

ІНТЕГРАЦІЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ЛІСІВ В АРХІТЕКТУРУ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ ЯК ФАКТОР СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСТ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Дослідження присвячено впровадженню технологій вертикального ландшафтного озеленення в структуру сучасних багатопверхових житлових та цивільних будівельних об'єктів. В рамках цієї роботи розглядаються архітектурно-конструктивні особливості проектування консольних залізобетонних терас, розрахунку додаткових навантажень від ґрунтового субстрату та корневих систем рослин, а також інтеграції автоматизованих систем крапельного зрошення. Створення подібних еко-хмарочосів («вертикальних лісів») спрямоване на оптимізацію мікроклімату, зниження теплового навантаження на оболонку будівлі та покращення екологічного стану міського середовища.

Ключові слова: вертикальний ліс, екологічна архітектура, Bosco Verticale, консольні тераси, автоматичне зрошення, сталий розвиток.

Abstract

The study is devoted to the implementation of vertical landscape gardening technologies into the structure of modern multi-storey residential and public building objects. Within the framework of this work, the architectural and constructive features of designing cantilevered reinforced concrete terraces, calculating additional loads from the soil substrate and plant root systems, as well as the integration of automated drip irrigation systems are considered. The creation of such eco-skyscrapers ("vertical forests") is aimed at optimizing the microclimate, reducing the thermal load on the building envelope and improving the environmental condition of the urban environment.

Keywords: vertical forest, ecological architecture, Bosco Verticale, cantilever terraces, automatic irrigation, sustainable development.

Вступ

При створенні екологічно-дружніх будинків використовуються високоефективні технології, які не тільки дозволяють знизити витрати, але й використовують поновлювані джерела енергії, забезпечуючи ефективне опалення та електроенергію за мінімальними витратами. Ці інноваційні методи не лише дозволяють зекономити кошти на опаленні та енергозабезпеченні будівлі, але і сприяють створенню енергоефективного та екологічно чистого середовища.

Однією з таких передових технологій є метод проектування висотних споруд за концепцією «вертикального лісу» (Vertical Forest), який відзначається гармонійним поєднанням інженерного каркаса штучного каменю та живих рослинних екосистем. Також зведення житлових комплексів із великими зеленими терасами допомагає швидко та якісно покращити якість повітря в умовах щільної міської забудови. Крім того, в даній роботі нами розглянуто формування конструктивних вузлів фасадів на прикладі відомого світового об'єкта Bosco Verticale у Мілані. Використання таких технологій не лише сприяє природному затіненню приміщень у літній період, але й спрямоване на створення архітектурних об'єктів, що відповідають високим стандартам екологічної сталості та вартості енергії.

Основна частина

Vertical Forest (вертикальний ліс) – це новаторський архітектурний підхід, у якому зовнішні стіни та тераси багатопверхової будівлі використовуються як майданчики для висадки дерев, чагарників та багаторічних трав'янистих рослин. Впровадження цієї концепції потребує специфічних інженерних розрахунків, спрямованих на забезпечення надійності тримальних залізобетонних конструкцій під впливом постійної ваги рослинного шару та динамічного вітрового навантаження на крони дерев [1].

Конструктивна схема будівлі передбачає наявність посиленних консольних терас із вильотом за межі основного каркаса до 3.3 метра. В об'ємі цих терас влаштовуються спеціальні залізобетонні діжки глибиною від 1.1 до 1.3 метра, які заповнюються полегшеним пористим ґрунтовим субстратом, що містить керамзитовий гравій та мінеральні добрива. Для запобігання пошкодженню бетону корневими системами, внутрішня поверхня діжок захищається багатошаровою гідроізоляцією зі спеціальними протикорневими добавками (рис. 1).



Рис.1- Загальний вигляд хмарочосів екологічного комплексу Bosco Verticale та схема влаштування фасадних діжок із зеленими насадженнями.

