

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.53-68

УДК 725.4

Бурлака Ю.М.,

burlaka_ym-2022@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6604-5189,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВІ ТА АРХІТЕКТУРІ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УКРАЇНІ

Розглянуто специфіку впровадження інформаційного моделювання будівель (BIM — Building Information Modeling) у проектування та будівництво атомних електростанцій (АЕС) в Україні. У зв'язку з високими вимогами до безпеки, довготривалим життєвим циклом об'єктів та складністю інженерних рішень, використання BIM-технологій надає суттєві переваги на всіх етапах реалізації проєктів. Зокрема, BIM забезпечує інтеграцію архітектурних, інженерних і технологічних систем у єдину цифрову модель, що дозволяє підвищити точність проєктної документації, зменшити ризики помилок і спростити координацію між підрядниками. У роботі аналізуються українські реалії впровадження BIM у сфері ядерної енергетики, враховуючи законодавчі обмеження, рівень цифрової підготовки галузі, а також наявність спеціалізованого програмного забезпечення та фахівців. Окрему увагу приділено аналізу міжнародного досвіду, який може бути адаптований до вітчизняного контексту для забезпечення безпечного та ефективного будівництва нових енергоблоків. Зазначено, що одним із головних викликів є необхідність адаптації BIM-моделей до вимог ядерного регулювання та інтеграції з існуючими системами управління безпекою. Таким чином, впровадження BIM у проєкти АЕС є перспективним напрямом, що дозволяє не лише оптимізувати проєктно-будівельні процеси, а й значно підвищити рівень контролю та безпеки на всіх етапах життєвого циклу об'єкта. Розвиток цієї технології в Україні потребує комплексного підходу, включаючи державну підтримку, освітні ініціативи та активну участь фахівців галузі.

Ключові слова: промислова архітектура; атомні електростанції; BIM-технології; промислові спорудження.

Постановка проблеми. Аналіз світового досвіду показує, що BIM-технології є однією з найбільш передових цифрових технологій у будівництві. Вони дозволяють створювати та спільно використовувати будівельну

інформаційну модель об'єкта (будівля або споруда), яка містить усі необхідні дані для управління об'єктом протягом всього його життєвого циклу.

Будівельна галузь України має низку проблем, пов'язаних з відсутністю системного підходу до створення та обміну цифровою інформацією. Це ускладнює прийняття стратегічних рішень та впровадження нових методів та технологій як у проєктуванні, так і в будівництві.

Узагальнюючи, на сьогоднішній день у галузі будівництва існують такі проблеми:

- вартість будівництва є високою;
- управління проєктами, будівництвом та експлуатацією неефективне;
- матеріальні ресурси використовуються неефективно;
- не існує системного управління життєвим циклом будівель та об'єктів в цілому;
- нормативи та стандарти у будівництві застарілі;
- енергоспоживання в будівельному секторі є високим, що призводить до забруднення навколишнього середовища;
- аварійність на будівельних об'єктах є високою.

Вищезазначена проблематика також стосується проєктування та будівництва атомних електростанцій, як складного виробничо-технологічного комплексу, призначеного для виробництва енергії в заданих режимах і умовах застосування, розташованого в межах визначеної проєктом території і укомплектований необхідним персоналом, на якому для здійснення цієї мети використовується ядерний реактор (реактори) з комплексом необхідних систем, пристроїв, обладнання, будівель та споруд [1].

Аналіз останніх досліджень. Станом на сьогоднішній день у літературі України бракує напрацювань, які б різнобічно досліджували проєктування атомних електростанцій. Здебільше, заданою тематикою займаються науковці за напрямком технічних наук, а саме питанням класифікації атомних електростанцій (- далі АЕС) з різними типами первинних двигунів, фізичні процеси, що протікають в основному та допоміжному енергетичному обладнанні, наближені теплобалансні розрахунки паротурбінних установок на ядерному паливах, розміщення енергетичного обладнання та принципи, що лежать в основі експлуатації АЕС [2], особливості протипожежного захисту атомних електростанцій [3], а також перспективами будівництва нових АЕС [4].

