

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

О. І. Лугченко

**ІННОВАЦІЙНІ КОНСТРУКЦІЇ,
МАТЕРІАЛИ ТА ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського)
рівня вищої освіти денної форми навчання
зі спеціальності 191 – Архітектура та містобудування)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

УДК 620.91:691.3 (692.4)

Лугченко О. І. Інноваційні конструкції, матеріали та інженерні системи : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 191 – Архітектура та містобудування / О. І. Лугченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 69 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. О. І. Лугченко

Рецензент

О. О. Калмиков, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою будівельних конструкцій, протокол № 9 від 18 квітня 2024 року.

© О. І. Лугченко, 2025

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ТЕМА 1 ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ МАТЕРІАЛІВ, КОНСТРУКЦІЙ ТА ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ В БУДІВЛЯХ.....	6
1.1 Сутність інновацій в архітектурно-будівельній галузі України.....	6
1.2 Інноваційний підхід в архітектурно-будівельній галузі світу.....	8
1.3 Обґрунтування впровадження новітніх матеріалів, конструкцій та інженерних систем у будівлях.....	11
ТЕМА 2 НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ В АРХІТЕКТУРІ.....	13
2.1 Біобетон для вертикального озеленення фасадів.....	13
2.2 Інноваційні гідроізоляційні та теплоізоляційні матеріали з дуальними властивостями.....	19
2.3 Спеціальні лицевальні й оздоблювальні матеріали на основі зологіпсоцементних, гіпсосірчаних та гіпсополімерних композицій....	22
2.4 Високоміцне низькоемісійне енергоощадне скло для архітектурно-будівельної галузі.....	23
ТЕМА 3 ЕКОЛОГІЧНО ПОЗИТИВНЕ БУДІВНИЦТВО.....	24
3.1 Енергоефективність. Типи енергоефективних будівель.....	24
3.2 «Зелені» дахи як важливий елемент енергоефективності.....	26
3.3 Екологічна ефективність фотокаталітичного бетону, Smart- покриття.....	28
3.4 Системи протидимного захисту.....	30
ТЕМА 4 НОВІТНІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ВИДОЗМІНИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ БУДИНКІВ СТАРОГО ЖИТЛОВОГО ФОНДУ.....	31
4.1 Сучасний погляд на якість житла.....	31
4.2 Стан конструкцій будівель старого житлового фонду.....	33
4.3 Новітні конструкції для перетворення, видозміни та відновлення.....	35

4.4 Техніко-економічне оцінювання запроваджених конструктивних рішень.....	37
ТЕМА 5 ІННОВАЦІЙНІ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ СУЧАСНОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ СИСТЕМИ «МОНОФАНТ».....	38
5.1 Енергетичний підхід у проектуванні будівельних конструкцій сучасної конструктивної системи «Монофант».....	38
5.2 Конструктивні особливості будівельних конструкцій сучасної конструктивної системи «Монофант».....	39
5.3 Технології виробництва будівельних конструкцій сучасної конструктивної системи «Монофант».....	41
5.4 Закордонний досвід впровадження аналогічних конструктивних рішень.....	44
ТЕМА 6 ВПРОВАДЖЕННЯ ВІМ-ТЕХНОЛОГІЇ В АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНУ ГАЛУЗЬ УКРАЇНИ.....	47
6.1 Новий підхід до управління цифровою інформацією, що застосовується у будівництві та містобудуванні.....	47
6.2 Параметризація архітектурних рішень у ВІМ-середовищі проектування.....	49
6.3 Перспективи залучення новітніх інформаційних систем в архітектурному проектуванні.....	50
6.4 Основні світові підходи до реалізації концепції «Smart city».....	53
ТЕМА 7 КОНСТРУКТИВНІ ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ УНІКАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ СВІТУ.....	56
7.1 Нахилена башта Capital Gate в Абу-Дабі, ОАЕ.....	56
7.2 Хмарочос Tairei 101, Тайбей, Тайвань, Китай.....	60
7.3 Споруда Бурдж-Халіфа, Дубаї, ОАЕ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

ВСТУП

Розвиток архітектури та містобудування нерозривно пов'язаний із впровадженням інноваційних конструкцій, сучасних матеріалів та високотехнологічних інженерних систем. В умовах швидкого розвитку будівельних технологій та підвищених вимог до енергоефективності, екологічної безпеки та стійкості споруд, професійна підготовка архітекторів передбачає ґрунтовне освоєння сучасних методів проектування та використання передових матеріалів.

Дисципліна «Інноваційні конструкції, матеріали та інженерні системи» є важливим складником освітньої підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 191 – Архітектура та містобудування в межах освітньої та освітньо-наукової програми «Архітектура будівель і споруд». Вона спрямована на формування у студентів розуміння сучасних тенденцій у галузі будівництва, принципів проектування конструкцій та систем, що забезпечують комфорт, енергоефективність і функціональність архітектурних об'єктів.

У межах курсу розглядаються:

- новітні конструктивні рішення в архітектурі та містобудуванні;
- сучасні будівельні матеріали та їхні властивості;
- інтеграція інженерних систем у проектування будівель і споруд;
- принципи сталого будівництва та екологічно орієнтованих технологій.

Матеріал конспекту лекцій сприятиме поглибленню теоретичних знань та практичних навичок, необхідних для розробки інноваційних архітектурних рішень, що відповідають сучасним вимогам галузі.

ТЕМА 1 ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ МАТЕРІАЛІВ, КОНСТРУКЦІЙ ТА ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ У БУДІВЛЯХ

1.1 Сутність інновацій в архітектурно-будівельній галузі України

Будівельна індустрія традиційно належить до найконсервативніших галузей сучасної економіки. Відносно низька ефективність будівельної індустрії на тлі більшості інших галузей багато в чому пояснюється тим, що вона є багатоскладною галуззю, різні сегменти якої мають велику автономію по відношенню один до одного, тоді як загальний рівень системної інтеграції цих складових, особливо в частині житлового будівництва, доволі незначний (цим, зокрема, пояснюється й той факт, що інновації в житловому будівництві, зазвичай впроваджуються з помітним відставанням за часом по порівнянню з комерційним сегментом).

Крім того, ця «інноваційна повільність» будіндустрії загалом також пов'язана й з тим, що вона також доволі жорстко вбудована в ще більш широкий вартісний ланцюжок, створюваний ринком нерухомості, який аж ніяк не стимулює радикальні технологічні інновації.

Один із найбільш відчутних проявів цього технологічного консерватизму – украй низький рівень інвестицій в у будівельну індустрію порівняно з іншими промисловими секторами (у середньому у провідних промислово розвинених країнах середня питома вага інвестицій у будівництві варіюється в діапазоні від 0,3 % до 0,5 % від загального обсягу продажів, тоді як у більшості інших промгалузей цей усереднений показник становить 3–4 %).

Справжньою «раковою пухлиною» цієї галузі також є колосальні обсяги відходів виробництва в комбінації з дуже низькою енергоефективністю й украй високим рівнем загального енергоспоживання. Зокрема, у Сполучених Штатах, на початку нового тисячоріччя на будівельні відходи доводилося до 60 % від сумарного обсягу твердих непромислових відходів, при цьому американська будіндустрія загалом споживала 70 % виробленої в країні електроенергії й була джерелом 38 % атмосферних

викидів вуглекислоти. У середньому в сумарних витратах будівельних робіт у галузі, згідно з низкою оцінок, приблизно 30 % припадає на різні фактори, такі як виробничі збої й помилки, невитрачені матеріали, недовикористання робочої сили й т.п.

Схожі критичні коментарі й в іншому дослідженні, проведеному в 2009 році на замовлення ЄС: «У цей час на різні будинки й спорудження доводиться близько 40 % від загального енергоспоживання в Європі й майже третина від сукупних викидів CO₂ у регіоні. При цьому європейська будіндустрія загалом щорічно споживає мільйони тон непоновлюваних природних ресурсів і виробляє 22 % від загального обсягу промислових відходів. Необхідність радикального реформування будіндустрії сьогодні диктується безліччю різних факторів. Засилля в галузі усталених роками виробничих методів і процесів та інерційність її законодавчого регулювання накладають серйозні обмеження на впровадження більш ефективних технологій і рішень. Крім того, завдяки іманентному поділу проектно-конструкторської стадії властивому будівельного процесу, а також відсутності загальної системної інтеграції в галузі, значна частина пропонованих у ній нових ефективних технологічних рішень зазвичай залишається на стадії дослідних зразків і макетів» [3].

Проте, незважаючи на всі згадані вище дуже серйозні проблемні зони, у цей час продовжують завзято говорити про світовий зліт у будівельній індустрії. Принаймні, достатньо широко розповсюджена думка про те, що будівельна галузь за останнє сторіччя практично не змінилася й продовжує здебільшого використовувати сильно застарілі технології й матеріали, навряд чи відповідає дійсності. Причому, навіть якщо ми візьмемо як приклад її формально найбільш консервативну складову, житлове будівництво, незважаючи на те, що більша частина нових житлових будинків усе ще зводиться «по-дідівськи» безпосередньо на місці (на будмайданчику), а не по збірно-модульному (офсайтному) принципу, практично всі ключові компоненти будівельного

процесу (як використовувані базові будматеріали, так і виробничі практики) зазнали за останні десятиріччя доволі значну трансформацію.

Зокрема, достатньо лише коротенько згадати про застосування різноманітних ізоляційно-утеплювальних матеріалів, решітчастих кроквяних ферм, стінових панелей, заводських збірних несущих конструкцій, та, зрештою, найбільш енергоефективних порівняно з попередніми віконними рамами та дверима (зрозуміло, перелік будівельних інновацій можливо продовжити).

1.2 Інноваційний підхід в архітектурно-будівельній галузі світу

На думку авторитетного британського журналу «Builder», середні темпи впровадження технологічних інновацій у будівельній галузі (принаймні, у провідних промислово розвинених країнах світу) за останнє десятиріччя суттєво зросли, багато в чому завдяки підсиленню зовнішнього економічного тиску й збільшенню суспільної уваги до різних факторів, пов'язаних із захистом навколишнього середовища (насамперед, з жорсткими вимогами щодо екологічності й ефективності енергоспоживання).

У спеціальній доповіді провідної американської дослідницько-консалтингової фірми у сфері інжинірингу й будівництва «FMI Corp.» відзначається, що післякризовий 2009 р., можливо, став горезвісною «точкою перегину» у будівельній індустрії. Економічні потрясіння останніх років неминуче повинні призвести до швидких драматичних змін у секторі АЕС, які будуть викликані кумулятивним ефектом від декількох найважливіших зовнішніх і внутрішніх факторів (процеси світової глобалізації, швидкий зріст впливу різних соціальних і екологічних вимог і нормативів, збільшення пресингу з боку різних держструктур і, нарешті, природне прагнення основних гравців галузі до поліпшення загальних економічних результатів у будіндустрії). І, як тільки це зрушення почне себе проявляти повною мірою, власники будівельних об'єктів, а також генеральні підрядники й субпідрядники будуть просто змушені звернути пильну увагу на технологічну

складову, яка стане найважливішим каталізатором росту «загальнокомандної взаємодії» і ефективності здійснення їх спільних проєктів.

Ще одним дуже істотним фактором, який повинен у найближчі кілька десятиріч визначально вплинути на темпи технологічного відновлення галузі, може стати прогресуюче виснаження запасів низки непоновлюваних природних матеріалів, що активно використовуються у світовій будіндустрії. Наприклад, згідно з недавніми оцінками, наданими фахівцями Геологічної служби США (United States Geological Survey study), за умови збереження поточних середньорічних темпів приросту світового видобутку (близько 2 % щорічно), уже протягом життя наступних двох-трьох поколінь будуть практично вичерпані земні запаси багатьох найважливіших металів і мінералів: різкий дефіцит свинцю й олова може виникнути протягом найближчих 15 років, міді – через 20 років, залізної руди й бокситів – через 60–65 років. У світлі цих тривожних прогнозів, зокрема напрошується цілком очевидний висновок і для окремо взятої будівельної галузі, який зводиться до необхідності здійснення в ній у достатньо обмежених тимчасових межах повномасштабної реорганізації основних виробничих процесів (зокрема пошуку механізмів швидкого зниження питомого споживання базових сировинних матеріалів) і різкої активізації зусиль із розроблення альтернативних технологічних рішень і створення нових матеріалів.

Іншими словами, горезвісні «будинки майбутнього» по цілком об'єктивних причинах повинні будуть стати не тільки значно більш енерго- і ресурсоефективними, але й, у багатьох випадках, повинно зовсім змінитися саме «матеріальне наповнення» цілого ряду їхніх найважливіших елементів.

І, як відзначають багато експертів будівельної галузі, сировинний дефіцит, що чітко позначився на початку XXI століття, тотально становить вже сьогодні одну із самих значних проблем, з якими зіштовхнеться весь сегмент АЕС (архітектори-проектувальники, будінженери й власне будівельники) за всю свою багатовікову історію.

Втім, на думку найбільш оптимістично налаштованих фахівців будівельної індустрії, вже в першій декаді нового сторіччя відбувся потужний сплеск у сфері розробки й впровадження нових матеріалів і технологій, причому дуже багато із цих інноваційних матеріалів і продуктів мають доволі цікаві й перспективні для майбутнього використання в галузі фізичні й хімічні характеристики. Крім того, додатковим стимулом для технологічної трансформації у секторі будматеріалів в останні роки стали й різні фактори, пов'язані з раціональним природокористуванням (насамперед – зростаюча жорсткість вимог з боку державних регулюючих органів з екологічної безпеки й енергоефективності для споруджуваних будинків і інфраструктурних об'єктів. У підсумку, у цей час у цілому в галузі спостерігається навіть певний надлишок перспективних технологічних можливостей.

Нарешті, ще однією найважливішою тенденцією, яка, на думку багатьох експертів, останнім десятиріччям особливо помітно вплинула на технологічний розвиток будіндустрії, є прискорене впровадження й інтеграція комплексного комп'ютерного моделювання на всіх стадіях будівництва (розробка, планування й власне будівельний процес). І якщо на самому ранньому етапі застосування цих моделей проєктувальниками скоріше виглядало чимсь на кшталт ефектного рекламно-маркетингового трюку, розрахованого на залучення найбільш перспективних клієнтів, то сьогодні комплексне комп'ютерне моделювання вже впевнено перейшло в розряд мейнстримної практики, ігнорування якої в реальному бізнес-процесі небезпечно значним ризиком виявитися у хвості конкурентної гонки: за деякими оцінками, ефективне застосування цього проєктного заходу дозволяє заощаджувати в середньому 20–30 % від загальної собівартості будівництва.

При цьому справжній бум в останні кілька років спостерігається у використанні в будіндустрії новітнього різновиду автоматизованого комп'ютерного моделювання – так званої Вім-моделі (Building Information Modeling) – системи інформаційного моделювання будівельних об'єктів на базі тривимірної візуалізації фізичних об'єктів, а також параметричного

(взаємозалежного) обліку всіх архітектурно-конструкторських, технологічних, фінансово-економічних даних і інформації про будинки й інші будівельні об'єкти, яка фактично прийшла на зміну більш спрощеній системі автоматизованого (комп'ютерного) проєктування CAD (computer-aided design).