Головною інженерною перевагою вертикальних лісів є створення природного рослинного екрана навколо житлових приміщень. Протягом року цей екран виконує функції терморегуляції: влітку зелене листя затримує до 90% прямих сонячних променів, захищаючи бетонні стіни від перегріву та зменшуючи витрати енергії на кондиціонування приміщень на 20–30%. Взимку, після скидання листя, сонячне світло безперешкодно проникає крізь вікна, природним чином прогріваючи кімнати. Також рослинна оболонка поглинає вуглекислий газ, затримує мікрочастинки пилу та значно знижує рівень вуличного шуму в квартирах. Життєдіяльність рослин підтримується централізованою автоматизованою системою крапельного поливу, яка використовує очищені стічні води самої будівлі (сірі стоки).

Основні технічні та екологічні характеристики вертикальних лісів включають:

1. **Екологічна ефективність:** Рослинність на двох вежах еквівалентна 20 000 кв. метрів звичайного лісового масиву, здатного щорічно поглинати до 30 тонн вуглекислого газу та виділяти близько 19 тонн кисню.
2. **Навантаження на каркас:** Вага ґрунту та дорослих рослин створює додаткове постійне навантаження на консольні тераси у межах від 400 до 650 кг/кв.м.
3. **Стійкість до вітру:** Для безпеки великих дерев за умов шквального вітру застосовується підземна анкерна система фіксації кореневих комів до сталевих петель у дні залізобетонних діжок.
4. **Автоматизація:** Датчики вологості ґрунту інтегровані в єдину комп'ютерну систему керування будівлею, яка автоматично регулює подачу води та мінеральних речовин окремо для кожного дерева.
5. **Вартість:** Приблизні капітальні витрати на влаштування та експлуатацію зелених фасадів порівняно зі звичайними вентиляльованими рішеннями наведені нижче (курс дол. США 44.94 грн.).

Тип фасадної конструкції	Первинна вартість 1 кв.м	Енергозбереження будинку	Експлуатаційні витрати на рік
Вентильований керамогранітний фасад	\$120 – \$180	Базовий рівень (0%)	Мінімальні (\$3 / кв.м)
Еко-система «Вертикальний ліс»	\$320 – \$450	Високий рівень (25–30%)	Середні (\$18 / кв.м – догляд)

Таблиця 1. Порівняльний аналіз вартості фасадних систем висотних будівель

Важливим фактором є також економічна вигода у довгостроковій перспективі: високі початкові витрати на залізобетонні підсилення та висадку дорослих рослин компенсуються підвищенням ринкової вартості нерухомості бізнес-класу та суттєвим зменшенням щомісячної вартості комунальних послуг на охолодження приміщень у теплий період року.

Висновки

У сучасному цивільному та висотному будівництві впровадження концепції «вертикальних лісів» є інструментом формування якісного екологічного простору. Інтеграція живих рослин безпосередньо у конструктивну схему залізобетонного каркаса дозволяє створювати автономні енергоефективні будівлі, які не лише зменшують експлуатаційні витрати, але й активно беруть участь у регенерації екологічного балансу сучасних мегаполісів, задаючи вектор для розвитку архітектури майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Куцевич В. В., Слепцов О. С. Архітектурно-конструктивні системи екологічного будівництва: світовий досвід та перспективи. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2018. Вип. 3. С. 12–21.
2. Малік Т. В., Олійник О. П. Вертикальне ландшафтне озеленення в архітектурному просторі сучасного міста. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2020. Вип. 56. С. 204–211.
3. Проектування еко-будівель: особливості розрахунку навантажень від елементів вертикальних садів. *Архітектура та будівництво України*. 2022. № 2. С. 34–39.
4. Хмарочоси екологічного типу: конструктивні особливості та інженерне утримання італійського комплексу Bosco Verticale. *Будівельний журнал інформаційних технологій*. URL: <https://www.build-it.ua/architecture/vertical-forest-milan> (дата звернення: 17.06.2026).
5. Boeri S., Barreca G. Vertical Forest (Bosco Verticale): Architectural design and technical aspects of ecological skyscraper. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 603, No 2. P. 022015.

Білоус Дмитро Анатолійович – студент першого курсу, групи БМ-25м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, bilousd1524@gmail.com

Bilous Dmytro Anatoliyovych – first-year student of BM-25m group, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, bilousd1524@gmail.com