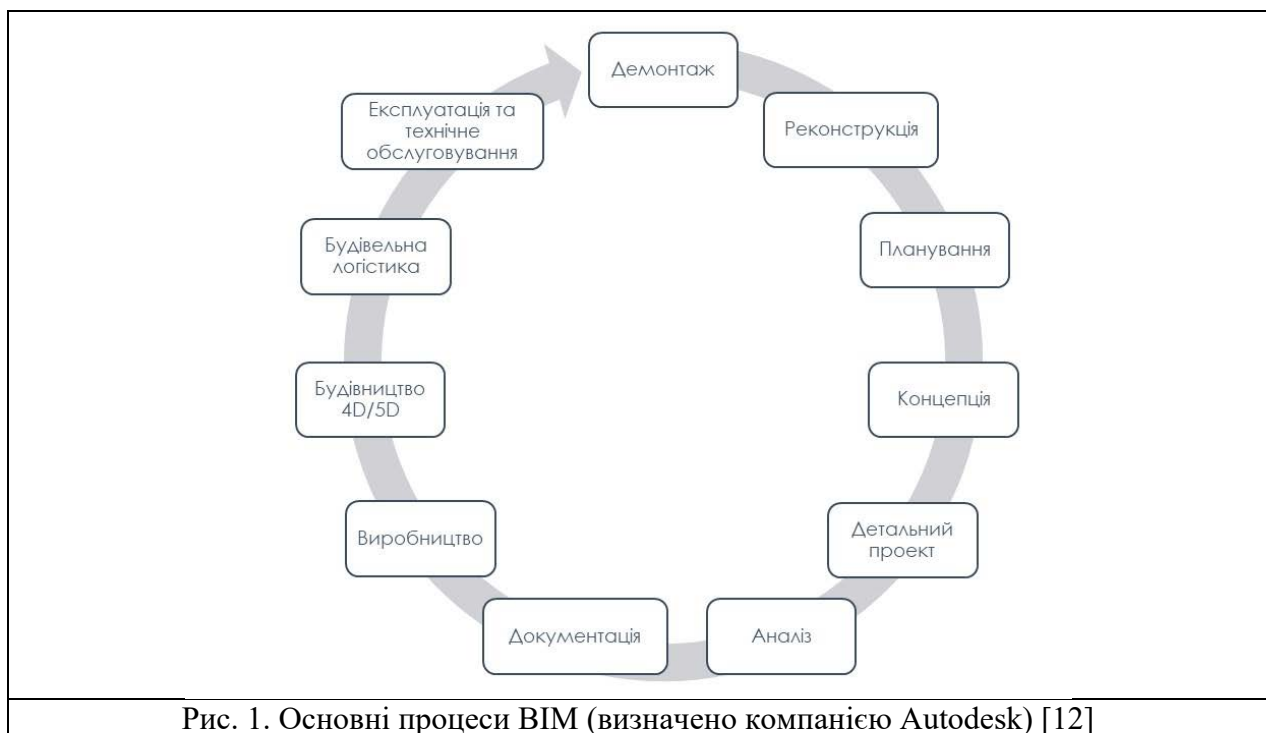
Навпроти, в роботах сучасних вітчизняних науковців детально висвітлено питання еволюції BIM – технологій та досліджено багато аспектів BIM-технологій, як інструментарію для створення інформаційної моделі життєвого циклу об'єкта будівництва [5-7].

Особливості архітектури атомних електростанцій, формування їх функціонально-планувальної організації як промислових об'єктів з важким технологічним режимом були висвітлені у низці публікацій [8-11].

Мета статті. Ознайомити читача з закордонним та вітчизняним досвідом проєктування атомних електростанцій, що може бути використано для гармонізації українського законодавства, а також з освітньою метою.

Методи дослідження. Натурні обстеження вітчизняних атомних електростанцій та проєктної документації, аналіз літератури, інтернет-джерел, наукових видань.

Виклад основного матеріалу. BIM-технології – це новий підхід до управління цифровою інформацією, який застосовується у будівництві та містобудуванні. Завдяки їх застосуванню можна віртуально відтворити об'єкт ще до початку його будівництва, відслідковувати процеси життєвого циклу будівельного об'єкту – від проєктування до його зведення, експлуатації та демонтажу.



Для прикладу, компанія Autodesk, американська компанія, постачальник програмного забезпечення для промислового та цивільного будівництва, машинобудування, ринку засобів інформації та розваг, визначає інформаційне моделювання будівель (BIM) як те, що надає фахівцям можливість створювати всю інформацію про проєкт та керувати нею протягом усього життєвого циклу будівлі, дозволяючи їм отримати уявлення раніше, покращити координацію міждисциплінарної команди та мінімізувати втрату даних та неточності у

проектуванні. Основні процеси, що можливо реалізувати використовуючи BIM-технології, визначені компанією Autodesk (Рис.1).

Перші системи автоматизації проектування (САПР) були двовимірними та відтворювали класичні креслення (2D). Однак розвиток комп'ютерних технологій дозволив розробникам САПР для будівництва перейти до створення об'ємних моделей (3D). Цей етап характеризується складною взаємодією програмістів та проектувальників (Рис. 2).

Часто розвиток технологій у галузі будівництва диктується програмістами, а не проектувальниками. Кваліфікований інженер-будівельник або архітектор може зрозуміти конструктивні характеристики об'єкта з плоского креслення, тому додаткова інформація йому не потрібна. Тривимірні моделі є більш наочними, але їхнє активне використання визначається не потребами спеціалістів, а можливостями програмного забезпечення та адаптивністю для сприйняття інших учасників будівництва. Будь-яке креслення є інформаційною моделлю, але вона не є вичерпною.

Раніше BIM-модель вважали просто 3D-кресленням, проте BIM-модель дозволяє описати не тільки об'єкт, а й процес його зведення, тому в ній стали враховувати час. Такі моделі називають 4D-проектами. Будівництво сьогодні є складним процесом, який вимагає врахування не тільки технічних, а й економічних чинників. Тому з'явилися 5D-проекти, які враховують час, витрати та інші економічні показники. Сучасні програмні продукти дозволяють створювати BIM-моделі, які не є сукупністю графічних елементів. Вони містять інформацію про тип об'єкта, необхідні ресурси та інші показники, таким чином BIM-модель може бути багатовимірною (N-D-проектування)[7].