Варто особливо підкреслити, що хоча сама ВіМ-система була спочатку розроблена ще в середині 1990-х рр., архітектори, інженери-проєктувальники й будпідрядники стали активно використовувати надавані нею універсальні можливості лише в останні роки. Наприклад, загальна кількість американських будівельних і проєктних компаній, що використовують ВіМ, виросла з 28 % у 2007 р. до 49 % у 2009 р. і до 71 % у 2012 р., і, що також доволі цікаво, у 2012 р. головними користувачами ВіМ у США стали будівельні підрядники (тобто архітектурні фірми відійшли на другий план). Крім того, активно почали впроваджувати ВіМ-моделі в реальну практику й офіційні влади деяких штатів США. Наприклад, у 2010 р. у штатах Вісконсін і Техас були подані загальні рекомендації й базові стандарти їхнього подальшого обов'язкового використання при розробці фінансованих регіональними бюджетами нових будівельних проєктів, а пізніше аналогічні кроки були зроблені й у цілому ряді інших американських штатів, а також на федеральному рівні.

1.3 Обґрунтування впровадження новітніх матеріалів, конструкцій та інженерних систем у будівлях

Обґрунтування впровадження новітніх матеріалів, конструкцій та інженерних систем у будівлях полягає в низці вагомих технічних, економічних, екологічних і соціальних переваг, які вони надають у сучасному будівництві. Розглянемо основні причини та аргументи:

– підвищення енергоефективності: нові матеріали та інженерні системи допомагають зменшити енергоспоживання будівель. Наприклад, сучасні теплоізоляційні матеріали дозволяють мінімізувати теплові втрати взимку та запобігати перегріву влітку. Використання енергоефективних інженерних

систем, таких як системи вентиляції з рекуперацією тепла, енергоефективні вікна, сонячні панелі та теплові насоси, дозволяють значно знизити витрати на опалення, кондиціонування та електроенергію;

– зниження впливу на довкілля: сучасні будівельні матеріали можуть бути більш екологічними, такими, як ті, що виготовляються з відновлюваних або перероблених ресурсів. Також нові конструкції знижують вуглецевий слід будівлі. Наприклад, будівлі, спроектовані з урахуванням пасивних методів обігріву та охолодження, мають менший вплив на довкілля;

– забезпечення безпеки та довговічності: новітні конструкційні матеріали, такі як високоміцні бетони, композити або спеціальні сталі, підвищують стійкість будівель до навантажень, зокрема сейсмічних, вітрових та інших. Це знижує ризики для мешканців та збільшує термін експлуатації будівлі без значних ремонтів;

– покращення комфорту та здоров'я мешканців: інноваційні інженерні системи, такі як розумні системи клімат-контролю, інтелектуальні освітлювальні системи, системи фільтрації повітря і води, покращують рівень комфорту, здоров'я і благополуччя людей. Наприклад, автоматизовані системи вентиляції можуть забезпечувати оптимальний рівень вологості і кисню в приміщеннях;

– економічні вигоди: хоча початкові витрати на впровадження нових технологій можуть бути вищими, з часом вони окупаються через зниження експлуатаційних витрат (менша кількість енергії, води, обслуговування). Енергоефективні будівлі зазвичай мають більшу вартість на ринку нерухомості, що також сприяє інвестиційній привабливості;

– гнучкість та адаптивність: новітні конструкції дозволяють створювати модульні та легко змінювані будівлі. Це дозволяє адаптувати приміщення до нових функціональних потреб із мінімальними витратами та без необхідності масштабних реконструкцій;

– впровадження інтелектуальних систем: системи автоматизації будівель (BMS – Building Management Systems) дозволяють управляти всіма інженерними системами через єдиний інтерфейс, що значно полегшує контроль, оптимізує використання ресурсів і підвищує енергоефективність.

Впровадження новітніх матеріалів, конструкцій та інженерних систем у будівництві є важливим кроком на шляху до створення енергоефективних, екологічно чистих і безпечних будівель, що задовольняють потреби сучасного суспільства. Це інвестиція у майбутнє, яка сприяє збереженню ресурсів, зниженню впливу на довкілля та підвищенню якості життя людей.

Далі вибірково розглянемо найбільш перспективні й цікаві інноваційні матеріали, які або за останні роки вже встигли себе добре зарекомендувати в будівельній галузі, або мають гарні шанси на те, щоб одержати в ній у найближчому майбутньому широке практичне застосування.

ТЕМА 2 НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ В АРХІТЕКТУРІ

2.1 Біобетон для вертикального озеленення фасадів

Бетон – друга по загальних обсягах споживання людською цивілізацією (після води) субстанція, іншими словами, він є найактивніше використовуваним зі штучно створених людьми матеріалів. Наприклад, у середині минулого десятиліття у світі щорічно проводилося в цілому близько 7 куб. кілометрів бетону, тобто на кожного жителя Землі доводилося більше 1 кубометра цього продукту.

Настільки колосальні обсяги виробленого людством бетону і його масове поширення в будівельній індустрії, крім усього іншого, роблять цей матеріал найважливішим елементом процесу, що чітко позначився в останні роки, прискореної «екологізації» будматеріалів.

І хоча бетон фактично не можна вважати суперзабруднювальним матеріалом, завдяки настільки більшим масштабам його виробітку на частку

бетону (точніше, його ключової хімічної складової – портландцементу) щорічно доводиться від 5 % до 10 % сукупних викидів вуглекислоти в атмосферу.

У тому, що стосується екологічної сторони питання, багато із сучасних підходів до створення «більш зелених» різновидів бетону ґрунтуються на спробах тим або іншим способом зменшити (повністю усунути) присутність у ньому портландцементу, – або розбавляючи його різними природними й/або штучними домішками (наприклад, зольним пилом), або взагалі замінюючи традиційний портландцемент на інші види цементу, для виробництва яких потрібно значно менше теплової енергії.

Одним з найбільш великих дослідних центрів, який протягом багатьох років займається розробкою більш «дружелюбних» стосовно навколишнього середовища нових типів бетону, а також створенням інженерно-модифікованих його різновидів зі специфічними властивостями, є Concrete Sustainability Hub, CSH (що можна умовно перевести як «Центр по екологічно раціональному бетону») при Массачусетському технологічному інституті в Бостоні (MIT). Фахівці цього центру вперше у світі змогли точно штучно змоделювати структуру бетону на молекулярному рівні (а в найближчій перспективі розраховують вийти й на атомарний рівень), що дозволило їм знайти ряд ефективних методів створення більш міцних, довговічних і екологічних бетонів, і виявити ключові механізми наступної цілеспрямованої зміни його різних властивостей і практичного призначення. Таким чином, у швидкому майбутньому з бетоном можна буде проробляти ті ж довільні модифікації, які вже давно стали можливими стосовно тієї ж сталі або скла.

Досягнутий фахівцями дослідного центру MIT глибокий рівень теоретичного розуміння фізико-хімічних властивостей бетону тепер повинен бути «підхоплений» провідними гравцями будівельної індустрії для здійснення подальших масштабних практичних експериментів: за оптимістичними розрахунками керівників центру CSH, перші комерційні зразки «нового бетону» можуть з'явитися вже протягом найближчих декількох років.

Втім, навіть якщо тимчасово залишити осторонь цей, безумовно, магістральний напрям наукових досліджень, не можна не відзначити, що прогрес у сфері вдосконалювання якості звичайного бетону за останні кілька десятиріч був значним. Найяскравішим прикладом того, наскільки надійними й міцними стали сучасні бетоновміщувальні будівельні структури, можна вважати нещодавно зведену вежу-хмарочос Burj Khalifa у Дубаї (ОАЕ), найвищий 828-метровий будинок у світі (що більш ніж на 300 метрів вище, ніж у попереднього рекордсмена, хмарочоса Таїреї 101 на Тайвані). Зокрема, спеціально для Burj Khalifa була розроблена особлива марка бетону, здатна довгий час витримувати температуру до +50 °С, і, що особливо показово, основний несучий каркас цієї вежі був повністю виконаний із залізобетону, тоді як в Таїреї 101 він був сталевим.

Крім того, протягом останнього десятиріччя різними дослідницькими групами була розроблена велика кількість нових типів і видів бетону й цементу, що мають доволі незвичайні й нетипові властивості й характеристики. Серед цього різноманіття можна окремо відзначити такі цікаві нові різновиди.

У 2005 р. дослідники з Мічиганського університету (США) створили «гнучкий бетон», який, відповідно до їхніх тверджень, у 500 раз більш резистентний до тріщиноутворення порівняно із традиційним бетоном і до того ж приблизно на 40 % легше останнього.

У тому ж 2005 р. групою португальських архітекторів і дизайнерів з Лісабона був розроблений Betao Organico (органічний бетон). Цей екзотичний різновид бетону фактично є гібридною комбінацією органічних і неорганічних матеріалів, що дозволяє виростати на своїй поверхні різними видами живої рослинності: завдяки тому, що бетон зберігає усередині себе воду, він може використовуватися як своєрідну «енергетичну батарею» зелену рослинність, що підживлюється водою у посушливий період. Таким чином, португальським розроблювачам удалося створити дивний симбіозний продукт, який, мабуть, можна ще назвати «травобетоном».

Трохи раніше, у 2001 р., угорським архітектором Ароном Лошонци та групою вчених із Технічного університету Будапешта був створений Litrascon (скорочення від «light transmitting concrete») – світлопрозорий бетон. Це новий тип бетону, що складається із дрібнозернистого бетону з 5 %-ю оптоволоконною домішкою. Дозоване просочення бетону оптоволоконним дозволяє сонячному світлу достатньо вільно (до 20-метрової товщини стін) проходити як зовні усередину приміщення, так і зсередини назовні. Причому, що показово, незважаючи на свої незвичайні характеристики, Litrascon анітрошки не уступає звичайному бетону по міцності.

Нарешті, особливо цікавим є новий вид бетону, розроблений фахівцями невеликої австралійської хайтек-компанії «Тесесо», – Porecocrete (Porous Concrete), тобто пористий бетон. Це – екологічно чистий бетонокомпозит, створенню якого, зі свого боку, передувала інша інноваційна розробка «Тесесо», – екоцемент, що поглинає вуглекислоту з навколишньої атмосфери. Найважливішою композиційною складовою австралійського екоцементу є хімічно активна палена магнезія, завдяки додаванню якої й відбувається регулярна абсорбція (і наступне затвердіння) CO_2 , а також води. Причому, крім магнезії до складу екоцементу також можуть безболісно входити й інші корисні домішки (наприклад, той же зольний пил, шлаки, пластик і т. п.), його ключова властивість, здатність до поглинання CO_2 , при цьому зберігається.

Пористий бетон (Porecocrete) потенційно також може стати основним кінцевим продуктом для екоцементу. Зокрема, на думку багатьох експертів, головним потенційним напрямком практичного використання для пористого бетону будуть у найближчому майбутньому різні дорожні покриття (насамперед міські пішохідні тротуари). Завдяки наявності безлічі пор у цьому бетонокомпозитному матеріалі, що зберігають відносну прохолоду навіть при дуже жаркій, сухій погоді, він стане вигідною альтернативою стандартним дорожнім покриттям, до складу яких входять різні бітумні матеріали, асфальт або той же звичайний портландцемент.

У 1995 році О. Гілітт вперше запропонував нову концепцію у сфері екологічних досліджень будівельних матеріалів, яка визначає біорецептивність як властивість матеріалу бути колонізованим живими організмами. Якщо рослини здатні вирости в паростки і вижити протягом деякого часу, можна вважати, що матеріал є біорецептивним для вищих рослин. Отже, біорецептивність також може бути визначена як сукупність властивостей матеріалу, які сприяють створенню, закріпленню і розвитку флори і/або фауни. Наприклад, у кам'янистих матеріалах це стосується переважно таких властивостей, як жорсткість, пористість, вологість і хімічний склад поверхневого шару, який визначає рН. Таким чином, ці три властивості визначають біорецептивність кам'янистого матеріалу.

Проблема покращення екологічного стану великих міст є однією з головних для сталого розвитку сучасного суспільства. Збільшення урбаністичних регіонів та одночасне зменшення зелених зон, забруднення повітря спричинене збільшенням промислових викидів, вимагає нових підходів у вирішенні проблеми збільшення зелених насаджень. Тому велика увага приділяється такому нестандартному підходу вирішення цієї проблеми, як озеленення покрівель та створення вертикальних зелених фасадів. Оскільки створення систем зелених фасадів із використанням гідропоніки або складних конструкційних систем є складним та дуже дорогим, в останнє десятиріччя набула великої популярності концепція створення біорецептивних будівельних матеріалів, які можуть слугувати безпосереднім субстратом для росту таких живих організмів, як криптогами, до яких відносяться: лишайники, мохи та водорості. Біорецептивні будівельні матеріали, що використовувалися до сьогодні, є дорогими, складними у виробництві та застосуванні і не показали значної ефективності.

Доломітові в'язучі отримують шляхом замішування каустичного доломіту розчином хлориду магнію або природного мінералу бішофіту. Отримання таких в'язучих має низку переваг порівняно з традиційним портландцементом: енергетичні (температура випалу каустичного доломіту

майже у 2 рази менше, 700 °C та 1 400 °C, відповідно); технологічні (однокомпонентність суміші та простота технології); екологічні (присутність бішофіту в матеріалі створює в приміщенні природну іонізацію, атмосферу, наближену до умов морського узбережжя).

Внаслідок проведених досліджень виявлено, що доломітова цегла характеризується наявністю біорецептивних властивостей і може стати основою для отримання особливого типу біологічних бетонів, який сприяє росту пігментованих організмів. Такий біобетон можна використовувати для оформлення садів або парків і як екологічно раціональний спосіб гармонізації будівель із навколишнім середовищем. Застосування біобетонів має низку переваг (табл. 1).

Отже, в умовах щільної забудови сучасних мегаполісів біобетони можуть застосовуватися для вертикального озеленення фасадів будівель, сприяючи збереженню зелених зон і відновленню деградованих територій, не займаючи додаткового простору, покращуючи міське середовище, поліпшуючи біорізноманіття, управління зливовими водами, якість повітря і зменшуючи парниковий ефект.

Таблиця 1 – Переваги застосування біобетонів

Технологічні	Екологічні	Естетичні
Немає потреби в складних конструкціях із субстратом або систем гідропоніки	Біобетон поглинає вуглекислий газ, завдяки рослинному покриву	Добре поєднується з іншими видами оздоблення
Коріння рослин не руйнують будівель	Знижує вміст CO ₂ в атмосфері, виділяючи при цьому кисень	Широкі можливості для фітодизайну
Біобетон підтримує та стимулює ріст біологічних організмів безпосередньо на власній поверхні	Є біоіндикатором ступеня забруднення та екологічного стану навколишнього середовища	Можливість вибору певних ділянок на фасаді, які підлягають декоративному озелененню

2.2 Інноваційні гідроізоляційні та теплоізоляційні матеріали з дуальними властивостями

На сьогодні більшість теплоізоляційних матеріалів є багатокомпонентними системами, тому перенесення теплоти в них залежить від теплопровідності твердої фази, від конвекції і теплопровідності газу в порах і випромінювання в них. Відносний внесок цих складових різний залежно від пористості матеріалу. Передача теплової енергії відбувається спонтанно від однієї ізотермічної поверхні до іншої в напрямку вирівнювання температур від високих до низьких. Теплопередача може виконуватися за допомогою конвекції, теплового випромінювання або теплопровідності. Оскільки в твердих тілах теплопередача здійснюється завдяки переміщенням фононів (фонон є квант коливального руху атомів кристала) або електронного газу по кристалічній решітці, то метали, що мають велику кількість вільних електронів і досконалу кристалічну решітку, характеризуються максимальною теплопровідністю. Теплоізоляційні матеріали, що становлять аморфні або субмікрокристалічні структури, мають незначну кількість вільних електронів, тому тепла енергія передається в результаті фонон-взаємодій. Коливання в некристалічних твердих тілах мають ангармонічний характер внаслідок затухання поздовжніх пружних хвиль у процесі їхнього поширення. Здебільшого, традиційна ізоляція не має екрана, що відображує тепловий потік, та не забезпечує захист будівлі від втрат тепла, які обумовлені тепловим випромінюванням. Масивні утеплювачі мають пряму залежність від товщини їхнього шару.

