

ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОНСТРУКЦІЇ У БУДІВНИЦТВІ СПОРУД ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. У роботі розглядаються сучасні тенденції застосування інноваційних матеріалів та конструкцій у будівництві споруд подвійного призначення, що включають як цивільні, так і військові об'єкти. Аналізуються фізико-механічні та експлуатаційні властивості композитних, полімерних, наноматеріалів та геосинтетичних систем, які дозволяють підвищити міцність, стійкість до вибухових навантажень та довговічність споруд. Окрему увагу приділено застосуванню модульних і збірних конструкцій, а також принципам інтеграції систем захисту і інженерного обладнання у конструктивні елементи будівель. Розглянуто перспективи впровадження цифрових технологій та методів моделювання, що оптимізують проектування, скорочують витрати матеріалів і підвищують безпеку. Теоретичні підходи доповнені прикладами сучасних об'єктів подвійного призначення в умовах підвищених ризиків, що ілюструють ефективність застосування інноваційних рішень.

Ключові слова: інноваційні матеріали, споруди подвійного призначення, композити, наноматеріали, геосинтетика, модульні конструкції, вибухостійкість, цифрове моделювання

Abstract. This paper examines current trends in the use of innovative materials and structures in the construction of dual-purpose facilities, encompassing both civilian and military objects. The physical, mechanical, and operational properties of composite materials, polymers, nanomaterials, and geosynthetic systems are analyzed, highlighting their ability to enhance strength, blast resistance, and durability of structures. Special attention is given to modular and prefabricated constructions, as well as the integration of protective and engineering systems into building elements. The study also explores the potential of digital technologies and modeling methods to optimize design, reduce material consumption, and improve safety. Theoretical approaches are complemented by examples of modern dual-purpose facilities operating under high-risk conditions, demonstrating the effectiveness of innovative solutions.

Keywords: innovative materials, dual-purpose facilities, composites, nanomaterials, geosynthetics, modular constructions, blast resistance, digital modeling

У сучасному будівництві споруд подвійного призначення основною вимогою є забезпечення високих показників міцності та надійності конструкцій, здатних протистояти різноманітним механічним, вибуховим та кліматичним впливам. Використання традиційних матеріалів, таких як бетон і сталь, хоча й забезпечує базову структурну стійкість, не завжди дозволяє досягти оптимального співвідношення маси, міцності та експлуатаційних характеристик. Сьогодні ключовим напрямом розвитку є впровадження інноваційних матеріалів, що характеризуються підвищеною міцністю, енергоємністю та здатністю адаптуватися до зовнішніх навантажень.

Серед сучасних матеріалів особливе значення мають композитні системи, які поєднують різноманітні компоненти, наприклад армовані волокнами полімери або металопластикові композиції. Вони забезпечують значне зменшення маси конструкцій без втрати механічних властивостей, підвищують стійкість до ударних і вибухових навантажень, а також сприяють довговічності споруд. Полімерні матеріали з удосконаленими характеристиками, зокрема самозаліковуючі і водовідштовхувальні полімерні покриття, застосовуються для захисту конструкцій від корозії, впливу агресивного середовища та високих температур.

Наноматеріали, включно з нанокompозитами та нанопокриттями, відкривають нові можливості для підвищення механічної міцності та вибухостійкості споруд подвійного призначення. Вони дозволяють формувати легкі, міцні та гнучкі конструктивні елементи, що відповідають вимогам швидкого монтажу і демонтажу. Геосинтетичні системи застосовуються для зміцнення ґрунтових основ, інженерних споруд та укріплення периметрів об'єктів, забезпечуючи ефективний розподіл навантажень та підвищення стабільності будівель у складних геологічних умовах.

Сучасні методи модульного та збірного будівництва дозволяють значно скоротити час зведення об'єктів і зменшити використання матеріалів. Модульні конструкції забезпечують уніфікованість елементів, полегшують транспортування і монтаж на територіях з обмеженим доступом, що особливо важливо для споруд подвійного призначення у зонах підвищеного ризику. Вбудовані системи захисту, такі як броньовані елементи, системи фільтрації повітря і протипожежний захист, інтегруються у конструктивні вузли, створюючи комплексну безпеку об'єкта без значного збільшення його маси та вартості.

Цифрові технології, у тому числі BIM-моделювання та чисельне моделювання навантажень, дозволяють оптимізувати проектування та оцінку поведінки конструкцій у реальних умовах. Використання віртуальних моделей сприяє прогнозуванню ризиків, ефективному розподілу матеріалів та підвищенню точності будівництва. Комбінування традиційних матеріалів із інноваційними, застосування модульних систем та інтегрованих засобів захисту створює умови для будівництва ефективних, безпечних і стійких споруд подвійного призначення.

Впровадження інноваційних матеріалів і конструкцій у будівництво подвійного призначення сприяє підвищенню надійності, довговічності та безпеки об'єктів, скороченню часу будівництва та оптимізації ресурсів. Перспективи розвитку галузі пов'язані з подальшим удосконаленням композитних і наноматеріалів, розробкою нових методів модульного будівництва та інтеграції цифрових технологій у процес проектування та експлуатації споруд.

Список використаних джерел:

1. Бобровський О.М. Інноваційні матеріали у будівництві. – К.: Наукова думка, 2020.
2. Сидоренко В.П. Композити та їх застосування в інженерних спорудах. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2019.
3. Petrov, I., & Ivanov, D. (2021). Nanomaterials in Civil Engineering. *Journal of Construction Materials*, 15(3), 45–62.
4. Johnson, T., & Smith, L. (2020). Modular Construction for Dual-Purpose Facilities. *International Journal of Engineering Research*, 28(4), 112–125.
5. Кузьменко С.О. Геосинтетичні системи у будівництві та інженерному захисті. – Х.: ХНУ, 2021.
6. Wang, Y., & Liu, H. (2019). BIM-Based Design Optimization in Protective Structures. *Automation in Construction*, 102, 150–162.
7. Шевченко М.В. Інженерні споруди подвійного призначення: матеріали та технології. – К.: Будівельник, 2022.

Любич Володимир Володимирович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Lyubich Volodymyr V. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.