На сьогодні немає єдиного визначення того, що повинна включати в себе повноцінна BIM-модель. Це пов'язано з рядом проблем, як технологічних, так і організаційно-технічних. Числова інформація, яка міститься в інформаційній моделі будівлі (BIM), може використовуватися для таких цілей:

- Прийняття проектних рішень: BIM дозволяє архітекторам, інженерам та іншим фахівцям співпрацювати над створенням точної та узгодженої моделі

будівлі. Це може допомогти їм приймати більш обґрунтовані рішення на ранніх етапах проєктування, що може призвести до економії часу та коштів.

- Створення проєктної документації: BIM може використовуватися для створення високоякісної проєктної документації, яка може включати креслення, специфікації та іншу документацію. Це може допомогти уникнути помилок і ускладнити процес будівництва.

- Прогнозування експлуатаційних характеристик: BIM може використовуватися для прогнозування експлуатаційних характеристик будівлі, таких як енергоефективність, комфорт та зносостійкість. Це може допомогти власникам будівель приймати більш обґрунтовані рішення щодо управління будівлею.

- Розробка кошторисів та будівельних планів: BIM може використовуватися для розробки кошторисів та будівельних планів, що може допомогти власникам будівель контролювати витрати та хід будівництва.

- Заовлення та виготовлення матеріалів, конструкцій та обладнання: BIM може використовуватися для заовлення та виготовлення матеріалів, конструкцій та обладнання, що може допомогти уникнути помилок та зменшити витрати.

- Управління процесом будівництва та експлуатацією будівлі: BIM може використовуватися для управління процесом будівництва та експлуатацією будівлі, що може допомогти власникам будівель забезпечувати ефективний та безперебійний функціонування будівлі.

- Управління будівлею як об'єктом комерційної діяльності: BIM може використовуватися для управління будівлею як об'єктом комерційної діяльності, що може допомогти власникам будівель збільшувати прибуток.

- Планування проєктування, реконструкції, ремонту, демонтажу та утилізації будівлі: BIM може використовуватися для планування проєктування, реконструкції, ремонту, демонтажу та утилізації будівлі, що може допомогти власникам будівель приймати більш обґрунтовані рішення про майбутнє будівлі.

Сучасне інформаційне моделювання будівель (BIM) тісно пов'язане з управлінням ефективністю будівництва (Building Performance Management) та управлінням життєвим циклом будівлі (Building Lifecycle Management). BIM дозволяє не лише спрощувати виробництво та монтаж конструкцій, але також відстежувати ефективність інвестицій та збирати якісні та кількісні дані, які можна використовувати в різних аспектах діяльності.

Влітку 2020 року Україна затвердила національний стандарт управління та використання технологій BIM у сфері будівництва та містобудування (19650-1:2020). Варто зазначити, що цей документ ідентичний міжнародному

стандарту ISO та потребує усунення колізій з нинішніми нормативно-правовими документами.

Для врегулювання питань пов'язаних з впровадженням цифрових технологій у будівництві та проєктуванні від 17 лютого 2021 року розпорядженням № 152-р. Кабінету Міністрів України (— далі КМУ) схвалено «Концепцію впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації»[13].

Концепція впровадження BIM-технологій у будівництві визначає механізми впровадження цих технологій як інструменту для цифрової трансформації галузі. Концепція розрахована на 2025 рік та планується реалізовуватись поетапно.

На першому етапі, який триватиме з 2021 по 2022 рік, передбачається [13]:

- Розробити та затвердити зміни до законодавства, які регулюють використання BIM-технологій.
- Прийняти нормативні документи, гармонізовані з міжнародними та європейськими стандартами.
- Прийняти національні стандарти, які визначають основні вимоги до проектної документації та проведення експертизи.
- Затвердити національні класифікатори будівель і споруд, будівельної продукції, матеріалів, робіт та послуг.
- Розробити проекти повторного використання для пріоритетних об'єктів соціальної інфраструктури, створених із використанням BIM-технологій.
- Розробити методику визначення та оцінювання життєвого циклу об'єктів будівництва.
- Забезпечити умови для навчання (підвищення кваліфікації) щодо використання BIM-технологій у будівництві.

Ці заходи спрямовані на створення законодавчої та нормативно-технічної бази для впровадження BIM-технологій у будівництві, а також на підвищення кваліфікації фахівців у цій галузі.

На другому етапі впровадження BIM-технологій у будівництві, який триватиме з 2023 по 2025 рік, передбачається [13]:

- Повністю оновити будівельні норми з урахуванням особливостей застосування BIM-технологій.
- Забезпечити реалізацію пілотних проєктів будівництва з використанням BIM-технологій на рівні не менше ніж 10 відсотків проєктів будівництва, що фінансуються за рахунок видатків державного бюджету.

Ці заходи спрямовані на повне впровадження BIM-технологій у будівництві, зокрема, на забезпечення їхньої відповідності будівельним нормам та на поширення їхнього використання на більш широке коло об'єктів.