Особливий інтерес становлять теплоізоляційні матеріали, які виготовляються у вигляді сухих будівельних сумішей з неорганічного в'язучого і мінерального або органічного наповнювача, так звані теплі штукатурки (далі – ТШ). Ці матеріали одночасно виконують функції теплоізоляції та оздоблення. ТШ зручно застосовувати на існуючих будівлях, зокрема під час реконструкції і реставрації історичних об'єктів з багатим декором, як додаткове утеплення. Штукатурку неможливо замінити під час

нанесення утеплювачів на криволінійних поверхнях фасадів, арок, архітектурних деталях, укосах вікон, похилих поверхнях. За необхідності її можна використовувати як внутрішню теплоізоляцію за умови облаштування пароізоляційного бар'єра.

Оптимальним матеріалом, що зупиняє теплове випромінювання, є теплоізоляція з високою відбивною і малою випромінювальною здатністю. Відомо, що введення у ТШ наповнювачів зі скляних (керамічних) порожнистих мікросфер дозволяє зменшити теплопровідність, створювати тепловідбивні покриття, надавати антиконденсаційні властивості, поліпшити шумоізолювальні властивості, зменшувати вагу покриття. Підбір співвідношення кількості і розмірів наповнювача в об'ємі теплоізоляційного покриття дозволяє збудувати в шарі завтовшки 1 мм рідкої теплоізоляції більше 10 відбиваючих екранів з лав мікросфер. Така кількість екранів забезпечує до 50 % відбивання теплового потоку, що падає на них.

Масове поширення в будівельній індустрії спеціалізованих теплоізоляційних матеріалів і продуктів, спостережуване в останні роки, створило для найбільш активних гравців цієї галузі дуже серйозні потенційні можливості в галузі оптимізації базових показників енергоефективності.

Достатньо лише швидко перелічити найбільш перспективні інноваційні матеріали й технологічні методи, що активно впроваджуються у цій сфері, такі як пінополістирол, акустичні мембрани, пароповітряні захисні шари, різноманітні скловолоконні ізоляційні системи і т. д., для того щоб дійти очевидного висновку про те, що за допомогою вмілого комбінування цих ізоляційних матеріалів і технологій будівельні компанії тепер мають куди більший арсенал для гнучкого керування й контролю над енергоємністю.

Наприклад, одним з відносно недавніх і дуже перспективних трендів у цьому сегменті стало масове впровадження конструктивних теплозахисних панелей (Structural Insulated Panels, SIP). Ці нові системи утеплення стін складаються із твердих піноізоляційних аркушів, що прокладаються упереміш із шарами з орієнтовано-стружкових плит, ОСП. У результаті цієї комбінації

двох різних матеріалів досягається висока конструкційна міцність стінової ізоляції й, крім того, оскільки практичні різновиди SIP мають різну товщину, це дозволяє доволі широко варіювати теплоопір ізоляційного покриття (R-Value, – у діапазоні від 13,5 до 25). Нарешті, конструктивні теплозахисні панелі можуть також використовуватися як важливий елемент покрівельних покриттів будинків, зокрема дозволяючи конструювати високі стелі перекриття із балок.

Ще одним матеріалом, що також набрав останнім часом значну популярність у галузі комбінованого типу теплоізоляції, є незнімна опалубка із гранульованого пінополістиролу (англ. назва – Insulated Concrete Forms, ICF). Ця технологія була вперше запатентована в США ще наприкінці 60-х років XX століття, однак її масове впровадження в будіндустрії відбулося значно пізніше. ICF має прекрасні енергозберігаючі характеристики, невелику вагу, високу конструкційну міцність і забезпечує відносну простоту опоряджувальних робіт.

Основними різновидами ICF у цей час є панелі з пінополістиролу, з'єднані стяжками з поліетилену або поліпропілену, а також з інтегрованими твердими елементами з поліпропілену або поліетилену. Крім того, останнім часом стали використовуватися також панелі ICF, армовані скловолокном, що виготовлені із фібробетонів. Відзначимо також, що, на відміну від звичайної знімної опалубки, незнімна ICF-опалубка не тільки використовується як ефективний утеплювач, але й не несе ніякого конструкційного навантаження.

Окремого згадування в цій категорії інноваційних будматеріалів, безумовно, також заслуговує нове покоління енергоефективних теплоізоляторів – вакуумні ізоляційні панелі (VIP), які були споконвічно орієнтовані на поліпшення ізоляції в тих областях, де потрібна висока термостійкість, але при цьому простір доволі обмежений. Причому, що примітно, основні фізичні принципи цього типу теплоізоляції були також, як і у випадку з ICF, розроблені ще в 60-ті роки XX століття, однак масове їхнє впровадження в будіндустрії стало відбуватися декількома десятиріччями пізніше. Застосування в цих панелях дрібнодисперсних пористих матеріалів

дозволяє розв'язати завдання створення утеплювачів з надзвичайно малим значенням коефіцієнта теплопровідності. У процесі передачі тепла в пористих порошкових структурах значну роль відіграє газ, що перебуває в порах. Чим менше розміри пор або порожнеч матеріалу, тим краще його теплофізичні властивості. У цей час основними складеними матеріалами для вакуумних панелей є пінополістирол, пінополіуретан, димний кремнезем, а також різні аерогелі.

Відзначимо також, що, по оцінках канадських фахівців, VIP можуть забезпечувати майже в 10 раз більш високу термічну ефективність порівняно із традиційними теплоізоляційними матеріалами. Однак, справедливості заради, тут необхідно уточнити, що більш активне застосування VIP у будівництві поки стримується через невизначеність, що зберігається, у принциповому питанні про те, наскільки надійну й довготривалу термоізоляцію забезпечує вакуумна оболонка вже після безпосередньої установки цих панелей.

2.3 Спеціальні лицевальні й оздоблювальні матеріали на основі зологіпсоцементних, гіпосірчаних та гісополімерних композицій

Спеціальні лицевальні та оздоблювальні матеріали на основі зологіпсоцементних, гіпосірчаних та гісополімерних композицій є інноваційними будівельними матеріалами, які мають широке застосування у будівництві та ремонті. Ці матеріали поєднують у собі властивості гіпсових, цементних і полімерних сполук, забезпечуючи високу міцність, стійкість до зовнішніх впливів та естетичний вигляд поверхонь. Основні компоненти:

- зологіпсоцементні композиції – суміші, у яких використовується гіпс, цемент і зола. Вони забезпечують високу міцність і стійкість до вологи та температурних змін, що робить їх ідеальними для зовнішнього застосування;

- гіпосірчані композиції – матеріали, у яких поєднуються гіпс та сірка. Сірка надає матеріалу додаткової стійкості до агресивних хімічних середовищ, таких як кислоти, що важливо для використання у промислових умовах;

– гіпсополімерні композиції – це матеріали, до складу яких входять полімери, що значно покращують еластичність, адгезію та стійкість до механічних пошкоджень. Використовуються для внутрішніх оздоблювальних робіт, забезпечуючи гладкість і естетичність поверхонь.

Основні переваги цих матеріалів:

- висока швидкість схоплювання та затвердіння;
- стійкість до вологи, температурних перепадів та агресивних середовищ;
- гарні тепло- та звукоізоляційні властивості;
- легкість нанесення і можливість створення гладких та декоративних поверхонь.

Ці матеріали підходять як для внутрішніх, так і для зовнішніх робіт, що робить їх універсальними та зручними у використанні.

2.4 Високоміцне низькоемісійне енергоощадне скло для архітектурно-будівельної галузі

Високоміцне низькоемісійне енергоощадне скло є передовим матеріалом для архітектурно-будівельної галузі, який поєднує в собі кілька ключових характеристик, таких як міцність, енергоефективність та екологічна безпека. Таке скло використовується у сучасних будівельних проєктах для забезпечення комфорту та зменшення витрат на опалення та охолодження будівель.

Основні характеристики та технології:

- висока міцність: скло виготовляється з використанням спеціальних технологій загартування або ламінування, що забезпечує підвищену стійкість до механічних пошкоджень, ударів і вібрацій. Може використовуватися в місцях із підвищеними вимогами до безпеки, таких як фасади хмарочосів, балкони та вікна висотних будівель;

- низькоемісійне покриття (Low-E): має спеціальне металеве покриття, яке мінімізує втрати тепла через вікна в зимовий період і відображає тепло назовні влітку. Забезпечує ефективне зниження споживання енергії на опалення та кондиціонування, зменшуючи витрати на енергоспоживання;

– енергозбереження: завдяки низькій теплопровідності, скло допомагає зберігати тепло в приміщенні в холодну пору року і не пропускає зайве тепло влітку, що сприяє підтримці комфортної температури всередині будівлі. Використання такого скла допомагає досягти високих стандартів енергоефективності та зменшити вуглецевий слід будівлі;

– екологічність: сприяє зниженню споживання енергії і тим самим допомагає зменшити викиди парникових газів. Матеріали для виготовлення такого скла безпечні для здоров'я людей і навколишнього середовища.

Переваги використання:

– зниження енерговитрат: завдяки енергоощадним властивостям, скло знижує витрати на опалення та кондиціонування будівель;

– комфортні умови: скло мінімізує відблиски та підтримує комфортну температуру в приміщеннях незалежно від сезону;

– довговічність: високоміцне скло має тривалий термін експлуатації та стійке до погодних умов і механічних пошкоджень;

– акустична ізоляція: скло може мати покращені звукоізоляційні властивості, що особливо актуально для будівель у міських умовах.

Застосування:

– фасади та вікна хмарочосів і офісних будівель;

– прозорі покрівлі, зимові сади, скляні перегородки;

– будівлі з високими вимогами до енергоефективності, зокрема пасивні будинки.

Високоміцне низькоемісійне енергоощадне скло є важливим елементом сучасних архітектурних рішень, забезпечуючи баланс між естетикою, комфортом і екологічністю.

ТЕМА 3 ЕКОЛОГІЧНО ПОЗИТИВНЕ БУДІВНИЦТВО

3.1 Енергоефективність. Типи енергоефективних будівель

Енергоефективність – це здатність будівлі, системи або пристрою використовувати енергію максимально ефективно, тобто з мінімальними

втратами. У контексті будівництва та архітектури енергоефективність передбачає використання технологій і матеріалів, які зменшують споживання енергії на обігрів, охолодження, освітлення тощо, що дозволяє знизити витрати на експлуатацію будівлі та зменшити вплив на довкілля.

Типи енергоефективних будівель:

– пасивний будинок (Passivhaus) – це будівля, яка забезпечує комфортні умови для проживання при мінімальному споживанні енергії на опалення та охолодження. Вона використовує тепло, яке генерується від сонячної енергії, електроприладів, мешканців та вентиляційних систем з рекуперацією. Характерними рисами такого будинку є теплоізоляція високого рівня, ефективні вікна з трискляними пакетами, герметичність будівлі та рекуперація тепла у вентиляційній системі;

– нульова енергобудівля (Zero-Energy Building) – це будівля, яка протягом року виробляє стільки ж енергії, скільки споживає. Для цього зазвичай використовуються відновлювані джерела енергії (сонячні панелі, вітрові турбіни тощо). Характерними рисами такої будівлі є висока енергоефективність, сонячні панелі чи інші джерела відновлюваної енергії та використання енергоефективних електроприладів;

– будівля з позитивним енергобалансом (Positive Energy Building) – це будівля, яка виробляє більше енергії, ніж споживає. Надлишкова енергія може бути продана до енергетичних мереж або використана для інших потреб. Характерними рисами такої будівлі є виробництво енергії на місці та надлишкова генерація енергії для зовнішнього використання;

– зелена будівля (Green Building) це будівля, яка спроектована та побудована з урахуванням екологічних стандартів. Зокрема, вона використовує матеріали, які мають низький вуглецевий слід, зменшує використання води, енергії та сировини. Характерними рисами такої будівлі є використання екологічно чистих будівельних матеріалів, застосування технологій для зменшення впливу на довкілля та наявність систем управління водними та енергетичними ресурсами;

– активний будинок (Active House) – це тип будівлі, який не тільки має високу енергоефективність, але й забезпечує високий рівень комфорту для мешканців завдяки правильному освітленню, вентиляції та використанню відновлюваної енергії. Характерними рисами такої будівлі є високий рівень природного освітлення, вентиляційні системи з рекуперацією та використання відновлюваних джерел енергії.

Енергоефективні будівлі є ключовим елементом у стратегіях сталого розвитку, спрямованих на зниження споживання енергії та зменшення впливу на навколишнє середовище.

3.2 «Зелені» дахи як важливий елемент енергоефективності

«Зелені» дахи (іноді їх називають «живими» дахами) є важливим елементом енергоефективних будівель і відіграють значну роль у зниженні енергоспоживання та екологічного впливу будівель. Це конструкція, на якій вирощуються рослини та інша зелена рослинність, що покриває дахову поверхню.

Переваги «зелених» дахів у контексті енергоефективності:

– теплова ізоляція – зелені дахи діють як природний утеплювач. Шар ґрунту та рослинність допомагають зберігати тепло взимку, а влітку знижують температуру всередині будівлі, блокуючи надмірне нагрівання. Це знижує потребу в кондиціонуванні та опаленні, що зменшує енергоспоживання;

– зниження ефекту теплового острова – у великих містах з бетонними й асфальтними поверхнями температура зазвичай вища, ніж у передмістях. Зелені дахи допомагають охолоджувати будівлі та довколишні райони, зменшуючи ефект теплового острова, коли температура навколо міста підвищується через велику кількість неприродних матеріалів;

– покращення якості повітря – рослинність на даху поглинає вуглекислий газ і виділяє кисень, сприяючи поліпшенню якості повітря. Крім того, зелені дахи фільтрують повітря від шкідливих частинок;

– поглинання дощової води – допомагають ефективніше управляти дощовою водою, оскільки вони поглинають значну частину опадів. Це знижує навантаження на зливову каналізацію, зменшує ризик затоплень і сприяє більш ефективному використанню водних ресурсів;

– збільшення тривалості експлуатації даху – рослинність і шари ґрунту захищають поверхню даху від ультрафіолетового випромінювання, екстремальних температур і механічних пошкоджень. Це допомагає збільшити термін експлуатації покрівлі, зменшуючи потребу в ремонті та заміні;

– естетика та благоустрій міста – додають краси та природного елементу в урбанізовані середовища. Це сприяє підвищенню якості життя, створюючи зони для відпочинку та поліпшення емоційного стану жителів.

