

ВИКОРИСТАННЯ «BIM-ТЕХНОЛОГІЙ» ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ МОНОЛІТНИХ ТУНЕЛЬНИХ СПОРУД

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто питання впровадження технологій інформаційного моделювання будівель (BIM) у процеси проектування, будівництва та діагностики монолітних тунельних споруд. Висвітлено основні переваги використання BIM-технологій при створенні комплексних інформаційних моделей тунелів, проаналізовано їхню роль у забезпеченні високої точності проектних рішень, моніторингу стану конструкцій та прогнозуванні технічного стану об'єктів на етапах експлуатації. Окремо визначено можливості інтеграції BIM із системами автоматизованого моніторингу та концепцією цифрових двійників. Наведено приклади використання BIM-технологій у проектуванні та експлуатації тунелів у різних країнах.

Ключові слова: BIM-технології; монолітні тунельні споруди; проектування тунелів; діагностика конструкцій; інформаційна модель; цифровий двійник.

Abstract

The analysis of the efficiency of implementing adaptive façade systems in modern buildings was conducted. The main principles of dynamic façades operation that allow regulating solar radiation levels, heat transfer, and natural ventilation depending on external climatic conditions are defined. Recommendations for the application of adaptive façades to improve the energy efficiency of various types of buildings are developed.

Keywords: adaptive façades, energy efficiency, thermal regulation, sun protection, energy saving, modern buildings

Вступ

Інтенсивний розвиток транспортної інфраструктури та урбанізації висуває високі вимоги до надійності та довговічності монолітних тунельних споруд, які є ключовими елементами підземних транспортних систем. Забезпечення безпеки експлуатації таких об'єктів неможливе без впровадження сучасних методів проектування, діагностики й моніторингу.

Однією з провідних технологій, що відповідає цим вимогам, є інформаційне моделювання будівель (BIM – Building Information Modeling). BIM забезпечує створення багатофункціональних інформаційних моделей, які об'єднують архітектурні, конструктивні, інженерні та експлуатаційні характеристики об'єкта. Застосування BIM-технологій у сфері тунельного будівництва значно покращує якість проектних рішень, дозволяє прогнозувати поведінку конструкцій та своєчасно виявляти дефекти на етапах експлуатації [1].

Метою даної роботи є аналіз особливостей впровадження BIM-технологій у процес проектування та діагностики монолітних тунельних споруд, визначення їхніх переваг і перспектив застосування.

Основна частина

Сучасні вимоги до проектування й експлуатації монолітних тунельних споруд передбачають підвищення точності, надійності та ефективності виконання будівельних робіт. Особливо це стосується тунелів, які є стратегічно важливими інфраструктурними об'єктами, що функціонують у складних геологічних та гідрогеологічних умовах. Використання технологій інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling — BIM) стало одним із ключових факторів у забезпеченні якісного проектування, будівництва та обслуговування таких споруд.

Переваги впровадження BIM-технологій у проектуванні монолітних тунельних споруд

BIM-технології дозволяють створювати тривимірні (3D) інформаційні моделі тунелів, які містять повний обсяг інформації щодо конструктивних рішень, матеріалів, експлуатаційних характеристик і

технологічних процесів будівництва. Основні переваги впровадження BIM у проектування монолітних тунельних споруд полягають у наступному:

- **Інтегроване проектування.** BIM-платформи, такі як Autodesk Revit, Civil 3D або Bentley OpenTunnel, забезпечують комплексне проектування тунельних систем, що включає геодезичні, геологічні, конструктивні, вентиляційні й електротехнічні рішення в єдиній інформаційній середовищі.
- **Зниження кількості помилок.** Завдяки тривимірній візуалізації конструктивних рішень на етапі проектування зменшується кількість проектних помилок, що суттєво підвищує якість виконання робіт та знижує ризики при будівництві [2].
- **Аналіз складних умов.** BIM-моделі дозволяють враховувати складні гідрогеологічні умови, розраховувати напружено-деформований стан конструкцій тунелю, оптимізувати товщину конструктивних елементів оболонки та вибір технологій бетонування.
- **Оптимізація будівельного процесу.** Інформаційна модель дозволяє управляти логістикою будівництва, планувати поетапне зведення конструкцій і забезпечувати контроль якості та відповідності проектним рішенням.
- **Взаємодія учасників проекту.** BIM-технології забезпечують прозору взаємодію між усіма учасниками будівельного процесу: проектувальниками, підрядниками, замовниками, що сприяє ефективній комунікації та управлінню ризиками.