Таким чином, спираючись на низку досліджень в області перспектив розвитку ядерної енергетики та будівництва нових потужностей [14-16], варто зазначити, що важливим завданням для ядерної енергетики України є забезпечення експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектні строки та будівництво нових потужностей для заміщення енергоблоків, які виводять з експлуатації, що є складним та тривалим процесом, який вимагає дотримання жорстких вимог безпеки, а також здійснюється за державний кошт. Адже оператором всіх українських атомних електростанцій в Україні є АТ «НАЕК «Енергоатом», 100% акції якого належать державі, а будівництво нових блоків та супутніх об'єктів ядерної енергетики фінансується за державний кошт, враховуючи складність та високотехнологічність енергетичного підприємства, економічно доцільно використовувати BIM-технології для проектування та будівництва нових АЕС та удосконалення існуючих. Також використання BIM-моделей має сенс для покращення експлуатації, реконструкції, добудови, зняття з експлуатації ядерних об'єктів.

Такий підхід у будівництві та проектуванні дає змогу підвищити безпеку та надійність АЕС, проектувати складні інженерні мережі та обладнання АЕС та уникнути колізій у їх проектуванні, розробити технологічні схеми, здійснювати оперативне керівництво процесами будівництва та контролю якості виконання будівельних робіт, суттєво зменшити ймовірність помилок у проєктах АЕС, зменшити терміни та вартість будівництва, оптимізувати витрати на стадії експлуатації зменшити витрати при завершенні експлуатації.

Прикладом використання BIM-технологій при проектуванні та будівництві АЕС є Компанія Westinghouse Electric Company, що розробила економічно вигідний та безпечний проєкт ядерної установки AP1000. На основі цього проєкту, з урахуванням європейських вимог (EUR), у співпраці з італійською Genesi створено EP1000. Такі країни як Великобританія та Китай розглядаються як перспективні шляхи для впровадження технології AP1000, варто зазначити, що в Китаї вже працюють чотири енергоблоки з таким реактором, значна частина обладнання для яких вироблена локально.

Westinghouse, за участі партнерів, розробила детальну 3D-модель AP600 (понад 8 років роботи) та план будівництва тривалістю 36 місяців (з використанням Primavera), що дозволило створити 4D-графік спорудження. Впровадження 4D-моделі CAVE візуалізації будівництва, яка дозволяє спостерігати за процесом у реальному часі, прогнозує скорочення термінів будівництва щонайменше на 4 місяці. Безпека AP1000 забезпечується

пасивними системами, що відповідають усім вимогам регулятора США, включаючи принцип одиначної відмови та нові вимоги до пасивного охолодження протягом щонайменше трьох діб без зовнішніх джерел енергії та дій оператора.

Також Компанія Westinghouse використовувала BIM-технології при проектуванні та будівництві АЕС Vogtle 3 і 4 в США (Рис. 3). Завдяки використанню BIM вдалося скоротити терміни будівництва на 18 місяців та заощадити 1,5 млрд. доларів. Компанія Westinghouse використовувала BIM-технології для створення єдиної інформаційної моделі АЕС, яка включала в себе всі елементи проекту, від реакторного блоку до супутніх будівель та споруд. Ця модель використовувалася всіма учасниками проекту для координації їхніх робіт та уникнення помилок.



Рис. 3. Атомна електростанція Vogtle 3 і 4 в США [17]

Також компанія AREVA використовувала BIM-технології при проектуванні та будівництві АЕС Olkiluoto 3 у Фінляндії (Рис. 4). Завдяки використанню BIM вдалося виявити та усунути 1000 помилок, що знизило ризик помилок при будівництві. Компанія AREVA використовувала BIM-технології для створення цифрової копії АЕС, яка дозволяла інженерам перевіряти дизайн і конструкцію станції на наявність помилок. Ця технологія також використовувалася для створення віртуальних моделей, які використовувалися для навчання персоналу АЕС.

Компанія AREVA використовувала BIM-технології для створення високоточних 3D-моделей АЕС, які використовувалися для створення проєктної документації. Ця технологія також використовувалася для створення віртуальних моделей, які використовувалися для аналізу експлуатаційних характеристик АЕС. Ці приклади показують, що BIM-технології можуть бути

використані для підвищення ефективності та безпеки будівництва АЕС. BIM дозволяє всім учасникам проекту працювати з єдиною інформаційною моделлю, що покращує координацію і взаємодію між ними. BIM також дозволяє виявити і усунути помилки на ранніх етапах проекту, що знижує ризик помилок при будівництві.

Використання BIM-технологій при проектуванні та будівництві АЕС дозволяє підвищити ефективність та безпеку будівництва, а також скоротити терміни та витрати, проте впровадження BIM-технологій в Україні є достатньо складним процесом.

Перші проблеми, які виникають при використанні BIM-технологій, пов'язані з адаптацією інформації в програмному забезпеченні до національних стандартів, характеристик будівельної продукції та обладнання. Формалізація опрацювання даних є більш складною задачею, оскільки вона повинна враховувати не тільки окремі елементи об'єкта, в данному випадку АЕС, але й їх взаємодію. Багато показників неможливо пов'язати з лінійними елементами креслення, які використовують проєктувальники.