Типи «зелених» дахів:

– інтенсивні зелені дахи – мають товстий шар ґрунту (більше 20 см) і можуть підтримувати великий асортимент рослин, включно з кущами, деревами та квітами. Вимагають ретельного догляду і можуть використовуватись як громадські простори;

– екстенсивні зелені дахи – мають тонший шар ґрунту (5–20 см) і зазвичай використовуються для невибагливих рослин, таких як мохи, трави або сукуленти. Вимагають мінімального обслуговування і легші за вагою, що робить їх ідеальними для будівель з обмеженими навантаженнями.

Зелені дахи допомагають зменшити викиди парникових газів шляхом зниження споживання енергії та виробництва тепла, сприяють поліпшенню здоров'я міських жителів і підвищують біорізноманіття в містах. Вони можуть забезпечувати середовище для проживання птахів, комах і інших організмів, підтримуючи екосистеми навіть у міських умовах. Таким чином, «зелені» дахи є важливим елементом енергоефективної інфраструктури, сприяючи не лише зниженню витрат на енергію, але й поліпшенню загального стану навколишнього середовища.

3.3 Екологічна ефективність фотокаталітичного бетону, Smart-покриття

Фотокаталітичний бетон та Smart-покриття є інноваційними матеріалами, які роблять вагомий внесок у покращення екологічної ефективності будівель і міського середовища. Вони не тільки сприяють енергоефективності, але й допомагають у боротьбі з забрудненням навколишнього середовища.

Фотокаталітичний бетон містить спеціальні добавки, зокрема діоксид титану (TiO_2), який активується під впливом сонячного світла та запускає фотохімічні реакції. Ці реакції допомагають розщеплювати шкідливі забруднювачі, такі як оксиди азоту (NO_x), у менш шкідливі речовини, що потім вимиваються дощовою водою. Цей процес називається фотокаталізом.

Екологічні переваги фотокаталітичного бетону:

- очищення повітря – сприяє розщепленню забруднювачів повітря, таких як NO_x , які є одними з основних причин утворення смогу і кислотних дощів. Це допомагає покращувати якість повітря в містах і зменшувати шкідливий вплив на здоров'я людей;

- самоочищення – запобігає накопиченню бруду, пилу та біологічних утворень на його поверхні. Це зменшує потребу в частих очищеннях та технічному обслуговуванні, що скорочує використання хімічних засобів і води для миття;

- зниження ефекту теплового острова – зазвичай використовується в світлих кольорах, що допомагає відбивати сонячне світло і зменшувати нагрівання поверхонь. Це сприяє зниженню температури в урбанізованих районах і зменшує вплив теплових островів;

- стійкість до ультрафіолету – зберігає свої властивості і вигляд довше, оскільки діоксид титану захищає його від негативного впливу ультрафіолетового випромінювання.

Фотокаталітичний бетон використовується в різних інфраструктурних проектах, таких як дорожні покриття, тротуари, фасади будівель, пішохідні зони та парковки. Особливо ефективним є його застосування в зонах з

інтенсивним трафіком або в промислових районах, де забруднення повітря особливо високе.

Smart-покриття (або розумні покриття) – це покриття, які мають здатність змінювати свої властивості під впливом зовнішніх факторів (температури, вологості, світла, електричного поля тощо) або мають активні функціональні властивості, що можуть бути використані для покращення енергоефективності та зниження впливу на довкілля.

Типи та екологічні переваги Smart-покриттів:

– тепловідбивні покриття – це покриття, що мають здатність відбивати сонячне випромінювання, зменшуючи нагрівання поверхонь будівель. Це допомагає знизити навантаження на системи кондиціонування повітря та економити енергію в теплих кліматах;

– сонячні покриття (фотоелектричні) – інтегровані фотоелектричні покриття здатні виробляти електроенергію з сонячного світла. Вони можуть бути використані на дахах, фасадах або інших будівельних елементах, перетворюючи поверхню будівлі на джерело відновлюваної енергії;

– гідрофобні та самоочищувальні покриття – ці покриття, здатні відштовхувати воду та інші забруднювачі, що зменшує необхідність у частих прибираннях або використанні хімічних засобів для очищення. Це скорочує витрати води та ресурсів, що важливо для сталого розвитку;

– термохромні покриття – змінюють свій колір залежно від температури, що дозволяє автоматично контролювати відбивання або поглинання тепла. У холодну погоду вони можуть сприяти збереженню тепла, а в теплу відбивати його, що сприяє економії енергії на опалення та кондиціонування;

– електрохромні покриття – ці покриття змінюють свою прозорість під дією електричного поля. Вони можуть використовуватися на вікнах або фасадах для динамічного контролю кількості світла та тепла, що потрапляє в будівлю, зменшуючи споживання енергії для освітлення та охолодження.

Smart-покриття знаходять застосування в різних сферах, від архітектури та будівництва до транспорту та виробничих об'єктів. Зокрема, вони

використовуються на фасадах будівель, дорогах, мостах, а також для покриття транспортних засобів і техніки.

3.4 Системи протидимного захисту

Системи протидимного захисту (далі – СПДЗ) – це комплекс заходів, технологій та обладнання, призначених для запобігання поширенню диму та продуктів горіння в будівлях під час пожежі. Основне завдання цих систем – забезпечення безпечних умов для евакуації людей та доступу рятувальних служб до місця пожежі.

Основні функції систем протидимного захисту:

- 1) видалення диму з будівлі або приміщення;
- 2) створення надлишкового тиску в евакуаційних шляхах (наприклад, у сходових клітках чи ліфтових шахтах), щоб запобігти проникненню диму;
- 3) локалізація диму в окремих зонах будівлі, щоб обмежити його розповсюдження;
- 4) контроль вентиляційних систем, які можуть сприяти швидкому поширенню диму.

Основні елементи СПДЗ:

- 1) димовидалення – системи витяжної вентиляції, які активно видаляють дим із приміщень;
- 2) системи надлишкового тиску – вентилятори та повітропроводи, які подають чисте повітря в зони евакуації, не даючи диму проникати в ці зони;
- 3) протипожежні клапани та шторки – механізми, що блокують поширення диму по вентиляційних системах і відкритих просторах;
- 4) датчики диму – пристрої для виявлення підвищеного рівня диму та автоматичного запуску СПДЗ;
- 5) системи керування та моніторингу – центральний пульт або автоматизована система, яка контролює роботу всіх елементів системи протидимного захисту.

СПДЗ особливо важливі в багатоповерхових будинках, лікарнях, торгових центрах, підземних паркінгах та інших об'єктах, де швидка евакуація людей є критичною під час пожежі.

ТЕМА 4 НОВІТНІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ВИДОЗМІНИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ БУДИНКІВ СТАРОГО ЖИТЛОВОГО ФОНДУ

4.1 Сучасний погляд на якість житла

Сучасний погляд на якість житла охоплює широкий спектр аспектів, які стосуються комфорту, безпеки, енергоефективності, функціональності та сталого розвитку. У контексті зростаючих вимог до міського середовища, новітні технології та зміни у стилі життя суттєво вплинули на переосмислення стандартів житла.

Основні критерії якості сучасного житла

Енергоефективність та екологічність. Енергоефективність стала одним із ключових параметрів сучасного житла. Важливими аспектами є використання ізоляційних матеріалів, енергоощадних вікон, «зелених» систем опалення та охолодження, сонячних панелей, систем зберігання енергії та використання відновлюваних джерел енергії.

Екологічність передбачає вибір будівельних матеріалів з низьким впливом на довкілля, мінімізацію відходів, створення систем управління відходами та використання ресурсів, таких як вода та енергія, з мінімальними втратами.

Комфорт та функціональність. Планування простору відіграє важливу роль у забезпеченні зручності житла. Відкриті планування, багатофункціональні кімнати та ергономічний дизайн сприяють комфорту та покращенню якості життя. Інклюзивність (доступність для людей з обмеженими можливостями) стала важливим фактором під час проектування

нових житлових будинків, де приділяється увага безбар'єрному середовищу та гнучким інтер'єрам.

Технологічні зручності. Інтеграція розумних технологій, таких як «розумний дім», дозволяє керувати освітленням, клімат-контролем, безпекою та іншими аспектами житлового простору через смартфон або інші пристрої.

Безпека та здоров'я. Безпека житлового простору передбачає наявність систем протипожежного захисту, систем відеоспостереження, систем контролю доступу та датчиків аварійних ситуацій (наприклад, газу, диму або води). Здорове середовище вимагає забезпечення високої якості повітря в приміщеннях, доступу до природного світла, мінімізації рівня шуму та використання матеріалів, які не виділяють шкідливих речовин.

Місце розташування та соціальна інфраструктура. Транспортна доступність і близькість до робочих місць, шкіл, лікарень, магазинів та громадських місць є важливими чинниками вибору житла. Все більше уваги приділяється доступу до парків, садів і зон відпочинку поблизу житла, що сприяє покращенню якості життя та здоров'я мешканців.

Стійкість і адаптивність. Стійке житло повинно бути адаптованим до змін клімату та інших зовнішніх факторів, мати хорошу інфраструктуру для зменшення впливу природних катастроф (наприклад, затоплень або землетрусів). Гнучкість і адаптивність житлових приміщень до змін у складі сім'ї або потреб мешканців (модульні рішення, можливість перепланування) також є сучасною тенденцією.

Тенденції у сфері сучасного житла:

- *«розумне» житло (Smart Home):* інтеграція систем автоматизації для управління освітленням, опаленням, безпекою, побутовою технікою тощо;
- *мікрожитло:* компактні житлові рішення з оптимізованим простором для молодих професіоналів або одиноких людей у містах;
- *спільне проживання (co-living):* популярність кооперативного проживання, де мешканці ділять спільні зони, такі як кухня або робочі простори, при цьому маючи приватні кімнати.

Сучасний підхід до якості житла ставить акцент на індивідуальні потреби, сталий розвиток та технологічні рішення, які підвищують комфорт та безпеку, одночасно мінімізуючи вплив на довкілля.

4.2 Стан конструкцій будівель старого житлового фонду

Стан конструкцій будівель старого житлового фонду є важливим питанням для міського розвитку та безпеки мешканців. Багато старих будинків, збудованих у середині ХХ століття або раніше, особливо в пострадянських країнах, перебувають у незадовільному або навіть аварійному стані. Різні фактори впливають на погіршення стану таких будівель, включаючи природне старіння матеріалів, неправильне обслуговування та зміни кліматичних умов.

Основні проблеми конструкцій старих будівель:

1. Знос матеріалів. Фізичне старіння основних будівельних матеріалів, таких як бетон, дерево, метал і цегла, призводить до втрати їхніх первісних властивостей. Наприклад, бетон може тріскатися та осипатися, цегла розшаровується через вологість, а металеві елементи піддаються корозії. Протягом десятиріч конструкції піддаються впливу дощу, снігу, вітру, змін температур і ультрафіолетового випромінювання. Це сприяє деградації будівельних матеріалів.

2. Несправності у фундаменті та підлогах. Просідання фундаменту через зміни ґрунтових умов або через неякісне будівництво може спричинити тріщини у стінах, перекіс конструкцій і деформацію підлог. Вологість у підвальних приміщеннях може викликати гниття дерев'яних підлог, корозію металевих елементів і погіршення стану фундаменту.

3. Стан тримальних стін і перекриттів. Тріщини у стінах і перекриттях можуть бути наслідком просідання фундаменту, недостатньої жорсткості конструкцій або динамічних навантажень. Корозія арматури в залізобетонних конструкціях є особливою проблемою для будівель радянського періоду, де використовувалися залізобетонні панелі та блоки. Гниття дерев'яних

конструкцій у старих будинках, особливо у піддашсях або горищах, є частою причиною зниження тримальної здатності перекриттів.

4. *Системи інженерних комунікацій.* Зношеність систем водопостачання, каналізації та електромереж часто призводить до аварійних ситуацій, таких як затоплення, замикання або пожежі. Газові та вентиляційні системи у старих будівлях можуть бути небезпечними через порушення герметичності або блокування.

5. *Проблеми з гідроізоляцією та теплоізоляцією.* Погана гідроізоляція може призводити до постійного впливу вологи на конструкції, що спричиняє їхнє прискорене руйнування. Недостатня теплоізоляція призводить до втрат тепла та конденсації вологи, що також сприяє утворенню грибка, плісняви та руйнуванню матеріалів.

6. *Вплив модернізацій та ремонтів.* Неправильні або неякісні ремонти можуть посилити проблеми. Наприклад, встановлення важких сучасних матеріалів (пластикові вікна, утеплення) без урахування тримальної здатності стін може призвести до деформацій. Перепланування без врахування конструктивних особливостей будівлі може створювати додаткові навантаження на тримальні стіни або перекриття.

Наслідками занедбаного стану конструкцій є:

- підвищений ризик аварійних ситуацій;
- погіршення умов проживання;
- зростання витрат на обслуговування;
- зменшення вартості житла;
- оцінка та реконструкція будівель;
- посилення конструкцій і модернізація інженерних систем;
- теплоізоляція;
- фасадні роботи.

У багатьох країнах здійснюються програми модернізації старого житлового фонду, включно із заміною аварійних будівель на нові. У деяких випадках старі будівлі підлягають знесенню, а на їхньому місці будуються нові

житлові комплекси з врахуванням сучасних будівельних норм та технологій. Однак в історичних зонах, де збереження архітектурної спадщини є пріоритетом, проводиться реконструкція із збереженням оригінального зовнішнього вигляду.

Стан конструкцій будівель старого житлового фонду часто є критичним і потребує серйозних заходів для підвищення їхньої безпеки та комфорту. Підтримання та модернізація таких будинків вимагає значних фінансових і технічних ресурсів, але це необхідно для забезпечення гідних умов життя їхніх мешканців.

4.3 Новітні конструкції для перетворення, видозміни та відновлення

Новітні конструкції для перетворення, видозміни та відновлення будівель відіграють важливу роль в архітектурі та будівництві, особливо у контексті адаптації існуючих споруд до сучасних потреб, покращення їхньої функціональності та зменшення негативного впливу на довкілля. Ці технології та матеріали дозволяють суттєво покращувати будівлі без необхідності їхнього знесення, роблячи процеси реконструкції більш ефективними та економічними.

Основні напрями новітніх конструкцій:

– *адаптивні конструкції* – дозволяють будівлям змінювати свою форму або функцію відповідно до умов або потреб мешканців (модульні конструкції та трансформовані інтер'єри);

– *реконструкція з використанням легких матеріалів* – дозволяє ефективно оновлювати будівлі без значного навантаження на існуючі конструкції (композитні матеріали: склофібра, карбон або інші легкі, але міцні матеріали дозволяють укріплювати несучі конструкції, фасади або навіть змінювати конфігурацію будівлі без значної реконструкції; панельні системи: технології з використанням зовнішніх панельних систем (наприклад, вентилявані фасади або багатошарові стіни) дозволяють покращити теплоізоляційні властивості будівель, одночасно оновлюючи зовнішній вигляд);

– *технології 3D-друку* – дозволяють швидко створювати як окремі частини будівлі, так і цілі конструкції;

– *сталі матеріали та технології* (фокусуються на використанні екологічних і стійких матеріалів, що сприяють зменшенню вуглецевого сліду будівлі та підвищенню її енергоефективності);

– *енергетичні фасади та інтеграція технологій* (сучасні фасади можуть бути не тільки естетично привабливими, але й функціональними – вони генерують енергію, покращують теплоізоляцію або навіть збирають воду. Фотогальванічні панелі: інтеграція сонячних панелей у фасадні системи дозволяє будівлям генерувати енергію без втрати естетичної привабливості. Інтелектуальні фасади: технології, що дозволяють фасадам будівель змінювати свої властивості залежно від умов – наприклад, затемнюватися під впливом сонця або пропускати більше світла взимку для підвищення енергоефективності);

– *системи відновлення будівель з використанням робототехніки* (дозволяють пришвидшити процеси відновлення та видозміни будівель. Роботи для фасадних робіт: роботизовані системи для чищення, ремонту та фарбування фасадів значно знижують витрати на технічне обслуговування. Роботизовані системи укладання матеріалів: використання роботів для точного укладання цегли або блоків, що забезпечує якісну обробку та підвищує швидкість будівництва).

