

викидів із ефективністю 75 %. Теоретична обґрунтованість можливості створення комплексної системи інтелектуального будинку з огляду на відновлювану енергію сонця та ґрунту для теплового насосу, а також вітрову енергію дозволить обійтися без паливно-енергетичних ресурсів, отримати додаткову енергію та знизити забруднення навколишнього середовища.

### Література

1. Шмуклер В. С., Гапонова Л. В. Наукові засади формування інтелектуального будинку. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Серія: Створення високотехнологічних екокомплексів на основі концепції збалансованого (стійкого) розвитку*. 2013. Вип. 68. С. 456–461.

УДК 691.3:697(728)

## ТЕПЛОТЕХНІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ: СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПАСИВНОГО Й АКТИВНОГО ДОМОБУДУВАННЯ

**Орел Євген Федорович**, канд. техн. наук, доцент каф. ВПГЗ, Український державний університет залізничного транспорту,  
e-mail: [orel@kart.edu.ua](mailto:orel@kart.edu.ua), ORCID ID 0000-0002-6261-1558

**Никитинський Андрій Володимирович**, канд. техн. наук, доцент каф. БМКС,  
Український державний університет залізничного транспорту,  
e-mail: [NykytynskyiAV@kart.edu.ua](mailto:NykytynskyiAV@kart.edu.ua), ORCID ID 0000-0002-4923-8568

**Ковальов Максим Олександрович**, канд. техн. наук, доцент каф. БМГ,  
Український державний університет залізничного транспорту,  
e-mail: [kovalev\\_bmg@kart.edu.ua](mailto:kovalev_bmg@kart.edu.ua), ORCID ID 0000-0003-2104-3061

У сучасному будівництві ключовим завданням стає формування енерго-ефективних конструкцій, здатних забезпечити мінімальні тепловтрати та оптимальне енергоспоживання протягом усього життєвого циклу будівлі. Розвиток концепцій пасивного та активного домобудування спрямований на створення архітектурно-конструктивних рішень, які дозволяють суттєво зменшити потребу в зовнішніх енергоресурсах. Відомо, що впровадження енергозберігаючих технологій знижує експлуатаційні витрати, підвищує тепловий комфорт та скорочує викиди парникових газів, що підтверджено у працях [1, 2]. Важливим напрямом підвищення енергоефективності є застосування матеріалів зі зменшеним теплотехнічним опором, зокрема бетонів із рециркульованими заповнювачами. Використання подрібнених бетонних і цегляних відходів дозволяє зменшити вуглецевий слід будівельної галузі та водночас оптимізувати теплотехнічні властивості конструкцій, оскільки такі матеріали мають нижчу

теплопровідність і підвищену термічну інерційність порівняно з традиційними заповнювачами [3–5]. Це відповідає принципам циркулярної економіки та сприяє формуванню сталих технологій у будівництві [6].

Пасивний будинок розглядається як система, у якій конструктивні рішення забезпечують мінімальні тепловтрати без застосування традиційних систем опалення чи кондиціонування. Основним критерієм є зменшення коефіцієнта теплопередачі огорожувальних конструкцій, що визначається формулою

$$U = \frac{1}{R_{\text{sum}}}, \quad (1)$$

де  $R_{\text{sum}}$  – сумарний термічний опір стіни, який, у свою чергу, визначається як

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (2)$$

де  $d$  – товщина шару, а  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

У пасивних будинках значення ( $U$ ) повинно бути у кілька разів нижчим за нормативне, що досягається збільшенням товщини теплоізоляційного шару до 30...40 см та застосуванням матеріалів із низькою теплопровідністю. Енергоощадні склопакети з багатошаровим покриттям та інертним газом забезпечують мінімальні втрати тепла через світлопрозорі конструкції, а герметичність оболонки будівлі зменшує неконтрольовані повітрообміни. Вентиляційні системи з рекуперацією тепла дозволяють повертати до 80–90% теплової енергії, що виходить із будівлі, нагріваючи припливне повітря без додаткових витрат енергії [1]. У таких конструкціях дедалі частіше застосовують будівельні суміші з рециркульованими заповнювачами, які зменшують теплопровідність матеріалу та підвищують енергоефективність огорожувальних елементів.