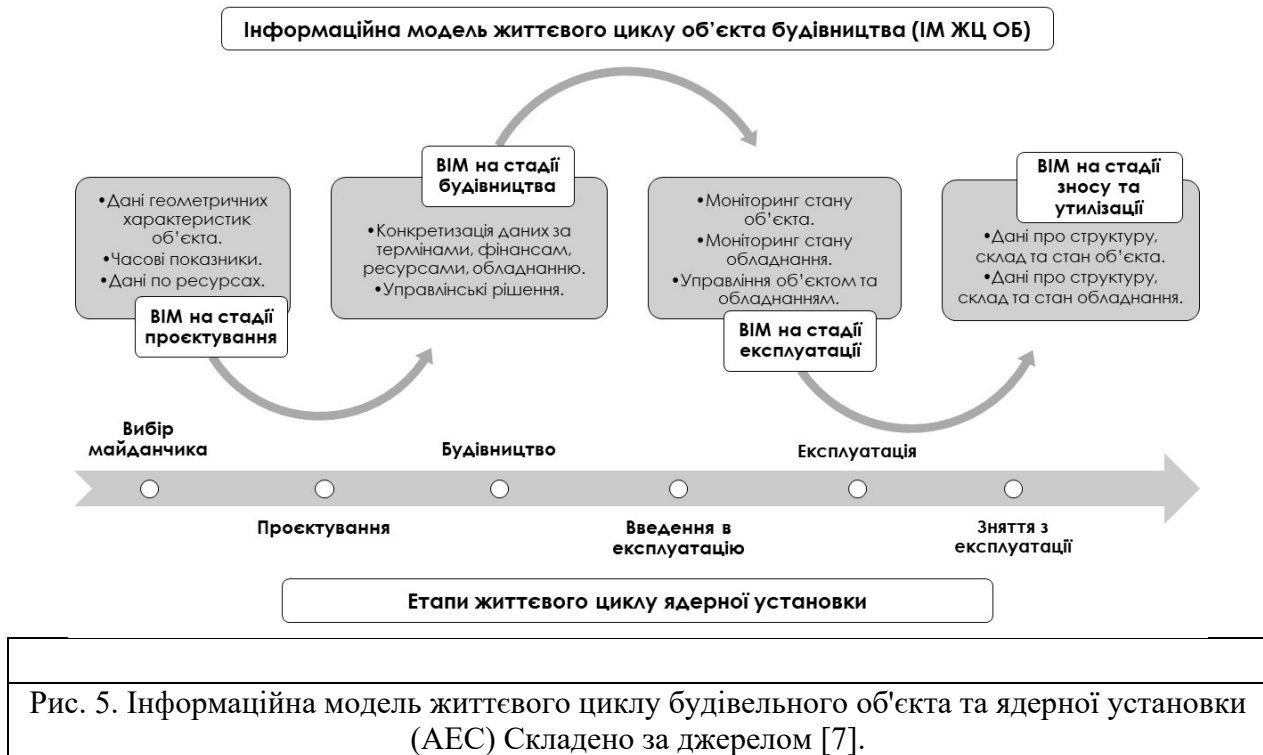


Рис. 4. Атомна електростанція Olkiluoto 3 у Фінляндії [18]

Сучасне будівництво АЕС розглядається не тільки з технічної точки зору, але й як об'єкт управління. BIM-технології дозволяють ефективно управляти проектом, оскільки вони забезпечують доступ до всіх необхідних даних.

Перехід на більш ефективний рівень управління проектом може принести як переваги, так і проблеми. З одного боку, це дозволить отримати максимальну віддачу від використання BIM-технологій для проектування та будівництва АЕС. З іншого боку, можуть виникнути організаційні проблеми, пов'язані з невідповідністю цілей та завдань інформаційного моделювання сформованій практиці містобудівної діяльності та ядерної енергетики.

В цілому, інформаційне моделювання будівництва має бути комплексним і враховувати всі етапи життєвого циклу об'єкта [7], що добре адаптується до поняття етапів життєвого циклу ядерної установки, а саме: вибір майданчика, проектування, будівництво, введення в експлуатацію, експлуатація, зняття з експлуатації (Рис.5).



В цілому, інформаційне моделювання будівництва має бути комплексним і враховувати всі етапи життєвого циклу об'єкта [7], що добре адаптується до поняття етапів життєвого циклу ядерної установки, а саме: вибір майданчика, проектування, будівництво, введення в експлуатацію, експлуатація, зняття з експлуатації (Рис.5).

В Україні BIM-технології здебільше використовуються лише на ранніх етапах будівництва, а будівництво ядерних об'єктів поки що здійснюється на базі 2D-проектування, хоча потенціал BIM-технології дозволяє використовувати їх на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

Поширення BIM-технологій у будівництві АЕС стримується низкою факторів, зокрема, розрізненістю етапів життєвого циклу об'єкта та відсутністю єдиних інтересів учасників цього процесу. До того ж використання BIM-технологій є дорогим, особливо на початковому етапі, коли доводиться розробляти нові підходи та методи. При цьому важливо враховувати, що інформаційна модель повинна містити дані, необхідні не тільки проектувальникам, але й іншим учасникам будівництва та експлуатації об'єкта. BIM-технології дозволяють проектувальникам підвищити ефективність своєї

роботи, зокрема, виявляти помилки на ранніх етапах, автоматизувати опрацювання даних та формувати різні види звітів.