Новітні конструкції для перетворення, видозміни та відновлення надають можливість максимально ефективно використовувати існуючі будівлі, оновлюючи їх для сучасних потреб. Завдяки інноваційним матеріалам, технологіям 3D-друку, адаптивним рішенням та енергетично ефективним фасадам, архітектори й будівельники можуть значно подовжити термін експлуатації будівель, знизивши при цьому екологічне навантаження.

4.4 Техніко-економічне оцінювання запроваджених конструктивних рішень

Техніко-економічне оцінювання запроваджених конструктивних рішень – це аналіз, який поєднує технічні та економічні аспекти з метою оцінки ефективності та доцільності впровадження певних інженерних або управлінських рішень. Це дозволяє зрозуміти, чи варто реалізовувати конкретний проєкт, чи досягатиме він очікуваних результатів з точки зору витрат, часу та ресурсів. Процедура техніко-економічного оцінювання включає кілька ключових етапів:

1. Аналіз технічних аспектів рішення: розглядається конструктивна реалізація проєкту, його технологічність, доступність матеріалів та необхідних ресурсів, можливість використання сучасних технологій.

2. Оцінка витрат: підраховуються витрати на реалізацію проєкту, включаючи вартість матеріалів, робочої сили, обладнання та інших ресурсів.

3. Прогнозування економічних вигод: оцінюється економічна вигода, яку принесе впровадження рішення. Це може включати збільшення продуктивності, зниження витрат, покращення якості продукту або послуги.

4. Ризик-аналіз: розглядаються можливі ризики та їхній вплив на успішність проєкту. Оцінюється можливість збільшення витрат або невиконання плану у встановлені терміни.

5. Окупність інвестицій: аналізується термін окупності, який показує, як швидко проєкт почне приносити прибуток або економічну вигоду.

Після проведення техніко-економічного оцінювання можна ухвалювати рішення щодо подальшого розвитку проєкту, його коригування або відмови від реалізації.

ТЕМА 5 ІННОВАЦІЙНІ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ СУЧАСНОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ СИСТЕМИ «МОНОФАНТ»

5.1 Енергетичний підхід у проектуванні будівельних конструкцій сучасної конструктивної системи «Монофант»

Енергетичний підхід у проектуванні будівельних конструкцій спрямований на оптимізацію використання енергії під час проектування, будівництва та експлуатації будівлі. Такий підхід враховує не тільки структурну міцність і стабільність конструкції, але й енергоефективність, стійкість до зовнішніх впливів та ресурсощадні рішення.

Система «Монофант» є однією з сучасних конструктивних систем, що використовуються в будівництві, і має низку інноваційних особливостей. Ця система об'єднує кілька ключових принципів:

1) *монолітна структура*: Монофант передбачає використання монолітних конструкцій, що дозволяє створювати безперервні, суцільні елементи з бетону або залізобетону. Це забезпечує високу міцність і довговічність будівлі;

2) *висока енергоефективність*: завдяки особливостям конструкції та матеріалів, система дозволяє значно зменшити втрати енергії, зокрема теплові. Це досягається завдяки вдосконаленій теплоізоляції і зменшенню містків холоду;

3) *оптимізація використання матеріалів*: енергетичний підхід вимагає мінімізації витрат матеріалів і зменшення енергії на їхнє виробництво. У системі «Монофант» це досягається шляхом використання легких, але міцних матеріалів, таких як сучасні бетонні суміші з домішками, що покращують їхні властивості;

4) *зменшення впливу на навколишнє середовище*: підхід враховує екологічні аспекти – зменшення викидів CO₂ та інших шкідливих речовин під час виробництва та будівництва;

5) *інтеграція з інженерними системами*: сучасні конструкції «Монофант» можуть бути інтегровані з системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, що дозволяє забезпечити максимальний комфорт для користувачів за мінімальних енерговитрат.

Принципи енергетичного підходу в «Монофант»:

1) збереження енергії: одним з основних завдань є зниження потреби в енергії під час експлуатації будівлі завдяки добре спроектованим елементам, що зменшують теплові втрати;

2) енергетичний баланс: у системі враховуються джерела відновлюваної енергії, такі як сонячні панелі або геотермальні системи, що дозволяє створити баланс між споживанням і виробництвом енергії;

3) аналіз життєвого циклу: під час проектування враховується повний життєвий цикл будівлі, від виробництва матеріалів до їхньої утилізації після закінчення експлуатації.

Сучасна конструктивна система «Монофант» з енергетичним підходом може слугувати ефективним рішенням для будівництва енергоощадних і довговічних будівель, відповідаючи сучасним вимогам до енергоефективності та екологічності.

5.2 Конструктивні особливості будівельних конструкцій сучасної конструктивної системи «Монофант»

Конструктивна система «Монофант» відрізняється інноваційним підходом до проектування будівель, що поєднує сучасні матеріали, інженерні рішення та енергоефективні технології. Основні конструктивні особливості цієї системи можна розглянути через такі аспекти:

1. Монолітність конструкцій.

Система «Монофант» базується на використанні монолітних конструкцій, що включає заливку бетону на місці будівництва без стиків і швів. Це забезпечує високу міцність, жорсткість і довговічність будівлі. Монолітні

конструкції здатні витримувати значні навантаження, стійкі до деформацій, а також мають високу сейсмостійкість.

2. Використання залізобетону.

Залізобетон є основним матеріалом у системі «Монофант». Комбінація бетону, який забезпечує високу міцність на стиск, і сталеві арматури, що додає опору на розтяг, дає змогу створювати міцні та надійні конструкції. Залізобетонні елементи можуть бути виконані як монолітними, так і збірними, залежно від особливостей проєкту.

3. Мінімізація кількості колон та підсилення.

Однією з важливих особливостей конструкцій «Монофант» є зменшення кількості опорних елементів, зокрема колон і балок. Це дозволяє отримати більш відкриті простори без обмежень у плануванні. При цьому конструкція розподіляє навантаження рівномірно, що дозволяє зменшити кількість додаткових підсилюючих елементів.

4. Інтеграція з теплоізоляційними матеріалами.

У системі «Монофант» передбачено використання сучасних теплоізоляційних матеріалів для зниження тепловтрат. Зазвичай теплоізоляція інтегрується у внутрішню структуру конструкції або наноситься на зовнішні поверхні. Це дозволяє зменшити витрати на опалення та кондиціонування, а також підвищує енергоефективність будівлі.

5. Легка та міцна конструкція.

Завдяки використанню новітніх матеріалів і технологій, конструкції в системі «Монофант» мають низьку вагу, що спрощує їхнє транспортування та монтаж. При цьому система зберігає високу міцність і стабільність.

6. Економічність використання матеріалів.

Система «Монофант» також відзначається ефективним використанням матеріалів, що дозволяє зменшити їхній об'єм при збереженні необхідних експлуатаційних властивостей. Завдяки точним інженерним розрахункам і сучасним технологіям можна досягти мінімізації відходів під час будівництва.

7. Вільна організація простору.

Оскільки конструкція передбачає мінімальну кількість опорних елементів і колон, проектування інтер'єрів стає гнучкішим. Це дозволяє створювати великі відкриті простори без зайвих перешкод, що є важливим для сучасних офісних або житлових будівель.

8. Стійкість до зовнішніх впливів.

Завдяки використанню сучасних матеріалів та технологій, конструкції «Монофант» мають високу стійкість до зовнішніх факторів, таких як вологість, температурні зміни, корозія та сейсмічні навантаження. Це збільшує термін експлуатації будівлі та знижує необхідність у регулярному технічному обслуговуванні.

9. Адаптивність до різних типів будівель.

Система «Монофант» є універсальною і може застосовуватися для різних типів будівель – від житлових будинків до комерційних і промислових об'єктів. Конструктивні елементи можуть бути адаптовані під специфічні вимоги кожного проекту, забезпечуючи індивідуальний підхід до архітектурних і функціональних рішень.

10. Інтеграція з інженерними системами.

Конструкція «Монофант» дозволяє з легкістю інтегрувати різні інженерні системи, такі як опалення, вентиляція, електропостачання та інші. Це полегшує прокладання комунікаційних мереж і дозволяє зменшити витрати на їхній монтаж. Загалом система «Монофант» є високотехнологічною конструктивною системою, яка забезпечує надійність, енергоефективність і гнучкість під час проектування сучасних будівель.

5.3 Технології виробництва будівельних конструкцій сучасної конструктивної системи «Монофант»

Технології виробництва будівельних конструкцій у межах сучасної конструктивної системи «Монофант» включають застосування новітніх методів

і матеріалів для досягнення максимальної ефективності, міцності та енергоощадності. Ці технології можна розділити на кілька основних аспектів:

Монолітне будівництво

Однією з основних технологій системи «Монофант» є монолітне бетонування. Це технологія, за якою конструкції будівлі заливаються на місці будівництва у спеціальні форми або опалубки. Переваги такого підходу:

- безшовність: монолітні конструкції не мають швів, що підвищує їхню міцність та стійкість до зовнішніх факторів, таких як волога чи вібрація;
- гнучкість у формуванні конструкцій: можна створювати будь-які геометричні форми, включаючи нестандартні елементи фасадів або внутрішнього простору.

Збірно-монолітні конструкції

Ця технологія комбінує переваги збірних елементів та монолітного бетонування. Попередньо виготовлені збірні залізобетонні елементи (наприклад, колони, балки або панелі) транспортуються на будівельний майданчик і з'єднуються з монолітними елементами, що забезпечує швидкість будівництва та високу точність монтажу.

Технології виготовлення збірних елементів

Збірні елементи в системі «Монофант» виробляються на заводах із залізобетону. Це забезпечує високу якість (контрольовані умови виробництва на заводі дозволяють точно дотримуватися технічних норм і стандартів) та мінімізацію відходів: (заводське виробництво дозволяє ефективно використовувати матеріали, зменшуючи кількість відходів).

3D-друк бетоном

Одна з інноваційних технологій, що знаходить застосування в сучасному будівництві, включаючи систему «Монофант», – це 3D-друк бетоном. Ця технологія дозволяє швидко створювати окремі конструктивні елементи або навіть цілі будівлі за допомогою роботизованих систем. Основними перевагами є економія часу (друк конструкцій відбувається значно швидше, ніж традиційні

методи) та мінімальні відходи матеріалу (технологія дозволяє використовувати матеріал максимально ефективно).

Високотехнологічні бетонні суміші

Для конструкцій системи «Монофант» використовуються спеціальні високоміцні бетонні суміші, до яких додаються домішки для покращення властивостей. Це можуть бути пластифікатори, прискорювачі твердіння, водонепроникні компоненти або мікрОВОлокна, що покращують структуру бетону. Крім того, використання полегшених бетонів дозволяє зменшити вагу конструкцій, зберігаючи їхню міцність.

Армування конструкцій

Для збільшення міцності будівельних елементів система «Монофант» широко використовує армування традиційною сталевую арматурою (використовується для підсилення конструкцій, щоб забезпечити опір на розтяг і стиснення), а також композитні матеріали (які є легшими, корозійностійкими та мають триваліший термін експлуатації).

Опалубкові системи

Для формування монолітних конструкцій використовуються сучасні опалубкові системи, які можуть бути знімними або незнімними. Знімна опалубка після твердіння бетону знімається, що дозволяє використовувати її повторно. Незнімна опалубка залишається частиною конструкції, часто виконана з теплоізоляційних матеріалів, що додатково підвищує енергоефективність будівлі.

Теплоізоляційні матеріали

Важливим аспектом виробництва конструкцій системи «Монофант» є використання сучасних теплоізоляційних матеріалів, які інтегруються у конструкцію. Пінополістирол, мінвата або аерогелі застосовуються для зменшення тепловтрат та підвищення енергоефективності будівель.

Технології ущільнення бетону

Для підвищення щільності та міцності монолітного бетону застосовуються технології ущільнення. А саме віброущільнення та

самозгущуваний бетон (новітні бетонні суміші, які не потребують вібрації, оскільки мають високу плинність і самі заповнюють опалубку).

Екологічні та відновлювальні матеріали

Сучасна система «Монофант» також включає екологічно чисті матеріали та технології. Вторинні матеріали (використання переробленого бетону або сталі зменшує вплив на довкілля) та екологічні домішки (для зменшення викидів CO₂ під час виробництва використовуються спеціальні цементні суміші з низьким вмістом вуглецю).

Інноваційні системи контролю якості

Виробництво будівельних конструкцій у системі «Монофант» супроводжується застосуванням сучасних технологій контролю якості, таких як датчики твердіння бетону (використовуються для контролю процесу затвердіння і моніторингу температури всередині бетонної маси) та системи лазерного сканування (забезпечують високу точність монтажу збірних елементів).

Технології виробництва в конструктивній системі «Монофант» базуються на сучасних інноваціях у будівельних матеріалах, виробничих процесах та інженерних рішеннях. Ці технології спрямовані на підвищення ефективності, зниження витрат, покращення енергоефективності та зменшення екологічного впливу будівництва.

5.4 Закордонний досвід впровадження аналогічних конструктивних рішень

Закордонний досвід впровадження конструктивних рішень, аналогічних системі «Монофант», демонструє широкий спектр технологій і підходів у будівництві, що ґрунтуються на використанні монолітних, збірних і комбінованих конструкцій. Багато країн впроваджують інноваційні рішення для досягнення енергоефективності, міцності та економічності будівель.

Монолітно-каркасні системи в Німеччині

Німеччина активно використовує монолітно-каркасні конструкції, подібні до тих, що застосовуються в системі «Монофант». Основними принципами цих систем є висока енергоефективність та стійкість до зовнішніх впливів. Німецькі стандарти енергозбереження вимагають інтеграції теплоізоляційних матеріалів і технологій відновлюваної енергії. Наприклад, у будівлях часто використовуються термоактивні плити для акумуляції тепла. Завдяки суворим кліматичним умовам, конструкції будівель в Німеччині повинні бути стійкими до перепадів температур і вологості, що досягається завдяки вдосконаленню бетонних сумішей і спеціальних домішок.

Технології збірних конструкцій у Швеції

У Швеції поширені збірно-монолітні конструктивні системи, які поєднують збірні елементи (панелі, колони, балки) з монолітними конструкціями. Це дозволяє скоротити час будівництва та підвищити ефективність. Швеція використовує технології переробки будівельних матеріалів, таких як бетон та сталь, що знижує вплив на довкілля.

