в додатковому опаленні чи кондиціонуванні (Carter, 2025).

Ключові складові пасивного дизайну: орієнтація та планування – розташування будівлі відносно сонця має вирішальне значення, південні фасади отримують максимум сонячного тепла взимку, тоді як



захист від перегріву влітку забезпечується навісами, жалюзі або зеленими насадженнями; теплова ізоляція та герметичність – якісні утеплювачі, багатошарові конструкції та енергоефективні вікна дають змогу мінімізувати теплові втрати, особлива увага приділяється усуненню «містків холоду», які можуть знижувати ефективність системи; природне освітлення та вентиляція – великі вікна, світлові шахти та правильне зонування приміщень забезпечують достатній рівень освітленості без додаткових витрат електроенергії, крос-вентиляція дає змогу охолоджувати будівлю влітку без кондиціонерів (Al Mistarehi et al., 2024); акумуляція тепла – використання матеріалів із високою теплоємністю (бетон, камінь) дає змогу накопичувати тепло вдень і віддавати його вночі, стабілізуючи температуру всередині.

Дослідження показують, що продуманий пасивний дизайн може знизити потребу в опаленні та охолодженні до 90 % порівняно з традиційними будівлями, хоча початкові витрати можуть бути вищими. Однак довготривала експлуатаційна економія перевищує інвестиції (Anand et al., 2023). Це не лише економія коштів, а й зменшення викидів парникових газів. Крім того, такі будівлі забезпечують високий рівень комфорту: температура та вологість залишаються стабільними, а якість повітря – високою.

Найвідомішим прикладом практичного застосування принципу пасивного дизайну є стандарт *Passivhaus*, розроблений у Німеччині. Він передбачає суворі вимоги до теплоізоляції, герметичності та вентиляції з рекуперацією тепла. Сьогодні пасивні будинки будуються не лише в Європі, а й у багатьох країнах світу, стаючи символом екологічно відповідального підходу до архітектури.

Цифрові технології, такі як BIM, Інтернет речей (IoT), цифрові двійники й штучний інтелект (AI), сприяють оптимізації всього життєвого циклу будівель: проєктування, будівництва, обслуговування та управління. Дослідження M. Itanola та S. Whang (2024) показує, що інтеграція BIM з AI дає змогу прогнозувати енергоспоживання, виявляти неефективності та впроваджувати рішення ще на етапі проєктування. Цифрові системи також забезпечують точне вимірювання вуглецевого сліду, звітність та впровадження ESG стратегій у будівельну галузь. Цифрова трансформація будівельного циклу сприяє значному зниженню енергоспоживання, завдяки AI аналітиці та моніторингу даних у реальному часі. Дослідники зазначають, що основні сфери застосування цифрових технологій –

інтеграція, оптимізація, моніторинг і навчання – сприяють сталості конструкцій.

Використання ВДЕ виходить за межі простої заміни енергоносіїв; воно є наріжним каменем концепції енергоефективного та екологічно орієнтованого будівництва, що інтегрує технічні, економічні та екологічні аспекти. Технологічна інтеграція: сонячні фотоелектричні системи (PV) та сонячні термальні колектори активно вбудовуються у конструктивні елементи будівель, перетворюючи дахи та фасади на активні енергогенеруючі площі. Аналогічно, теплові насоси (геотермальні, повітряні), які використовують теплову енергію навколишнього середовища, забезпечують високо енергоефективне опалення та охолодження. Енергетична незалежність: інтеграція ВДЕ дає змогу перетворити будівлю з пасивного споживача на активного учасника енергосистеми, а в ідеалі – на нуль-енергетичний об'єкт, річне споживання енергії якого дорівнює річному виробництву.

Інтеграція сонячних панелей, вітрових турбін, геотермальних систем і біомаси до проєктних рішень дає змогу будівлям суттєво знизити вуглецевий слід. V. Reddy та співавтори (2024) описують переваги та виклики таких систем, демонструючи, що гібридні підходи зберігають стабільність енергозабезпечення й підвищують ефективність. Поєднання різних відновлюваних джерел та накопичувачів енергії створює стійку і гнучку енергосистему будівель. Слід підкреслити, що ефективне застосування ВДЕ можливе лише за умови синергетичної взаємодії з пасивними та активними заходами енергоефективності.