Крім того, існує ряд технічних, організаційних та юридичних проблем, пов'язаних з передачею інформаційних моделей від одного користувача до іншого. Наприклад, важливо визначити, які дані повинні бути включені в модель, як вони повинні бути представлені та кому належать права на зібрану інформацію.

Будівельники зазвичай не зацікавлені в придбанні ВІМ-моделей, оскільки вони не мають безпосередньої потреби в них. Вони швидше використовують ВІМ-моделі для внесення конкретних даних про матеріали, технології та обладнання, які будуть використовуватися на стадії будівництва, проте ВІМ-модель корисна для інвесторів для оптимізації витрат на проектування та будівництво АЕС та експлуатуючої організації АЕС для оперативного керування всіма етапами життєвого циклу ядерної установки.

Деякі дані з ВІМ-моделей АЕС можуть бути корисними для будівельників при виконанні типових проєктів у майбутньому. Однак замовники, зазвичай, не згодні інвестувати в отримання цих даних, через непроінформованість про можливості вищезгаданих технологій.

Висновки.

Використання ВІМ-технологій при проектуванні та будівництві АЕС має потенціал для значного підвищення ефективності та безпеки цих об'єктів. ВІМ дозволяє всім учасникам проєкту працювати з єдиною інформаційною моделлю, що покращує координацію і взаємодію між ними. ВІМ також дозволяє виявити і усунути помилки на ранніх етапах проєкту, що знижує ризик помилок при будівництві.

Використання ВІМ для аналізу експлуатаційних характеристик АЕС: ВІМ-технології можуть використовуватися для створення віртуальних моделей АЕС, які можуть використовуватися для аналізу експлуатаційних характеристик станції. Наприклад, ВІМ може використовуватися для аналізу потоків теплоносія, акустичних характеристик або вібрації.

Використання ВІМ для навчання персоналу АЕС: ВІМ-технології можуть використовуватися для створення віртуальних моделей АЕС, які можуть використовуватися для навчання персоналу станції. Наприклад, ВІМ може використовуватися для навчання персоналу збору проб, технічного обслуговування або аварійного відключення.

Використання ВІМ для підвищення ефективності експлуатації АЕС: ВІМ-технології можуть використовуватися для підвищення ефективності експлуатації АЕС. Наприклад, ВІМ може використовуватися для розробки

планів технічного обслуговування, оптимізації витрат на матеріали та енергію, або для прогнозування експлуатаційних витрат.

Однак, використання BIM-технологій при проектуванні та будівництві АЕС також має деякі виклики. Одним з викликів є необхідність навчання персоналу роботі з BIM-технологіями. Іншим викликом є необхідність розробки стандартів для BIM-моделей АЕС.

Незважаючи на ці виклики, використання BIM-технологій при проектуванні та будівництві АЕС є перспективним напрямком розвитку. BIM має потенціал для підвищення ефективності та безпеки будівництва АЕС, а також для скорочення термінів і витрат будівництва.

Список джерел

1. Про затвердження Загальних положень безпеки атомних станцій: Наказ Держ. ком. ядер. регулювання України від 19.11.2007 № 162: станом на 15 трав. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08#Text> (дата звернення: 21.04.2025).
2. Бондаренко М., Єлеонська О. Теплові та атомні електростанції і установки: навч. посіб. Миколаїв.: Вид-во НУК, 2022. 131 с.
3. Сенчихін Ю., Дендаренко Ю. Особливості протипожежного захисту атомних електростанцій. Міжнародна науково-практична конференція Проблеми надзвичайних ситуацій: Матеріали Міжнар. науково-практ. конф., м. Харків, 19 трав. 2023 р. Міжнародна науково-практична конференція Проблеми надзвичайних ситуацій, 2023. С. 143–144
4. Носовський А.В. Про перспективи будівництва нових атомних електростанцій. Атомна енергетика та доквілля. 2019. Т. 15, № 3. С. 3-13. URL: <https://doi.org/10.31717/2311-8253.19.3.1> (дата звернення: 21.04.2025).
5. Вотінов М.А. Інноваційні технології та сучасні інструменти в архітектурно-містобудівному проектуванні та макетуванні. Scientific research: modern challenges and future prospects: The 7th International scientific and practical conference “Scientific research: modern challenges and future prospects”, м. Мюнхен, 17–19 лют. 2025 р. Мюнхен, 2025. С. 175–179.
6. Гладиш Є.О. Підвищення ефективності будівництва об'єктів цивільної інфраструктури за рахунок BIM-моделювання. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/19077> (date of access: 21.04.2025).
7. Гончаренко Т. BIM-технології як інструмент створення інформаційної моделі життєвого циклу об'єкта будівництва. Управління розвитком складних систем. 2021. №. 47. Р. 83-88. URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.47.83-88> (дата звернення: 21.04.2025).
8. Ковальська Г.Л., Бурлака Ю.М. (2024). Особливості архітектури атомних електростанцій. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (68), 280–292. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.68.280-292>
9. Бурлака Ю.М. (2024). Фактори та принципи, що впливають на формування функціонально-планувальної організації атомних електростанцій. Архітектурний вісник КНУБА, (30-31) с. 142-149.
10. Бурлака Ю.М. Особливості формування міст-спутників Атомних електростанцій. Містобудування: проблеми і перспективи розвитку: тези доп. п'ятої науково-практ. конф., м. Київ, 25 квіт. 2023 р. Київ, 2023. С. 53.
11. Бурлака Ю.М. Основні особливості міст-спутників АЕС. Проблеми і методи відновлення і розвитку архітектурно-містобудівного середовища в Україні: матеріали науково-практичної конференції, присвяченої до 95-річчя КНУБА, до 35-річчя кафедри дизайну архітектурного середовища, до 35-річчя кафедри теорії архітектури і архітектурного