Інтеграція 3D-друку у будівництві в США

США є одним із лідерів у впровадженні інноваційних будівельних технологій, таких як 3D-друк бетоном, що є аналогом системи «Монофант» у швидкості та ефективності зведення будівель. Це дозволяє зменшити час будівництва та скоротити кількість відходів, оскільки матеріали використовуються з максимальною точністю. Ця технологія знижує витрати на трудові ресурси та будівельні матеріали, оскільки процес автоматизований.

Сейсмостійкі конструкції у Японії

Японія широко використовує монолітно-каркасні системи, що є аналогом «Монофант», з акцентом на сейсмостійкість. Японські конструкції повинні витримувати значні сейсмічні навантаження. Монолітні залізобетонні каркаси та спеціальні демпфери, інтегровані у структуру будівлі, дозволяють зменшити руйнівний вплив землетрусів. Для зменшення ваги будівель і підвищення

стійкості використовуються новітні легкі бетонні суміші та арматурні матеріали.

Впровадження збірних і модульних конструкцій у Франції

У Франції активно використовуються модульні та збірні конструктивні системи, які є аналогом системи «Монофант» у контексті швидкості зведення та енергоефективності. Окремі елементи конструкції виготовляються на заводі, що дозволяє зменшити час будівництва на місці. Французькі норми будівництва вимагають високих показників енергоефективності, тому модулі оснащуються теплоізоляційними матеріалами і системами відновлюваної енергії, такими як сонячні панелі.

Швидке та економічне будівництво в Індії

В Індії технології монолітного будівництва з використанням опалубкових систем отримали велике поширення через потребу в масовому будівництві. Монолітні конструкції заливаються за допомогою спеціальних опалубкових систем (знімної та незнімної опалубки), що дозволяє швидко зводити багатоповерхові будівлі. Ці технології дозволяють знизити витрати на матеріали та час будівництва, що особливо важливо для великомасштабних житлових проєктів.

Багатоповерхові конструкції із залізобетону в Китаї

Китай активно впроваджує монолітно-збірні конструкції для будівництва багатоповерхових будівель і хмарочосів. Частина будівлі виробляється на заводах і швидко монтується на місці, що скорочує терміни будівництва. Китай є одним із лідерів у будівництві масштабних житлових і комерційних об'єктів із застосуванням сучасних конструктивних систем.

Адаптація до історичної архітектури в Італії

Італія відома своєю історичною архітектурою, тому впровадження сучасних будівельних технологій, аналогічних «Монофанту», орієнтоване на збереження історичних будівель та відновлення старих конструкцій. Монолітно-каркасні системи використовуються для реконструкції історичних будівель, при цьому зберігаються їхні архітектурні особливості.

Застосовуються новітні технології посилення, такі як додавання композитних матеріалів і використання сучасних армувальних систем.

Закордонний досвід впровадження конструктивних рішень, аналогічних системі «Монофант», показує широку варіативність сучасних технологій у будівництві. Від монолітних і збірних конструкцій до 3D-друку та сейсмостійких систем – світові практики демонструють, що поєднання інновацій та ефективності є ключовим фактором для сучасного будівництва.

ТЕМА 6 ВПРОВАДЖЕННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ В АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНУ ГАЛУЗЬ УКРАЇНИ

6.1 Новий підхід до управління цифровою інформацією, що застосовується у будівництві та містобудуванні

Будівельна галузь України має ряд взаємопов'язаних проблем, однією з яких є відсутність системного процесу створення та обміну цифровою інформацією. Роздробленість, хаотичність, непрозорість даних звужують аналітичні можливості для пошуку і прийняття стратегічних рішень та оцінки їхнього кінцевого ефекту, а також створюють бар'єри для системного впровадження нових методів та сучасних технологій у галузі в цілому.

На сьогодні в будівельній галузі є такі проблеми, які потребують розв'язання: значна ресурсоємність процесу будівництва; неефективність управління процесами проектування, будівництва, експлуатації, зокрема внаслідок низького рівня комунікації між учасниками зазначених процесів; неефективне використання матеріальних ресурсів, спрямованих на будівництво, зокрема використання сировини та супутньої будівельної продукції, що не має повторного використання; відсутність підходів щодо ефективного управління життєвим циклом об'єктів як комплексу послідовних за змістом і часом етапів (періодів) існування об'єкта будівництва – від концепції його створення (вишукування, проектування, будівництва) до припинення експлуатації (ліквідації), включаючи повторне використання його частин (елементів) за

новим призначенням; застарілість нормативного забезпечення у будівництві, що не відповідає сучасному рівню технологій будівництва; суттєве споживання у будівельному секторі енергії, виробленої з викопних видів палива (з невідновлюваних джерел), що призводить до значного забруднення навколишнього природного середовища; аварійність об'єктів, що експлуатуються.

В інвестиційно-будівельній діяльності економічно розвинутих країн світу поступово відбуваються структурні зміни, в основі яких є зміщення фокусу з процесу проєктування та будівництва на ефективне планування управління усім життєвим циклом об'єкта як комплексу послідовних за змістом і часом етапів (періодів) існування об'єкта будівництва – від концепції його створення (вишукування, проєктування, будівництва) до припинення експлуатації (ліквідації), включаючи повторне використання його частин (елементів) за новим призначенням.

Розвиток в Україні ефективної та конкурентоспроможної національної економіки потребує проведення системної комплексної реформи будівельної галузі, однією із важливих складових якої є її поступова цифрова трансформація.

Аналіз найкращого світового та європейського досвіду свідчить, що на сьогодні до найбільш прогресивних цифрових технологій у будівництві можна віднести технології будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології), які передбачають сучасний підхід до управління цифровою інформацією, що застосовується у галузі будівництва та містобудування і ґрунтується на використанні спільного цифрового подання об'єкта, для сприяння процесам проєктування, будівництва та експлуатації з метою створення надійної основи для ухвалення рішень.

Суть BIM-технологій полягає у розробленні та спільному використанні будівельної інформаційної моделі об'єкта будівництва (BIM-моделі об'єкта), що становить набір структурованих і неструктурованих інформаційних контейнерів (наборів даних) у межах цілісної інформаційної системи, що

містять необхідні геометричні, фізичні, функціональні та інші характеристики об'єкта, на основі яких розробляється документація, що супроводжує життєвий цикл об'єкта (проектна та кошторисна документація, рекомендації щодо експлуатації).

6.2 Параметризація архітектурних рішень у BIM-середовищі проектування

В Україні BIM-технології вже застосовуються у діяльності окремих організацій, що переважно визначається двовимірним проектуванням, зберіганням та передача інформації під час якого здійснюється окремо в паперовому та/або в електронному форматі. Отже, поступове, системне впровадження BIM-технологій потребує державного регулювання.

Передбачається реалізувати поетапно з урахуванням застосування рівнів BIM-технологій (BIM-рівень), що характеризуються відповідністю мінімально необхідним критеріям для визначення ступеня використання BIM-технологій під час реалізації проєктів будівництва.

На початковому етапі системного впровадження BIM-технологій передбачається створення відповідних умов (здійснення нормативно-правового та технічного регулювання, розвиток нормативно-технічного забезпечення), навчання суб'єктів архітектурної діяльності (замовників будівництва, відповідальних виконавців робіт, пов'язаних із створенням об'єктів архітектури, власників (управителів) об'єктів), впровадження пілотних проєктів у частині проектування та будівництва об'єктів різного призначення.

Це сприятиме започаткуванню налагодженого управління цифровою впорядкованою будівельною інформацією, зокрема тією, що створена в двовимірних та тривимірних системах у межах спільного середовища даних, тобто BIM-рівень 1.

У подальшому передбачається поступовий масовий перехід до застосування BIM-рівня 2, що охоплює процеси створення та управління скоординованими між собою та структурованими BIM-моделями об'єкта, які

одночасно складаються з об'єктно-орієнтованих тривимірних геометричних та атрибутивних даних, що створюються різними учасниками будівельного процесу протягом життєвого циклу об'єкта в межах спільного середовища даних.

Після створення необхідних передумов відповідно до Концепції та плану заходів з її реалізації передбачається подальше впровадження BIM-технологій в Україні до BIM-рівня 3 (що характеризується повною інтеграцією, інтероперабельністю та взаємодією даних, моделей, процесів з метою управління життєвим циклом об'єкта), встановлення критеріїв щодо використання BIM-технологій під час будівництва окремих об'єктів (залежно від їхньої вартості, складності, класу наслідків (відповідальності), зокрема під час реалізації проєктів будівництва, що здійснюється з використанням державної підтримки, а також поширенням практики запровадження експлуатації об'єктів (зокрема в межах реалізації пілотних проєктів) з використанням BIM-технологій.

6.3 Перспективи залучення новітніх інформаційних систем в архітектурному проєктуванні

Окреслені проблеми будівельної галузі в межах Концепції пропонується розв'язати шляхом нормативно-правового та нормативно-технічного регулювання процесів реалізації проєктів будівництва та експлуатації будівель і споруд та здійснення комплексних заходів за такими напрямками:

- дослідницький – проведення аналітичної роботи за необхідними напрямками для систематизації інформації, прогнозування та оцінки результатів;
- нормативно-правовий – внесення необхідних змін в акти законодавства у сфері застосування BIM-технологій;
- нормативний – розроблення нормативних актів технічного характеру (будівельних норм та нормативних документів щодо застосування BIM-технологій);

- технологічний – запровадження та підтримка систем і платформ, необхідних для впровадження BIM-технологій;
- освітній – забезпечення підготовки фахівців у галузі BIM-технологій, створення освітніх програм та курсів;
- комунікаційний – залучення максимально можливої кількості заінтересованих осіб, здійснення заходів, створення та підтримка інформаційних ресурсів;
- організаційний – координація роботи заінтересованих центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, технічних комітетів із стандартизації, наукових установ та організацій, експертів;
- практичний – впровадження та моніторинг результатів виконання пілотних проєктів, розроблення проєктів повторного використання.

Розв'язати проблему в межах Концепції можливо такими способами:

- нормативно-правове врегулювання питань впровадження BIM-технологій в Україні на всіх етапах життєвого циклу об'єктів будівництва;
- зміна підходів щодо розроблення проєктної документації, ціноутворення та здійснення процедур закупівель з урахуванням життєвого циклу об'єкта будівництва;
- встановлення критеріїв щодо використання BIM-технологій під час будівництва окремих об'єктів (залежно від їхньої вартості, складності, класу наслідків (відповідальності) відповідно до найкращого міжнародного та європейського досвіду);
- нормативне забезпечення застосування BIM-технологій під час проєктування, будівництва та експлуатації будівель і споруд, зокрема перегляд будівельних норм, забезпечення прийняття національних стандартів, гармонізованих із міжнародними та європейськими, щодо вимог до елементів BIM-моделей об'єкта на різних етапах життєвого циклу об'єкта будівництва;
- запровадження методів ефективного управління життєвим циклом об'єктів будівництва;

– стимулювання організацій до використання у своїй діяльності BIM-технологій, зокрема шляхом запровадження стимулювальних заходів, впровадження безоплатних навчальних програм та експертної підтримки;

– запровадження єдиних системних процесів створення та обміну цифровою інформацією про об'єкти будівництва на всіх етапах реалізації проєктів будівництва – від проєктування до експлуатації з метою забезпечення оптимізації конструктивних рішень та процесів проєктування, виготовлення, будівництва та експлуатації, енергетичної ефективності будівель та їхньої екологічності, ефективності використання ресурсів, прозорості та ефективності фінансових витрат, забезпечення інтеграції з існуючими електронними системами надання послуг та інформації в будівельній галузі (система державних закупівель Prozorro, Єдина державна електронна система у сфері будівництва тощо), розроблення посібників, регламентів та протоколів щодо принципів та вимог до моделювання, обміну та управління даними, що використовуються у BIM-моделюванні, з урахуванням кращого міжнародного досвіду, поетапне впровадження пілотних проєктів будівництва, що реалізуються з використанням державної підтримки, застосуванням BIM-технологій, зокрема в межах коштів існуючих бюджетних програм, створення національної інфраструктури геопросторових даних та містобудівних кадастрів, сприяння процесу цифрової трансформації будівельної галузі, а також забезпечення створення державної системи зберігання та керування даними, перегляд та розроблення освітніх програм за спеціальностями, пов'язаними з BIM-технологіями, у закладах вищої та передвищої професійної освіти, створення механізмів для перекваліфікації та сертифікації спеціалістів з BIM-технологій, сприяння створенню додаткових курсів із BIM-технологій (проєктування, будівництво, експлуатація) для підготовки необхідної кількості фахівців у цій сфері, створення інформаційних ресурсів, проведення інформаційно-просвітницьких кампаній, тренінгів та семінарів.

6.4 Основні світові підходи до реалізації концепції «Smart city»

«Smart City» або «розумне місто» – поняття, яке трактується по-різному. Хтось сприймає це як місто з гарними економічними показниками, із прогресивним містобудуванням, для когось важливими є наявність сонячних батарей на будівлі міськради та Wi-Fi у тролейбусах, а хтось асоціює з роботами та літаючими автомобілями в міській інфраструктурі.

Якщо шукати в інтернеті, як зробити своє місто smart, то відповідь на це питання ви навряд чи знайдете. Немає ідеальної та остаточно затвердженої концепції. Кожне місто має свої особливості, виклики та проблеми, для вирішення яких відповідно розробляють і запроваджують різні інструменти.

У наші дні концепція «розумного міста» стає актуальнішою щодня. У різних формах вона реалізована або реалізовується у 2 500 містах світу. Існує два варіанти створення Smart City. Перший – це створення «розумного міста» із нуля, тобто будівництво міста з урахування концепції «Smart City». Приклади: Масдар (ОАЕ), Сонгдо (Південна Корея);

Другий варіант – поступове впровадження розумних технологій у вже сформовані міські системи. Очікувано – найпоширеніший спосіб.

Кожне місто обирає та визначає напрямки smart-розвитку самостійно. Багато уваги та зацікавлення викликає Амстердам, який, до речі, входить у п'ятірку кращих «розумних міст» світу. Він розпочав smart-історію у 2009 році, коли влада зосередилася на проблемах збереження енергії та зменшення викидів CO₂, а з часом кількість напрямків зросла. Завдяки інноваційним підходам у багатьох сферах, Амстердам може похизуватися розвитком технологій, покращенням фінансових показників, рівня послуг і загального рівня культури.

Випробуваних та успішних розумних технологій, які можна перейняти та впровадити в містах, існує безліч. Їхня користь не викликає сумнівів. До прикладу:

- мережі сінгапурських smart-стоянок реєструють кількість та розміщення автомобілів, відправляючи у застосунок дані про вільні місця;
- у Барселоні діють розумна система поливу води, мережа «розумних» сміттєвих баків;
- мобільний застосунок «Dubai Polis» допомагає містянам сплачувати штрафи онлайн і повідомляти про правопорушення.

А як smart-справи в Україні? Із урахуванням світового досвіду, в останні роки розпочалося впровадження як повних концепцій «розумного міста», так і окремих інструментів в деяких містах України.

У межах Kharkiv Smart City передбачено 36 проєктів, серед яких «Smart-транспорт» («розумні» світлофори і зупинки, мобільний застосунок для міського транспорту), «Smart-energy» (використання альтернативних джерел енергії), велодоріжки і велопрокат із можливістю заплатити онлайн, системи «E-medicine» і «E-government», інформаційний застосунок «Туризм».

Без такої системної роботи побудувати справжнє розумне місто неможливо. У місті створений Департамент цифрової трансформації та офіс реформ Харкова.