Не менш важливим елементом, що забезпечує цілісний підхід до сталості та зниження впливу життєвого циклу будівлі на довкілля, є використання *екологічних будівельних матеріалів*, які характеризуються низьким вуглецевим слідом, нетоксичністю, переробністю або здатністю до біорозкладення. Перевага надається матеріалам, виробленим локально (зменшення транспортних витрат та викидів) і тим, що вимагають менше енергії на виробництво (наприклад, глина, необроблена деревина, солома замість високооброблених металів чи бетону); матеріалам, які можуть поглинати CO₂ або вимагають менш енергоємних процесів, наприклад, низьковуглецевий цемент, конопляний бетон (hempcrete), або перероблений бетон, натуральним теплоізоляційним матеріалам (деревина, глина, бамбук), які ефективні й безпечні для внутрішнього мікроклімату. Вибір матеріалів для енергоефективного та екологічно



орієнтованого будівництва ґрунтується на кількох ключових критеріях, які необхідно враховувати на етапі проєктування:

відновлюваність – матеріали, отримані з швидко відновлюваних ресурсів (наприклад, бамбук, коркове дерево, дерево з сертифікацією FSC);

екологічна безпека – матеріали, що не містять токсичних речовин, формальдегідів, летких органічних сполук, які можуть погіршувати якість внутрішнього повітря;

довговічність та ремонтпридатність – вибір матеріалів з тривалим терміном служби, що зменшує необхідність у частих замінах, та тих, які легко демонтуються та переробляються (замкнутий цикл);

вторинна сировина – використання матеріалів з високим вмістом вторинної сировини (наприклад, перероблене скло, металобрухт, ізоляція з переробленого паперу чи текстилю).

Застосування екологічних матеріалів нерозривно пов'язане з інтеграцією ВДЕ, оскільки вони працюють у синергії. Екологічні теплоізоляційні матеріали, такі як целюлоза, мінеральна вата з переробленої сировини або солома, часто демонструють відмінні теплоізоляційні властивості під час меншого екологічного навантаження. Це зменшує загальну потребу в енергії для опалення та охолодження, оптимізуючи розмір та потужність необхідних систем ВДЕ (наприклад, сонячних панелей чи теплових насосів). Деякі природні матеріали (глина, дерево) мають унікальну здатність регулювати вологість всередині приміщень, створюючи більш здоровий мікроклімат та зменшуючи потребу в енергоємних системах осушення чи зволоження.

Принцип *зниження впливу на довкілля* передбачає мінімізацію шкідливих викидів, обмеження відходів, декарбонізацію виробничих процесів та утилізацію ресурсів у замкнутих циклах. Цей принцип виходить за рамки простих заходів енергозбереження, охоплюючи весь життєвий цикл будівлі (Life Cycle Assessment, LCA): від видобутку сировини до утилізації. Його інноваційність полягає у комплексному підході до мінімізації негативних наслідків діяльності.

Інноваційний принцип енергоефективного та екологічно орієнтованого будівництва вимагає переходу від зосередження виключно на експлуатаційній енергії (енергія, спожита під час використання будівлі) до врахування вбудованої енергії та загального вуглецевого сліду протягом усього життєвого циклу. Зниження впливу на довкілля досягається через застосування екологічних матеріалів (як



було зазначено раніше): локальних, з вторинної сировини, або тих, що вимагають менш енергоємного виробництва. Зниження впливу починається на етапі проектування та вибору ділянки. Проекти енергоефективного та екологічно орієнтованого будівництва передбачають мінімальне порушення екосистем на ділянці забудови та, за можливості, відновлення частини природного ландшафту. Це включає захист ґрунту та водних ресурсів під час будівництва. Інноваційні будівлі інтегрують системи збору та очищення дощової води для технічних потреб (полив, змив унітазів) та очищення стоків (вода з раковин, душу) для повторного використання. Це значно знижує навантаження на міські водоочисні системи та споживання питної води.

Сучасні системи вентиляції з рекуперацією забезпечують постійний приплив свіжого, фільтрованого повітря під час мінімальних втрат енергії. Проектування з урахуванням максимального використання денного світла знижує потребу в штучному освітленні, заощаджуючи енергію та покращуючи психоемоційний стан користувачів.

Впровадження зелених дахів та вертикального озеленення не лише покращує естетику, але й виконує важливі екологічні функції: терморегуляція (зниження потреби в кондиціонуванні), поглинання вуглекислого газу, очищення повітря та управління поверхневим стоком (уповільнення відведення дощової води). Таким чином, зниження впливу на довкілля перетворює будівлю з джерела екологічних проблем на частину стійкої та відновлюваної екосистеми, що є основою для майбутніх стандартів будівництва.