проектування та співпраці з кафедрою міського дизайну та планування Технічного університету Дармштадта (9 квітня 2025 року, м. Київ). – Київ: КНУБА, 2025. – 79 с. (с.56)

12. BIM for plant. Autodesk. URL: <https://www.autodesk.co.uk/solutions/bim/plant-design> (date of access: 20.11.2024).

13. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 17.02.2021 № 152-р: станом на 5 груд. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-р#Text> (дата звернення: 21.04.2025).

14. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Аналіз сценаріїв розвитку ядерної енергетики України. Проблеми загальної енергетики. 2020. Т. 2020, № 1. С. 31-37. URL: <https://doi.org/10.15407/pge2020.01.031> (дата звернення: 21.04.2025).

15. Коншин В., Квятковський Б. Майбутнє ядерної енергетики України з позиції розвитку низьковуглецевої економіки. Енергетика: економіка, техніка, екологія. 2023. № 2. URL: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2023.279706> (дата звернення: 21.04.2025).

16. Копішинська К.О., Широкова І.С. Сучасний стан та перспективи інноваційного розвитку атомної енергетики України. Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2019. № 16. URL: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.16.2019.182742> (дата звернення: 21.04.2025).

17. Plant Vogtle Units 3 & 4. URL: <https://www.bechtel.com/projects/vogtle-units-3-and-4/> (date of access: 26.11.2024).

18. АЕС Олкілуото – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/АЕС_Олкілуото (дата звернення: 21.04.2025).

Burlaka Yuliya,

Kyiv National University of Construction and Architecture

PECULIARITIES OF APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE OF NUCLEAR POWER PLANTS IN UKRAINE

The article discusses the specifics of the implementation of Building Information Modelling (BIM) in the design and construction of nuclear power plants (NPPs) in Ukraine. Due to the high safety requirements, the long life cycle of facilities and the complexity of engineering solutions, the use of BIM technologies provides significant benefits at all stages of project implementation. In particular, BIM ensures the integration of architectural, engineering, and technological systems into a single digital model, which allows for greater accuracy of project documentation, reduced risks of errors, and simplified coordination between contractors. The paper analyses the Ukrainian realities of BIM implementation in the nuclear energy sector, taking into account legislative restrictions, the level of digital readiness of the industry, as well as the availability of specialised software and specialists. Particular attention is paid to the analysis of international experience that can be adapted to the national context to ensure safe and efficient construction of new power units. It is noted that one of the main challenges is the need to adapt BIM

models to the requirements of nuclear regulation and integrate them with existing safety management systems. Thus, the introduction of BIM in NPP projects is a promising area that allows not only to optimise design and construction processes but also to significantly increase the level of control and safety at all stages of the facility's life cycle. The development of this technology in Ukraine requires a comprehensive approach, including government support, educational initiatives, and the active participation of industry experts.

Keywords: industrial architecture; nuclear power plants; BIM technologies; industrial buildings.

REFERENCES

1. Pro zatverdzhennya Zagalnih polozhen bezpeki atomnih stancij: Nakaz Derzh. kom. yader. regulyuvannya Ukrayini vid 19.11.2007 № 162: stanom na 15 trav. 2024 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08#Text> (data zvernennya: 21.04.2025). {in Ukrainian}
2. Bondarenko M., Yeleonska O. (2022). Thermal and nuclear power plants and installations. [Teplovi ta atomni elektrostanciyi i ustanovki]: navch. posib. Mikolayiv:: Vid-vo NUK, 2022. 131 p. {in Ukrainian}
3. Senchihin Yu., Dendarenko Yu. (2023). Features of fire protection of nuclear power plants. [Osoblivosti protipozhezhnogo zahistu atomnih elektros]: ancij. Mizhnarodna naukovopraktichna konferenciya Problemi nadzvichajnih situacij: Materiali Mizhnar. naukovoprakt. konf., m. Harkiv, 19 trav. 2023 r. Mizhnarodna naukovopraktichna konferenciya Problemi nadzvichajnih situacij. 143–144. {in Ukrainian}
4. Nosovskij A.V. (2019). On the prospects for the construction of new nuclear power plants. [Pro perspektivi budivnictva novih atomnih elektrostancij.]: Atomna energetika ta dovkillya. T. 15, № 3. 3-13. URL: <https://doi.org/10.31717/2311-8253.19.3.1> (data zvernennya: 21.04.2025). {in Ukrainian}
5. Votinov M.A. (2025). Innovative technologies and modern tools in architectural and urban planning design and layout. [Innovacijni tehnologiyi ta suchasni instrumenti v arhitekturno-mistobudivnomu proyektuvanni ta maketuvanni.]: Scientific research: modern challenges and future prospects: The 7th International scientific and practical conference “Scientific research: modern challenges and future prospects”, m. Myunhen, 17–19 lyut. 2025 r. Myunhen. 175–179. {in Ukrainian}
6. Gladish Ye.O. (2023). Increasing the efficiency of construction of civil infrastructure facilities through BIM-modelling. [Pidvishennya efektyvnosti budivnictva ob'yektiv civilnoyi infrastrukturi za rahunok BIM-modelyuvannya]:

URL: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/19077> (date of access: 21.04.2025). {in Ukrainian}

7. Goncharenko T. (2021). BIM technologies as a tool for creating an information model of the life cycle of a construction object. [BIM-tehnologiyi yak instrument stvorenniya informacijnoyi modeli zhittyevogo ciklu ob'yekta budivnictva]: Upravlinnya rozvitkom skladnih sistem. No. 47. 83-88. URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.47.83-88> (data zvernennya: 21.04.2025). {in Ukrainian}

8. Kovalska G.L., Burlaka Yu.M. (2024). Features of the architecture of nuclear power plants. [Osoblivosti arhitekturi atomnih elektrostancij.]: Suchasni problemi Arhitekturi ta Mistobuduvannya, (68), 280–292. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.68.280-292>. {in Ukrainian}

9. Burlaka Yu. M. (2024). Factors and principles influencing the formation of functional and planning organisation of atomic electric stations. [Faktori ta principi, sho vplivayut na formuvannya funkcionalno-planuvalnoyi organizaciyi atomnih elektrostancij.]: Arhitekturnij visnik KNUBA, (30-31). 142-149. {in Ukrainian}

10. Burlaka Yu.M. (2023). Features of the formation of satellite cities of nuclear power plants [Osoblivosti formuvannya mist-suputnikiv Atomnih elektrostancij.]: Mistobuduvannya: problemi i perspektivi rozvitku: tezi dop. p'yatoyi naukovo-prakt. konf., m. Kiyiv, 25 kvit. 2023. Kiyiv. 53. {in Ukrainian}

11. Burlaka Yu.M. (2025). Main features of NPP satellite cities. [Osnovni osoblivosti mist-suputnikiv AES.]: Problemi i metodi vidnovlennya i rozvitku arhitekturno-mistobudivnogo seredovisha v Ukrayini: materiali naukovo-praktichnoyi konferenciyi, prisvyachenoyi do 95-richchya KNUBA, do 35-richchya kafedri dizajnu arhitekturnogo seredovisha, do 35-richchya kafedri teorii arhitekturi i arhitekturnogo proyektuvannya ta spivpraci z kafedroyu miskogo dizajnu ta planuvannya Tehnichnogo universitetu Darmshtadta (9 kvitnya 2025 roku, Kiyiv). – Kiyiv: KNUBA, 2025. – 79 p. (56). {in Ukrainian}

12. BIM for plant. Autodesk. URL: <https://www.autodesk.co.uk/solutions/bim/plant-design> (date of access: 20.11.2024). {in English}

13. Pro shvalennya Konceptiyi vprovadzhennya tehnologij budivelnogo informacijnogo modelyuvannya (VIM-tehnologij) v Ukrayini ta zatverdzhennya planu zahodiv z yiyi realizaciyi: Rozporyadzh. Kab. Ministriv Ukrayini vid 17.02.2021 № 152-r: stanom na 5 grud. 2024 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-r#Text> (data zvernennya: 21.04.2025). {in Ukrainian}

14. Azarov S. I., Sidorenko V. L., Zadunaj O. S. (2020). Analysis of scenarios for the development of nuclear energy in Ukraine. [Analiz scenariyiv rozvitku yadernoyi energetiki Ukrayini.]: Problemi zagalnoyi energetiki. № 1. 31-37. URL: <https://doi.org/10.15407/pge2020.01.031> (data zvernennya: 21.04.2025). {in Ukrainian}
15. Konshin V., Kvyatkovskij B. (2023). The Future of Nuclear Energy in Ukraine from the Point of View of Low-Carbon Economy Development. [Majbutnye yadernoyi energetiki ukrayini z poziciyi rozvitku nizkovuglecevoyi ekonomiki.]: Energetika: ekonomika, tehnika, ekologiya. № 2. URL: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2023.279706> (data zvernennya: 21.04.2025). {in Ukrainian}
16. Kopishinska K. O., Shirokova I. S. (2019). Current state and prospects of innovative development of nuclear energy in Ukraine. [Suchasnij stan ta perspektivi innovacijnogo rozvitku atomnoyi energetiki ukrayini.]: Ekonomichnij visnik Nacionalnogo tehničnogo universitetu Ukrayini «Kiyivskij politehničnij institut». № 16. URL: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.16.2019.182742> (data zvernennya: 21.04.2025). {in Ukrainian}
17. Plant Vogtle Units 3 & 4. URL: <https://www.bechtel.com/projects/vogtle-units-3-and-4/> (date of access: 26.11.2024).
18. AES Olkiluoto – Vikipediya. Vikipediya. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/AES_Olkiluoto (data zvernennya: 21.04.2025). {in English}