Одним із перших кроків на шляху до «розумного» управління містом стало впровадження технології Mobile ID або «мобільний паспорт» – електронного способу ідентифікації особистості за допомогою мобільного телефону, одного з трьох офіційно визнаних державою в Україні. Харків – перше місто України, яке запровадило цю технологію.

Відкрита консалтинг-зона «Дія. Бізнес», де підприємці можуть отримувати безоплатні та, в деяких випадках, платні консультації щодо розбудови та покращення свого бізнесу. Ці послуги на сьогодні можна отримувати онлайн на порталі «Дія. Бізнес».

Харків посідає перше місце за кількістю ІТ-компаній і спеціалістів. Одним із основних напрямків роботи кластера є співпраця з місцевою владою. Також планується робота щодо поліпшення цифрової грамотності населення. Сьогодні цифрова трансформація має на меті дві речі. Перше – це сервіс.

У кожній сфері, де мешканець контактує з містом, повинна бути впроваджена цифрова трансформація. Друге – це ефективне управління. Цифрова трансформація – це також інструмент, що дозволить департаментам, працівникам міської ради, комунальним підприємствам ще ефективніше управляти своїми процесами. Концепція включатиме в себе переобладнання бібліотек під цифрові бібліотеки, ЦНАПів під точки доступу. Ми хочемо, щоб усі містяни мали доступ до цифрових технологій. На сьогодні в Харкові запроваджено реєстрацію підприємців онлайн. Тепер не тільки фізичні особи та підприємці можуть отримувати допомогу онлайн, а й широкий загал. Сьогодні за 10 хвилин можна відкрити і закрити свою справу, не приходячи до ЦНАПів, внести будь-які зміни до своїх реєстраційних даних.

Хоча в Україні вже працює частина сервісів, які передбачено концепцію розумних міст, зокрема, цифрові квитки на громадський транспорт, системи відеоспостереження на вулицях і в метро, електронний документообіг, онлайн-запис у лікарні та держустанови тощо. Загальна тенденція ще не має всеукраїнського характеру.

Перша проблема, з якою стикаються українські міста на шляху Smart-розвитку, полягає у відсутності стратегічного бачення. Власне для успішної реалізації цієї концепції, Smart-рішення мають бути офіційно закріплені у стратегіях розвитку кожного окремого населеного пункту. Саме цим шляхом йдуть більшість мегаполісів у розвинених країнах.

Другою проблемою є нестача фінансування, адже реалізація цієї концепції залежить не тільки від влади, але й від вкладень бізнесу. Отже, Smart-міста технічно не можуть з'явитись тільки за бюджетні кошти. А на сьогодні бізнес, інвестори та меценати не беруть активної участі у розвитку та впровадженні Smart-концепції. Проте ситуація може змінитися внаслідок подальших змін на фронті, адже іноземні партнери вже виявили бажання долучитися до відбудови українських міст.

Третьою проблемою України є брак кваліфікованих та досвідчених кадрів, які здатні запускати та підтримувати новаторські рішення. І мова йде не тільки про фактичних робітників, які можуть реалізувати світовий Smart-досвід в Україні, але й про єдиний державний орган, який би регулював ці питання. Адже сьогодні над створенням розумних міст працюють міністерства, представники муніципальної влади, неурядові організації та окремі експерти. І, на жаль, не існує єдиної системи, яка б врегулювала напрямки, темпи та інструменти розвитку.

У сьогоднішніх реаліях наявність Smart-концепції – це стратегічна необхідність. І як би прикро це не звучало, але сьогоднішня держава може дати гарне підґрунтя для розвитку системи розумних міст в Україні. Отже, країна має можливість не просто відновити повністю зруйновані міста, але й збудувати їх по-новому, з урахуванням сучасних тенденцій та світового досвіду. Крім цього, у майбутньому, ця концепція не тільки зробить Україну більш інноваційною, конкурентоспроможною та привабливою для українців та іноземних громадян, але й залучить до розвитку держави значно більшу кількість інвесторів.

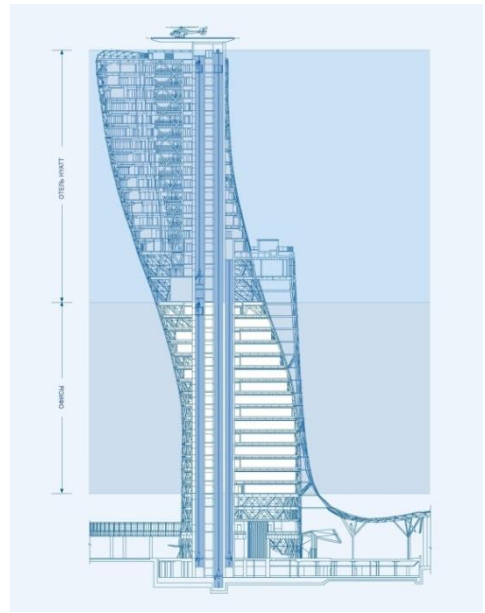
ТЕМА 7 КОНСТРУКТИВНІ ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ УНІКАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ СВІТУ

7.1 Нахилена башта Capital Gate в Абу-Дабі, ОАЕ

Споруда (рис. 7.1) є символом нового бізнес-району Capital Center. Функціональне призначення: 1–18 поверхи – офісні приміщення; 19–33 поверхи – 5-зірковий готель Hyatt (внутрішня площа близько 20 тис. кв. м). Хмарочос був внесений у Книгу рекордів Гіннеса як будинок із найбільшим нахилом у світі. Відхилення від вертикальної осі становить 18 град. На початковому етапі будівництва стовбуру був заданий розрахунковий нахил 350 мм. У міру збільшення поверхів ядро було виведено у вертикальне положення.



а



б

Рисунок 7.1– Будівля Capital Gate, Абу-Дабі, ОАЕ:

а – загальний вигляд; б – розріз за функціональними зонами

Фундамент укріплено 490 палями на глибині 20–30 м. Палі випробовують стискальні зусилля з боку вильоту, із протилежної – зусилля розтягання. Зверху палі з’єднані монолітним залізобетонним ростверком. Конструктивна система: стовбуро-оболонкова. Функцію зовнішньої несучої оболонки виконують діагональні ґрати «Diagrid» (рис. 7.2), які також формують силует будинку. Перші 12 поверхів не мають кривизни. Наступні рівні розташовуються з поступовим збільшенням виступів від 30 см до 140 см. Ядро армоване стрижнями.

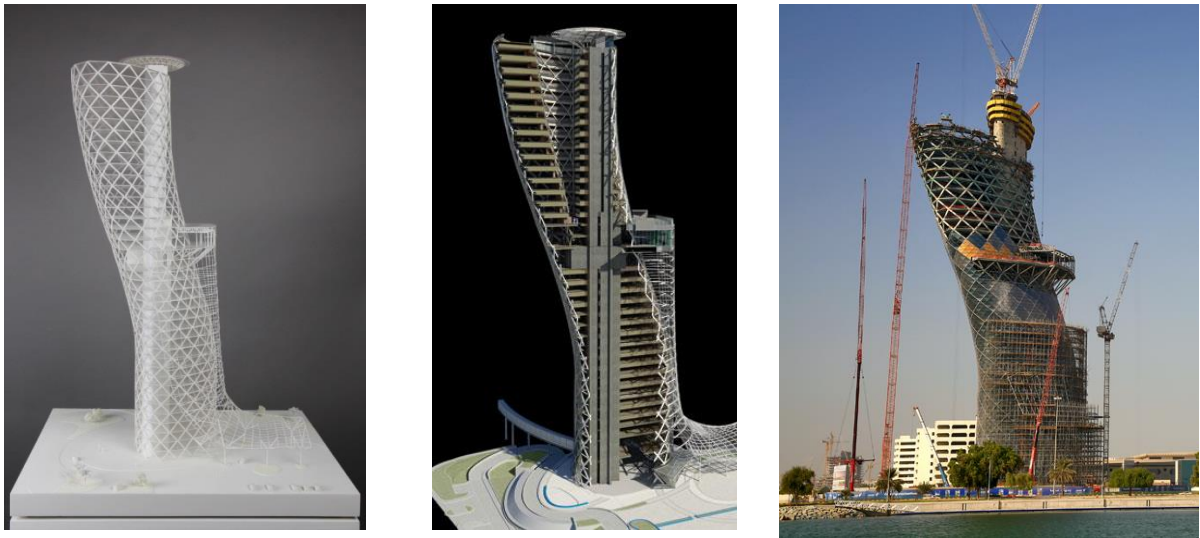


Рисунок 7.2 – Діагональні ґрати «Diagrid»

Кожний поверх в плані відрізняється від іншого.

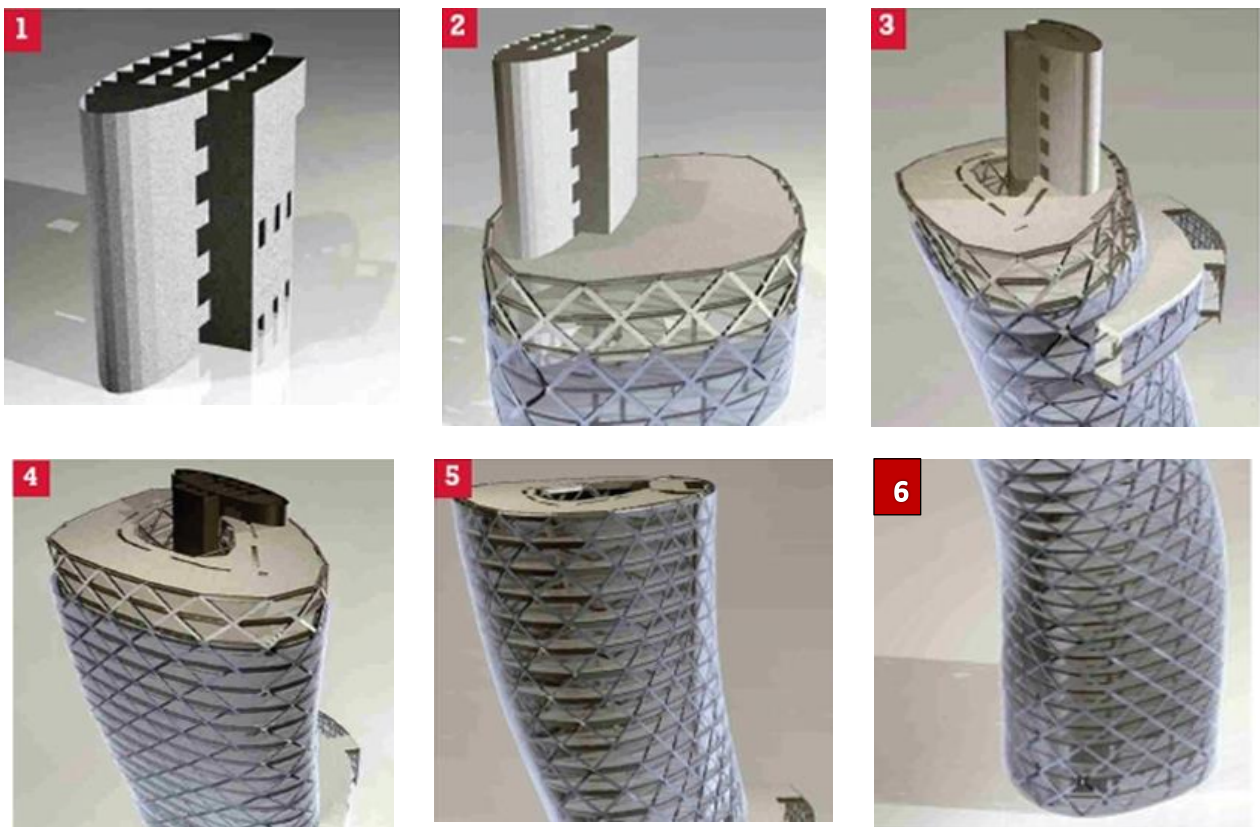


Рисунок 7.3 – Перерізи будівлі на різних рівнях

Конструкція перекриттів формується сталевими балками, що з'єднують ядро й зовнішні діагональні ґрати. Діагональні ґрати з'єднується з балками на рівні плит перекриття, 720 таких секцій створюють зовнішні діагональні ґрати.

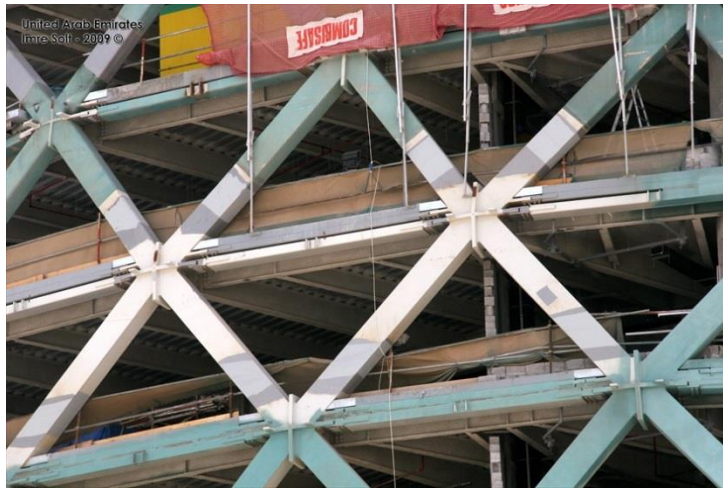


Рисунок 7.4 – Сталеві балки, що з'єднують ядро й зовнішні ґрати

В Абу-Дабі панують слабкі вітри, яким вежа протистоїть за допомогою густої мережі ядрових стін і консольних балок на 17-му технічному рівні. Сонцезахист у вигляді окремої системи. Округла форма сприяє опорі крутінню. Масивне бетонне кільце балок передає вагу діагональних ґрат на фундамент.

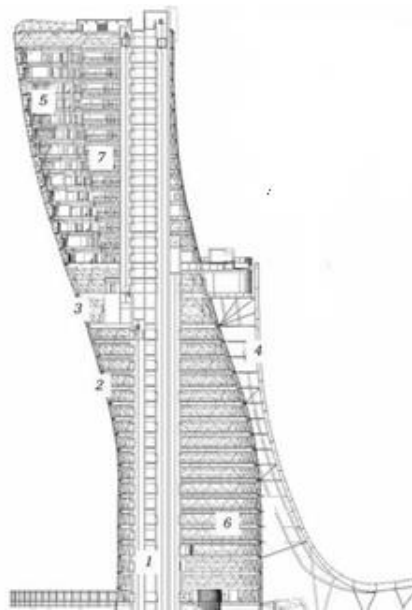


Рисунок 7.5 – Розріз Capital Gate: 1 – ядро; 2 – сталева діагональна решітка; 3 – ферма для опору зусиллю опрокидування; 4 – сонцезахисний пристрій; 5 – готель; 6 – офіси; 7 – атриуми

Поверх ґрат змонтовано 728 скляних панелей. Кожна панель складається з 18 стекол і важить близько 5 тон. Усього на фасаді вежі 12,5 тис. стекол.