Українські наукові дослідження вказують на життєво важливу необхідність інтеграції принципу зниження впливу на довкілля на всіх етапах життєвого циклу будівлі, підкреслюючи його роль як інноваційного імперативу для переходу до зеленого будівництва (або енергоефективного та екологічно орієнтованого будівництва) в умовах відновлення та євроінтеграції.

Зелене будівництво розглядається при цьому як холістична парадигма, що об'єднує енергоефективність, застосування ВДЕ, екологічні матеріали та мінімізацію екологічного сліду для створення стійких об'єктів із забезпеченням комфортного та безпечного внутрішнього середовища, відповідаючи європейським стандартам сталості. Зокрема В. Білотіл (2022) описав особливості «зеленого» будівництва в Україні та аналіз нормативної бази для реалізації «зеленої» політики, що допомагає зменшити екологічний вплив від



будівництва. М. Матусяк і І. Сафроненко (2024) акцентували увагу на фінансових інструментах («зелена іпотека») та підтримці екологічного будівництва державою.

Таким чином, детальний аналіз інноваційних принципів доводить, що енергоефективне та екологічно орієнтоване будівництво є не просто сукупністю окремих технічних рішень, а холістичною, багатовимірною парадигмою. Впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), раціональне використання ресурсів, пасивний дизайн, екологічність матеріалів та зниження впливу на довкілля у сукупності з цифровізацією процесів формує єдиний, взаємопов'язаний механізм. Жоден із цих принципів не може бути ефективним ізольовано; їхня синергія є ключовою передумовою для досягнення стратегічних цілей сталого розвитку та забезпечення енергетичної незалежності будівельної галузі.

Сформована комплексна парадигма енергоефективного та екологічно орієнтованого будівництва є стратегічною відповіддю на виклики кліматичних змін та ресурсного дефіциту. Її впровадження в українську будівельну практику є життєво важливою необхідністю для забезпечення сталого розвитку, підвищення енергетичної безпеки та створення якісного, комфортного та екологічно безпечного життєвого середовища в контексті післявоєнного відновлення та євроінтеграційних процесів.

Список посилань

Білотіл, В. Ю. (2022). Основні теоретичні засади, сучасний стан розвитку та тенденції формування «зеленого» будівництва в Україні в контексті сталого розвитку. *Бізнес Інформ*, (1), 63–73. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2022.255225>

Матусяк, М. В., & Сафроненко, І. В. (2024). Перспективи екологічного будівництва в Україні. У *LIII Всеукраїнській науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії*. Вінницький національний технічний університет. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/okeu/all-fbtegp-2024/schedConf/presentations>

Al Mistarehi, B., Ali, G., Robert, W., & Hassan, H. (2024). The role of passive techniques in modern sustainable architecture. *KHWARIZMIA*, 105–117. <https://doi.org/10.70470/KHWARIZMIA/2024/014>

Anand, V., Kadiri, V. L., & Putcha, C. (2023). Passive buildings: A state-of-the-art review. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 4(3). <https://doi.org/10.1186/s43065-022-00068-z>

Carter, R. (2025, June 22). What is passive design in architecture? *Riley Carter Architecture*. <https://rileycarter-architecture.com/blog/what-is-energy-efficiency-in-passive-design>

Itanola, M., & Whang, S. W. (2024). The impact of digital technologies on energy-efficient buildings: BIM and AI-based study. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 15(3), 392–412. <https://doi.org/10.22712/susb.20240028>

Kibert, C. J. (2008). Resource-conscious building design methods. In *Ecologically sustainable design*. Rinker School of Building Construction, University of Florida.

Pichlmeier, F. (2023). *Resource efficiency in construction: From planning to the building*. VDI Centre for Resource Efficiency.

Reddy, V. J., Hariram, N. P., Ghazali, M. F., & Kumarasamy, S. (2024). Pathway to sustainability: An overview of renewable energy integration in building systems. *Sustainability*, 16(2), Article 638. <https://doi.org/10.3390/su16020638>

— 90 —

УДК 377.352

ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ: КЛАСИФІКАЦІЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Тетяна Пятничук,
кандидат педагогічних наук, старший
науковий співробітник відділу змісту і
технологій професійної освіти Інституту
професійної освіти НАПН України,
<https://orcid.org/0000-0002-5607-2949>
e-mail: ptv2613@ukr.net