Активний будинок, на відміну від пасивного, не лише мінімізує тепловтрати, а й виробляє власну енергію за допомогою відновлюваних джерел. Фотоелектричні панелі, теплові насоси та системи акумулювання енергії забезпечують енергетичну автономність будівлі, а інтелектуальні системи керування оптимізують розподіл і споживання енергії [2]. Енергоефективність конструкцій активного будинку визначається балансом між тепловими надходженнями та втратами, що описується рівнянням

$$Q_{\text{бал}} = Q_{\text{надх}} - Q_{\text{втрат}}, \quad (3)$$

де  $Q_{\text{надх}}$  включає сонячні та внутрішні теплові надходження, а  $Q_{\text{втрат}}$  залежить від теплопровідності огорожувальних конструкцій та вентиляційних втрат.

Використання бетонів із рециклінговими компонентами у поєднанні з високоефективною теплоізоляцією дозволяє зменшити  $Q_{\text{втрат}}$ , що підвищує загальну енергоефективність будівлі протягом усього життєвого циклу.

Порівняння пасивних і активних будинків демонструє, що перший підхід орієнтований на мінімізацію споживання енергії, тоді як другий – на її вироб-

ництво та оптимізацію. Вартість будівництва пасивного будинку зазвичай на 10–20% вища за традиційну, тоді як активний будинок потребує найбільших інвестицій через складність інженерних систем. Окупність пасивних будинків становить у середньому 7–10 років, тоді як активних 10–15 років. Екологічність обох типів є високою, проте активні будинки можуть забезпечувати навіть позитивний енергетичний баланс, що робить їх ще більш ефективними у довгостроковій перспективі.

В Україні розвиток енергоефективного будівництва активізувався з 2010-х років. У межах програм GIZ «Енергоефективність у громадах» здійснюється модернізація житлового фонду та впровадження енергоощадних рішень. Водночас активне домобудування поки що менш поширене через високу вартість обладнання та недостатню державну підтримку, що підтверджено у дослідженнях [7, 8].

### Висновки

Активне та пасивне домобудування формують два взаємодоповнювальні підходи до створення енергоефективних конструкцій. Пасивні будинки забезпечують мінімальні тепловтрати завдяки високоефективним матеріалам і конструктивним рішенням, тоді як активні будинки досягають енергетичної автономності через інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Використання бетонів із рециркульованими заповнювачами є важливим елементом обох концепцій, оскільки такі матеріали зменшують теплопровідність конструкцій, підвищують їхню енергоефективність та скорочують вуглецевий слід будівництва. Поєднання цих технологій створює основу для формування житла майбутнього, яке поєднує комфорт, енергоощадність та технологічну досконалість.

### Література

1. **Feist W.** Passive House Planning Package. Darmstadt : Passive House Institute, 2005. 150 p.
2. **Sartori I., Hestnes A. G.** Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*. 2007. Vol. 39, No. 3. P. 249–257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>.
3. **Meyer C.** The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*. 2009. Vol. 31, No. 8. P. 601–605. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.010>.
4. **Silva R. V. et al.** Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 65. P. 201–217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>.
5. **Tam V. W. Y. et al.** A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 172. P. 272–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.240>.
6. **Pacheco-Torgal F. et al.** Eco-efficient construction and building materials. Springer Series in Materials Science, 2013. 326 p.
7. **Міністерство розвитку громад та територій України.** Національна стратегія з енергоефективності будівель до 2050 року. Київ, 2020. 56 с.
8. **Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).** Енергоефективність у громадах II. Київ, 2018. 48 с.