Рисунок 7.6 – Скляні фасади Capital Gate

7.2 Хмарочос Таїреї 101, Тайбей, Тайвань, Китай

У 2006 року Newsweek Magazine назвав цей хмарочос одним із семи нових чудес світу. Одне з технічних чудес світу в 2005 році – за версією телеканалу EDiscovery. У будинку перебувають найшвидші у світі ліфти й найбільший у світі інерційний сферичний демпфер. До 2010 року, поки не був введений в експлуатацію хмарочос Бурдж-Халіфа, Тайбей 101 вважався найвищим будинком у світі. Висота 509,2 м (разом зі шпилем).

На сто одному поверсі, загальна внутрішня площа яких становить 412 500м², розташовуються фінансові бізнес-центри. Фундамент – 380 палів, частина з яких забита на 30 м і досягає скельної підстави. Кожна паля має діаметр 1,5 метра й може нести навантаження в 1 000–1 300 тон.

У Тайбеї 31 березня 2002 року відбувся землетрус силою 6,8 балів. Обстеження будівлі показало, що ніякої шкоди землетрусом вежі заподіяне не було, і будівництво відновилося.



Рисунок 7.7 – Зовнішній вигляд Тайбей 101

Конструктивна система хмарочоса – каркасно-стовбурна. Будинок має 101 надземних поверхів і 5 підземних. Будинок складається з 8 виразних ярусів по 8 поверхів у кожному, розташованих над 25 поверховою базовою частиною.

З одного боку, було потрібно спроектувати гнучку конструктивну систему, з іншого – додати будинку міцність, щоб запобігти поперечним зсувам (бічне зрушення) від вітрового навантаження.

Чотири пари надпотужних колон розміром 2,4 м × 3 м у поперечному перерізі, по одній у кожену сторону, і серцевина з 16 колон разом утримують будинок у вертикальному положенні. Між 35 і 77 поверхами бетонні колони, взяті в сталевий корпус, все сильніше зменшуються в товщині, а вище 66 поверху стають суцільно сталевими. Через кожні 8 поверхів розташований технічний відсік, у якому перебувають пересічні сталеві аутригерні ферми. Демпфер становить 800-тонний маятник, закріплений на 93 поверсі. На рівні горизонтальної середньої лінії до кулі прикріплено вісім в'язкісних пристроїв, що демпфірують.

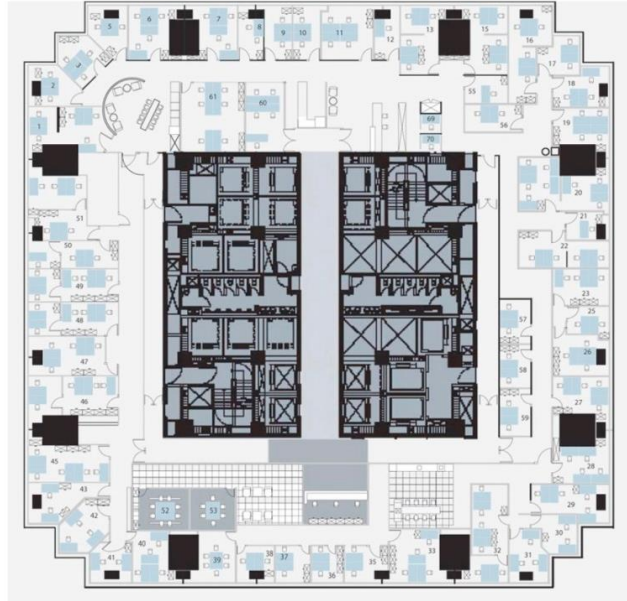


Рисунок 7.8 – Конструктивна система та плани поверхів Тайбей 101

При нормальних умовах амплітуда коливань перебуває в межах 10 см. У випадку катастрофічної сили землетрусу або тайфуну куля буде розгойдуватися з амплітудою 1,5 м. Це перший особливо налаштований монолітний демпфер, що відкрито включається архітектором в інтер'єр будинку.



Рисунок 7.9 – Сферичний демпфер у Тайбей 101

Ліфти піднімаються зі швидкістю 16 м/с, спускаються зі швидкістю 10 м/с. Усього в будинку перебувають 61 ліфтів, включаючи двоповерхові й два швидкісних оглядових ліфта.

Вежа покрита подвійним склінням характерного синьо-зеленого кольору. Воно захищає співробітників від жари й ультрафіолету.

7.3 Споруда Бурдж-Халіфа, Дубаї, ОАЕ

Запаморочливий хмарочос у районі Даунтаун у Дубаї (ОАЕ), так зване «вертикальне місто», який вважається одним із самих елітних і бажаних житлових будинків у світі. Процес зведення вежі почався 6 січня 2004 року й тривав ледве менше шести років.



Рисунок 7.10 – Зовнішній вигляд Бурдж-Халіфа

На будівництві Бурдж-Халіфи були задіяно три найбільші у світі автокрани вантажопідйомністю 25 тон кожний, плюс там щодня працювало близько 12 000 робітників. У процесі була використана величезна кількість матеріалів: близько 320 000 кубічних метрів бетону й більше 60 000 тон арматури зі сталі. Спеціально для хмарочоса Бурдж-Халіфа навіть розробили марку особливого бетону, який витримує температуру до +50 °С. Усі роботи з бетоном були закінчено на рівні 160 поверху, а далі почалося спорудження сто вісімдесяти метрового металевого шпиля.

Якщо дивитися зверху, своїм широким фундаментом хмарочос утворює Y-подібну форму. Потім вежа поступово звужується догори, що зменшує її площу. Хмарочосу спеціально додали несиметричну форму, щоб мінімізувати можливість його розгойдування через вітер.

Будинок досягає 828 метрів, що робить його найвищим у світі. Вежа Бурдж-Халіфа, висота якої майже в три рази більше Ейфелевої вежі у Франції й

удвічі більше Емпайр-Стейт-Білдінг у США. Крім цього, Бурдж-Халіфа може пишатися ще декількома побитими світовими рекордами. Це найвище окремо розташоване спорудження у світі, яке має найвищий у світі оглядовий майданчик під відкритим небом, ліфт із самим довгим ходом у світі (504 м) і найвищий службовий ліфт. Поверхів у будівлі 163 (найбільше у світі). Площа Бурдж-Халіфа дорівнює площі 17 футбольних полів. Ще один запаморочливий факт – це те, скільки важать матеріали хмарочоса. Просто порівняйте: вага бетону еквівалентна вазі 100 000 слонів, а загальна вага алюмінію, використаного під час будівництва Бурдж-Халіфа, еквівалентна вазі п'яти літаків А 380.

Бурдж-Халіфа – перша з найвищих веж у світі, у якій є житлові приміщення. У житловому крилі на рівнях з 19 по 108 розташовано 900 резиденцій: студії, а також апартаменти з однією, двома, трьома й чотирма спальнями. Також у хмарочосі є ексклюзивні готелі, офісні приміщення, тренажерні зали, бутики, ресторани, 2 957 парковочних місць і багато чого іншого. Найвищий поверх із квартирою, займаною людьми на висоті 385 м, перебуває саме тут.

Повітря в хмарочосі спеціально прохолоджується, а також постійно насичується приємним ароматом, який подається через отвори в підлозі. Ексклюзивний свіжий захід був створений спеціально для вежі Бурдж-Халіфа, що є ще однією вигідною перевагою цього архітектурного чуда.

У будинку добре продумано повторне використання ресурсів, що дуже важливо, особливо в умовах пустельного клімату. За допомогою системи збору конденсату тут щороку акумулюється близько 40 мільйонів літрів води, яка потім використовується для поливу, озеленення, функціонування системи охолодження й для постачання Дубайського фонтана.

Основою для Бурдж-Халіфа слугує масивна система з потужних паль і товстої монолітної фундаментної плити, 192 буронабивні палі, діаметр яких близько 1,5 метрів, заглиблені приблизно на 47 метрів у товщу ґрунту. Потужна фундаментна плита товщиною 3,7 метрів спирається на вершини паль під усією

площею будинку й перебуває на глибині 7,55 м від рівня верхнього шару ґрунту. Це був найбільш доцільний розв'язок для такого будинку.

Мінімальна відстань від центра до центра палі для вежі в 2,5 рази більше діаметра палі. Тому численні випробування проводилися з метою забезпечення того, щоб підстава вежі була стабільна й стійка як по вертикалі, так і в бічному напрямку за умови, що підстава діє як одна загальна система, що включає палі й ґрунти. Ґрунт, на який передаються навантаження від фундаментів і всього будинку в цілому зазвичай складається із середніх щільних пісків, що залягають до скельних ґрунтів.

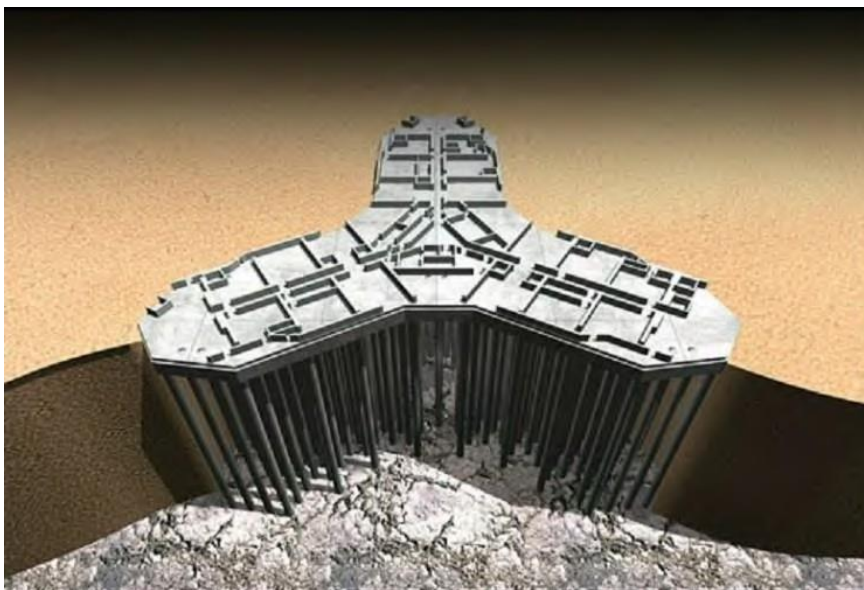


Рисунок 7.11 – Схема фундаментів Бурдж-Халіфа

Проводилися чисельні лабораторні випробування для виявлення точних геотехнічних характеристик ґрунтів. Умовно можна розділити випробування на два класи: звичайні випробування, що включають зміст вологи, межі міцності, гранулометричний состав, питому вагу, міцність при необмеженому стиску, індекс навантаження в точці й прями випробування на зрушення; складні тести, включаючи тривісний стиск, резонанс колони, циклічне бездренажне тривісне випробування, циклічні прості зрушення й постійні нормальні жорсткості (CNS) прямого зрушення. Ці тести були проведені за допомогою різних наукових і університетських лабораторій у Великобританії, Данії й Австралії. Ряд аналізів

були використані для оцінки реакції фундаменту для Бурдж-Халіфа і фундаментної плити. Основна модель конструкції була розроблена з використанням методу скінченних елементів (CE) програми ABAQUS спеціалізованою британською фірмою «KW Ltd».

Перед проектуванням будинку й фундаментів під нього були проведені численні геотехнічні дослідження ґрунтів. У ході досліджень було пробурено приблизно 33 шпари. При цьому використовувалися різні методи буріння. На додаток до цього, було проведено близько 60 випробувань на стиск, а також сейсмічні й вітрові дослідження. Статичні випробування на навантаження були проведено двома способами: були випробувані 7 пробних паль до будівництва фундаменту; були випробувані 8 паль на етапі будівництва фундаменту. Крім того, були проведені випробування на динамічні навантаження, у них брали участь 10 паль будинку й 31 паля монолітної фундаментної плити, тобто близько 5 % загальної кількості паль будинку.

Ґрунтові води в зоні проектованого будинку перебували на рівні 2,5 м від рівня верхнього шару ґрунту. Ґрунт на ділянці будівництва будинку має доволі складний горизонтально-шаруватий профіль, геотехнічні властивості якого сильно варіюються із глибиною. Це й було основним чинником у визначенні розмірів фундаменту. Тримальна здатність паль досягається переважно через сили тертя поверхні бетонної палі об піщані й скельні породи.

Різні програмні обчислювальні комплекси на основі методу скінченних елементів були використані для аналізу всієї системи фундаментів. Передбачуване осідання будинку на стадії проектування становило близько 75 мм, але моніторинг, який здійснювався під час будівництва, показав лише близько 30 мм, коли було прикладено вже близько 75 % усього навантаження. Усе це говорить про величезну й правильну роботу, проведеною командою інженерів під час проектування й будівництва вежі Бурдж-Халіфа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Симонов С. І. Застосування ВІМ-технологій у галузі знань «Архітектура і будівництво» на прикладі кафедри «Архітектура і містобудування» СНУ ім. В. Даля / С. І. Симонов, О. А. Черних // Нові технології у будівництві. – 2021. – № 40. – С. 24–31. – DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.40.3>.

2. Інновації в будівництві та реконструкції : підручник / [А. В. Ковров, О. І. Менейлюк, Т. М. Дубельт, А. Ф. Петровський] ; за заг. ред. О. І. Менейлюка. – 2-ге вид., перероб. та допов. – Київ : Гельветика, 2022. – 650 с.

3. Інноваційні екологічно чисті будівельні матеріали [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно, – Режим доступу: <https://constructive-voices.com/uk/ua>, вільний (дата звернення: 21.01.2025). – Назва з екрана.

4. Передові системи термомодернізації будівель і споруд. Навч. курс : навч. посіб. / Надія Іволжатова, Тетяна Дрімко, Тарас Холеван та ін. – Київ : Гельветика, 2020. – 116 с. ISBN 978-966-992-150-5

5. Наукова періодика України [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно, – Режим доступу: <https://journals.uran.ua>, вільний (дата звернення: 21.01.2025). – Назва з екрана.

6. Електронний каталог Нац. б-ки України ім. В. І. Вернадського [Електрон. ресурс] \ Нац. б-ки України ім. В. І. Вернадського : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://www.nbuv.gov.ua>, вільний (дата звернення: 21.01.2025). – Назва з екрана.

7. Останні інновації в будівництві: новини, аналітика [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: https://house.24tv.ua/innovatsiyi_budivnitstva_tag7606/, вільний (дата звернення: 21.01.2025). – Назва з екрана.

8. Золотова Н. М. Сучасні матеріали та технології будівництва [Електрон. ресурс] : конспект лекцій для студентів ден. форми навчання освіт. рівня «бакалавр» зі спец. 191 – Архітектура та містобудування / Н. М. Золотова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 135 с. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/364905432.pdf>, вільний (дата звернення: 21.01.2025). – Назва з екрана.

9. Електрон. архів наук. публ. України (e-archive) [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://www.irbis-nbuv.gov.ua>, вільний (дата звернення: 21.01.2025). – Назва з екрана.

10. Цифровий репозиторій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua>, вільний (дата звернення: 25.05.2024). – Назва з екрана.

Електронне навчальне видання

ЛУГЧЕНКО Олена Іванівна

**ІННОВАЦІЙНІ КОНСТРУКЦІЇ,
МАТЕРІАЛИ ТА ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського)
рівня вищої світи денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 191 – Архітектура та містобудування)*

Відповідальний за випуск *П. М. Фірсов*
Редактор *О. В. Михаленко*
Комп'ютерне верстання *О. І. Лугченко*

План 2024, поз. 1Л

Підп. до друку 28.02.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 3,9.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Черноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.