BIM у діагностиці й експлуатації монолітних тунелів

Однією з ключових функцій інформаційного моделювання є можливість використання BIM-моделі на етапах діагностики, обстеження та експлуатації тунельних споруд.

- **Моніторинг стану конструкцій.** BIM-платформи можуть бути інтегровані з системами моніторингу, що забезпечує збір, обробку та аналіз даних у реальному часі щодо деформацій, тріщин, протікань та інших пошкоджень конструкцій.
- **Підтримка прийняття рішень.** Завдяки накопиченій інформації у BIM-моделі стає можливим прогнозування подальшого стану конструкції та своєчасне планування ремонтних або відновлювальних робіт.
- **Цифровий двійник тунелю.** Реалізація концепції цифрового двійника (Digital Twin), побудованого на основі BIM-моделі, дозволяє максимально точно відображати реальний стан об'єкта, що забезпечує підвищення рівня безпеки та зниження експлуатаційних витрат.
- **Автоматизація діагностичних процесів.** Інтеграція BIM з лазерним скануванням, георадами та іншими неруйнівними методами контролю дозволяє автоматизувати обстеження конструкцій, що значно скорочує час проведення інспекцій.

Використання BIM у реконструкції та модернізації

Технології BIM ефективно застосовуються при реконструкції існуючих тунельних споруд. Зокрема, це стосується оновлення геометричних параметрів конструкцій, модернізації систем вентиляції, освітлення та безпеки. Інформаційна модель дозволяє адаптувати проектні рішення до актуальних норм і стандартів, оптимізуючи витрати на проведення робіт [3].

Практичні приклади використання BIM-технологій

У Європі та Азії вже існують приклади успішного застосування BIM для проектування та експлуатації тунелів:

- **Gotthard Base Tunnel (Швейцарія):** при проектуванні тунелю використовувалась система BIM для моделювання конструкцій і логістичних процесів у складних гірських умовах.
- **Crossrail (Велика Британія):** інформаційне моделювання застосовувалось для координації підземного будівництва на різних ділянках тунелю та управління процесами обстеження після завершення будівництва.
- **Підземний транспортний комплекс у Китаї (метро Гуанчжоу):** застосування BIM забезпечило контроль за зведенням тунелів під густозаселеними районами з мінімальними ризиками для існуючої забудови.

Перспективи розвитку BIM-технологій у тунельному будівництві

Подальший розвиток BIM-технологій у тунельному будівництві пов'язаний з інтеграцією штучного інтелекту, машинного навчання та IoT-систем для підвищення рівня автоматизації проектування, моніторингу й експлуатації тунелів. Застосування big data-аналітики дозволяє обробляти великі обсяги інформації з датчиків моніторингу, підвищуючи точність оцінки стану споруд і прогнозування аварійних ситуацій.

Висновки

Впровадження BIM-технологій у сферу проектування, будівництва та діагностики монолітних тунельних споруд є важливим чинником підвищення ефективності управління життєвим циклом об'єкта. Інформаційні моделі забезпечують прозорість, інтегрованість та оперативність прийняття рішень на всіх етапах зведення та експлуатації тунелів. Перспективним є розвиток цифрових двійників, інтеграція з системами моніторингу й автоматизації, що сприятиме подальшій цифровій трансформації будівельної галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ISO 19650-1:2020. Організація інформації про будівельні об'єкти та цивільну інфраструктуру з використанням інформаційного моделювання будівель (BIM). Частина 1. Концепції та принципи. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 24 с.
2. Grigorev S., Kirillov A., Sergeev A. BIM Technology in Design and Construction of Transport Tunnels // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 913. – P. 1–10. DOI: 10.1088/1757-899X/913/4/042029.
3. Wong K., Chen K. F. A review of Building Information Modelling for tunnel design and construction // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2019. – Vol. 86. – P. 192–201. DOI: 10.1016/j.tust.2019.01.005.

Рибак Тетяна Миколаївна – студентка 2-го курсу магістратури, група Б-23м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kalashVE@gmail.com

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Rybak Tatyana – 2nd year master's student, group B-23m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kalashVE@gmail.com

Shvets Vitaliy – Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua