

Чуприна Христина Миколаївна

Доктор економічних наук, професор, професор кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0000-0001-5518-3607>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Федорченко Микола Андрійович

Аспірант кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики,

<https://orcid.org/0009-0009-0156-6042>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Катін Олександр Андрійович

Аспірант кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики,

<https://orcid.org/0009-0003-9356-4197>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Гроголь Віктор Ярославович

Аспірант кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0009-0007-7642-4132>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОПРАЦЮВАННЯ ПОНЯТІЙНОГО АПАРАТУ ЩОДО СУМІСНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ІТ ЯК НОВОГО ПІДґРУНТЯ – ВИБОРУ ВАРІАНТІВ БУДІВЕЛЬ З РАЦІОНАЛЬНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Анотація. Сучасна будівельна галузь перебуває у стані значної трансформації під впливом стрімкого розвитку технологій, зокрема штучного інтелекту та інформаційних технологій. Запровадження цих інноваційних рішень формує нове підґрунтя для ухвалення ефективних рішень у процесі проектування та будівництва, що дає змогу вибирати раціональні варіанти будівель, які відповідають високим вимогам якості, економічної ефективності та екологічної стійкості. Штучний інтелект надає можливість виконувати детальний аналіз великих обсягів даних, моделювати різні варіанти рішень і прогнозувати результати з високою точністю, що є особливо актуальним для будівельних проєктів, де кожне рішення, від вибору матеріалів до проектування інфраструктури, може мати суттєвий вплив на кінцевий результат. Використання штучного інтелекту дозволяє швидко оцінювати потенційні сценарії розвитку проєкту, визначати найбільш економічно доцільні варіанти та враховувати можливі ризики. Інформаційні технології забезпечують доступ до потужних інструментів проектування та управління. Програмні засоби для автоматизованого проектування, системи управління будівельними проєктами та платформи для співпраці в режимі реального часу сприяють оптимізації процесів від планування до реалізації. Поєднання штучного інтелекту з інформаційними технологіями створює єдину екосистему, яка підтримує всі етапи життєвого циклу будівлі – від концепції до експлуатації та технічного обслуговування. Одна з головних переваг інтеграції штучного інтелекту та інформаційних технологій у будівництві полягає в можливості адаптації проєктів під конкретні потреби замовника та умови виконання робіт. Завдяки аналізу даних щодо умов на будівельному майданчику, економічних показників, технічних вимог та нормативних обмежень штучний інтелект може запропонувати оптимальні варіанти проєктів, які відповідають цим критеріям. Це не лише оптимізує витрати, але й підвищує загальну ефективність проєкту. Штучний інтелект також здатен оцінювати екологічні аспекти будівництва, що сприяє створенню стійких будівель з мінімальним енергоспоживанням та впливом на довкілля. Це надзвичайно важливо в умовах сучасних вимог щодо енергоефективності та екологічної безпеки будівель. Отже, поєднання штучного інтелекту та інформаційних технологій у будівельній галузі надає нові можливості для управління проєктами, сприяючи раціональному використанню ресурсів, скороченню витрат, і забезпеченню якості відповідно до вимог сталого розвитку.

Ключові слова: штучний інтелект; інформаційні технології; будівельні проєкти; раціональні характеристики; оптимізація рішень; моделювання; екологічна стійкість; ефективність будівництва; управління ресурсами

Постановка проблеми

Основна проблема дослідження полягає в недостатній розробці теоретичних та методичних основ, що регулюють інтеграцію штучного інтелекту та ІТ у процес вибору раціональних будівельних рішень. Сучасні будівельні проекти потребують точного аналізу великого обсягу даних, що впливають на ключові параметри будівель, такі як вартість, ефективність, енергоспоживання, довговічність, екологічна стійкість та відповідність регуляторним вимогам. Існує потреба в систематизації понять та підходів, що покликані максимально ефективно застосовувати ці технології для підвищення якості прийняття рішень у будівництві.

Необхідно сформувати понятійний апарат, що сприятиме розумінню та ефективному застосуванню інструментів штучного інтелекту та інформаційних технологій на етапах проєктування, аналізу та вибору будівельних варіантів. Дослідження має з'ясувати, яким чином ці технології можуть взаємодіяти між собою для створення будівель з раціональними характеристиками, зменшення впливу людського фактору на прийняття рішень та мінімізації ризиків.

Завдання дослідження охоплюють:

1. Визначення основних понять та термінів, що відображають взаємодію штучного інтелекту та ІТ у будівельних проєктах.
2. Розробка методологічних підходів для аналізу варіантів будівель з урахуванням економічних, екологічних та технічних критеріїв.
3. Виявлення переваг та обмежень використання цих технологій у будівництві.

Очікувані результати дослідження сприятимуть підвищенню ефективності будівельних проєктів, поліпшенню якості будівель, а також зниженню їх вартості та впливу на довкілля, що є важливими складовими сталого розвитку галузі.

Мета статті

Розвиток сучасних технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ) та інформаційних технологій (ІТ), відкриває нові можливості для оптимізації процесів вибору варіантів будівель із раціональними характеристиками. Метою дослідження є опрацювання понятійного апарату, що стосується сумісного застосування штучного інтелекту та ІТ як основи для прийняття обґрунтованих рішень щодо будівельних об'єктів, які відповідають критеріям ефективності, економічності, екологічної безпеки та довговічності.

Дослідницька робота спрямована на аналіз ключових термінів і концепцій, що пов'язані з упровадженням штучного інтелекту в будівництві, визначення можливостей його інтеграції з

інформаційними технологіями та оцінку їхнього потенціалу у виборі оптимальних проєктних рішень. Основний акцент зроблено на розробці системи понять і термінів, які можуть використовуватися при проєктуванні, управлінні та експлуатації будівель із застосуванням інноваційних підходів.

Дослідження дозволить визначити, як штучний інтелект та інформаційні технології можуть використовуватися у процесах моделювання, прогнозування та оптимізації вибору будівельних об'єктів, а також як їхнє поєднання сприяє зменшенню витрат, покращенню якості проєктних рішень та підвищенню енергоефективності будівельних систем.

Аналіз основних досліджень і публікацій

У сфері застосування штучного інтелекту та інформаційних технологій у будівництві проведено значну кількість наукових досліджень, які демонструють ефективність таких рішень для підвищення продуктивності, автоматизації проєктних процесів та оптимізації вибору будівельних матеріалів і конструкцій. Більшість зарубіжних та вітчизняних досліджень зосереджено на використанні BIM-моделювання (Building Information Modeling), штучних нейронних мереж, алгоритмів машинного навчання та великих даних (Big Data) для оцінки ефективності будівельних об'єктів. Зокрема, дослідження підтверджують, що застосування ШІ дозволяє автоматизувати процес прийняття рішень, передбачати можливі ризики в будівництві та забезпечувати енергоефективність і раціональне використання ресурсів. Використання цифрових двійників (Digital Twins) та технологій штучного інтелекту для моніторингу життєвого циклу будівель є ще одним перспективним напрямом. Такі технології дозволяють не лише аналізувати стан будівельних конструкцій у режимі реального часу, а й прогнозувати їхній подальший стан, що значно покращує експлуатаційну ефективність та зменшує витрати на утримання об'єктів.

Крім того, науковці звертають увагу на оптимізацію процесу вибору матеріалів та конструктивних рішень за допомогою алгоритмів машинного навчання та генетичних алгоритмів. Ці підходи дозволяють знайти найкращі варіанти будівель з мінімальними витратами енергії та матеріальних ресурсів, враховуючи їхню екологічність та довговічність.

Попри значний прогрес у сфері інтеграції ШІ та ІТ у будівельну галузь, залишаються відкритими питання розробки єдиного понятійного апарату та концептуальних моделей їхнього поєднання в процесі вибору будівельних рішень. Необхідність

узгодження термінології та формування загального підходу до розуміння цих технологій є важливим завданням, що забезпечить стандартизацію процесів та підвищення точності прогнозних оцінок у будівництві.

Таким чином, узагальнення існуючих напрацювань та створення нової системи понять і термінів щодо інтеграції штучного інтелекту та ІТ у виборі будівель із раціональними характеристиками сприятиме розвитку інтелектуального будівництва та підвищенню ефективності галузі.

Виклад основного матеріалу

На старті двадцять першого століття стрімкий розвиток інформаційних технологій призвів до появи принципово нового підходу до проектування будівель і споруд. Цей підхід полягає у створенні комп'ютерної моделі будівлі, що містить всю інформацію, яка стосується запланованого або вже реалізованого проекту. В наукових дослідженнях розглядаються методи побудови інформаційних моделей будівель та види інформації, що використовуються для визначення параметрів моделі. Дослідження присвячені основним методам проектування енергоефективних будівель.

Питанням підвищення енергоефективності та ресурсозбереження в будівлях займаються наступні дослідники: О. В. Ярмолук, А. П. Тарасенко, О. І. Дорошенко, С. М. Левченко, І. А. Бойко, О. Г. Ковальчук, І. С. Яценко, Н. В. Жукова, А. І. Мельник, Л. О. Свистуненко, О. В. Шаповал та інші. Провівши огляд останніх наукових досліджень у галузі розвитку теорії та практики проектування і будівництва «розумних» будівель та «розумних» міст на основі інтелектуальних систем автоматизації та управління в будівлях і комплексах, автори цієї статті звернули увагу на роботи наступних вчених: І. О. Сліпченко, В. В. Примаченко, Р. М. Кулик, А. П. Хнатенко, О. С. Литовченко, Ю. В. Костенко, А. І. Добровський та ін.

Дослідження, присвячені організації мікроклімату у висотних будівлях, виконували А. О. Баранов і І. В. Сидоренко. Проблеми конструктивних рішень для висотних будівель були предметом аналізу в працях Д. Р. Мельникова, А. В. Сосновського, О. Н. Лебедева та інших. Питання біокліматичного проектування висотних будівель розглядали К. Ян і Т. І. Мартинов [1]. Найбільший потенціал для енергозбереження полягає в економії теплової енергії. Ефективними заходами для цього будуть ті, що спрямовані на усунення дефектів огорожувальних стін та оптимізацію споживання теплової енергії; вони графічно проілюстровані на рис. 1.

Прикладами таких заходів можуть бути [2]:

- використання новітніх технологій і конструкцій;
- впровадження поновлюваних джерел теплової енергії;
- застосування більш енергоефективних інженерних пристроїв та обладнання;
- автоматизація регулювання температури теплоносія;
- усунення дефектів і підвищення теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій шляхом будівництва систем навісних вентильованих фасадів.

Дослідження, що стосуються автоматизації процесів проектування у будівництві, зокрема у сфері моделювання та розробки адаптивних будівельних технологій, а також забезпечення безпечного розвитку урбанізованих територій, були виконані Теличенком В. І. – одним із провідних фахівців у галузі екологічної безпеки та енергоефективності будівельних об'єктів [3].

Аналіз сучасного ринку інформаційних технологій продемонстрував наявність широкого спектра компаній, які пропонують інноваційні рішення для комплексного будівельного проектування. До ключових напрямів розвитку належать архітектурно-інженерне моделювання, управління інфраструктурними об'єктами та цифрове прототипування, що дозволяє значно підвищити точність проектних рішень, оптимізувати витрати та забезпечити інтеграцію сучасних екологічних стандартів у процес будівництва.

Вибір варіантів будівель з раціональними характеристиками є важливим етапом у процесі проектування, оскільки він безпосередньо впливає на ефективність використання ресурсів, енергетичну продуктивність і комфортність експлуатації. Раціональні характеристики будівель охоплюють різні аспекти, включно з енергоефективністю, екологічністю, функціональністю, економічністю й естетикою.

Енергетична ефективність будівель передбачає впровадження новітніх технологій та матеріалів, які дозволяють зменшити витрати енергії. Системи утеплення, енергоефективні вікна, альтернативні джерела енергії, такі як сонячні панелі та вітрові установки, а також автоматизація системи управління енергоспоживанням, можуть значно знизити споживання енергії [4]. Водночас екологічні будівлі враховують вплив на навколишнє середовище, зокрема вибір екологічно чистих матеріалів, як-от деревина з відновлювальних джерел, перероблені матеріали або локальні ресурси, що зменшує вуглецевий слід будівлі. Також важливо проектувати об'єкти, які сприяють збереженню води та зменшенню відходів.



Рисунок 1 – Заходи для енергозбереження теплової енергії

Функціональність будівель повинна враховувати потреби майбутніх користувачів, що включає оптимальну організацію простору для комфортного проживання чи роботи. Розумне планування забезпечує зручність та ефективність використання кожного квадратного метра. Економічні аспекти, зокрема аналіз життєвого циклу будівлі, допомагають оцінити загальні витрати на експлуатацію, утримання та ремонти. Вибір варіантів будівель, що забезпечують оптимальне співвідношення витрат і вигод, є критично важливим для інвесторів та забудовників.

Естетичні характеристики будівель також відіграють важливу роль у виборі проєкту. Візуальне

сприйняття об'єкта, його інтеграція в навколишнє середовище та відповідність архітектурним стилям району впливають на загальне враження від будівлі та її сприйняття громадою. Залучення інформаційних технологій, таких як моделювання інформації про будівлі (BIM), дозволяє здійснити більш точний аналіз різних варіантів будівель. Ці технології допомагають врахувати всі вищезазначені характеристики на ранніх стадіях проєктування, що значно спрощує процес вибору найбільш оптимального варіанту [5].

Отже, вибір варіантів будівель з раціональними характеристиками є комплексним процесом, який вимагає інтеграції знань з різних областей:

архітектури, інженерії, екології та економіки. Використання сучасних технологій і підходів дозволяє створювати об'єкти, що відповідають сучасним вимогам щодо енергоефективності, екологічності та функціональності, забезпечуючи комфорт і економічність експлуатації.

Останнім часом активно розвиваються новітні наукові напрямки в галузі будівництва, зокрема «Будівлі з підвищеною енергоефективністю», «Розумні будівлі» та «Екологічно сталі будівлі». Ці підходи можна розглядати як шляхи забезпечення комфортного мікроклімату в окремих приміщеннях, максимальної ефективності використання зовнішньої енергії та енергоефективних елементів будівлі в цілому. Використання технології BIM (інформаційного моделювання будівель) дозволяє прогнозувати та мінімізувати експлуатаційні витрати, створюючи енергетично раціональні та екологічні об'єкти.

Проблема підвищення енергоефективності в будівлях залишається актуальною та складною як в Україні, так і за кордоном. Поряд із зазначеними напрямками, важливо вдосконалювати методи розрахунку енергетичних процесів у будівлях. Для точної оцінки внутрішнього мікроклімату та практичних витрат під час проектування енергоефективних будівель необхідно коректно обрати архітектурно-планувальне рішення. Важливими факторами тут є правильна орієнтація будівлі, топографія ділянки, тип ґрунту, рівень сонячної радіації, вітрові характеристики, кількість опадів, водойми та рослинність. Внутрішній мікроклімат приміщень залежить від сонячної радіації та природної вентиляції, що, у свою чергу, пов'язано з орієнтацією будівлі та переважаючими вітрами. Остаточний вибір орієнтації будівлі може бути здійснений тільки після комплексної оцінки всіх переваг різних елементів [6].

Застосування інформаційної моделі будівлі на ранніх стадіях проектування дозволяє провести аналіз, що дає змогу визначити, чи відповідає проєкт вимогам щодо екологічності, зокрема енергоефективності. Існують спеціалізовані програмні продукти, орієнтовані на раціональне енергоефективне проектування.

У контексті нових технологій, які включають штучний інтелект (ШІ) та інформаційні технології (ІТ), важливим є опрацювання понятійного апарату, що дозволяє впроваджувати ці інноваційні рішення в процес вибору варіантів будівель із раціональними характеристиками. Залучення ШІ може значно підвищити точність оцінки різних проєктних рішень, адже алгоритми машинного навчання здатні аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати енергетичні витрати та підказувати оптимальні варіанти проектування з урахуванням специфічних

умов, таких як кліматичні фактори та вимоги замовника. ІТ-технології також дозволяють інтегрувати різноманітні системи управління та моніторингу, що веде до більш ефективного контролю за енерговитратами та спрощує процес прийняття рішень. Таким чином, спільне застосування ШІ та ІТ стає новим підґрунтям для вибору проєктів, що відповідають сучасним вимогам щодо енергоефективності та екологічності [7].

Існує безліч програмних продуктів, які сприяють раціональному енергоефективному проектуванню будівель. Розглянемо деякі з них.

Autodesk Ecotect Analysis – це потужний інструмент, що дозволяє виконувати екологічний аналіз на всіх етапах проектування. Ця програма має великий набір засобів для енергетичного моделювання і розрахунків, що допомагають покращити експлуатаційні характеристики як нових, так і існуючих будівель. Вона пропонує онлайн-розрахунки енергоспоживання, водоспоживання і викидів вуглекислого газу, які можна інтегрувати з візуалізацією та моделюванням у реальних умовах навколишнього середовища. Ecotect Analysis дозволяє виконувати низку розрахунків, таких як енергоспоживання будівлі за різні періоди, теплові навантаження, потоки води, візуалізацію сонячного випромінювання на вікнах та інших поверхнях, а також оцінку рівнів природного освітлення. Проте серед недоліків програми варто зазначити неможливість розрахунку теплових характеристик, відсутність дотримання українських стандартів та обмеження в можливостях налаштування розрахунків.

Green Building Studio – це онлайн-додаток, що працює за моделлю SaaS. Цей сервіс надає архітекторам та дизайнерам можливість аналізувати енергетичні та водні потреби будівлі на ранніх етапах проектування, що допомагає оптимізувати ефективність і стійкість. Його основна мета – швидко та точно оцінити екологічну стійкість проєктних рішень. Проте цей інструмент має вузьку спеціалізацію, зосереджену виключно на розрахунках екологічності.

Graphisoft EcoDesigner – це BIM-програма, що забезпечує моделювання енергетичного балансу для віртуальних будівель. EcoDesigner містить інструменти для енергетичного моделювання, враховуючи геометрію будівлі, системи вентиляції, опалення і кондиціювання. Вона дозволяє швидко аналізувати енергоефективність проєктів на ранніх стадіях, але має обмеження у створенні об'єктів зі складною геометрією та не відповідає українським стандартам.

Autodesk Revit MEP – це модуль для розрахунку теплонаходжень і тепловтрат у будівлях. При розрахунках ця програма

використовує географічні координати місцезнаходження, що дозволяє автоматично отримувати кліматичні дані. Однак недоліками цього модуля є невідповідність українським стандартам, відсутність можливості редагування теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій і обмежена гнучкість у створенні власних об'єктів.

RETScreen – це програмний інструмент для аналізу енергетичних проєктів, який значно спрощує процес оцінки та реалізації проєктів у сфері відновлюваної енергетики. Він дозволяє швидко оцінити виробництво енергії, економію, витрати та ризики. RETScreen включає інтегровану базу даних про продукти і проєкти, а також доступ до інформації про кліматичні умови [8]. Хоча програмне забезпечення безкоштовне у використанні, його недоліком є відсутність геометричного представлення будівель.

Таким чином, вибір програмного забезпечення для раціонального енергоефективного проєктування будівель має враховувати специфіку і можливості кожного з цих інструментів, щоб забезпечити максимальну ефективність і відповідність потребам проєкту. Так табл. 1 ілюструє основні характеристики,

переваги та недоліки кожного програмного продукту, що дозволяє краще зрозуміти їхню ефективність у контексті енергоефективного проєктування будівель.

Методи, що застосовуються у вищезгаданих інструментах проєктування енергоефективних будівель, в основному орієнтовані на розрахунок енергоспоживання (наприклад, Green Building Studio) або прийняття рішень щодо чистої енергії (наприклад, EcoDesigner та Ecotect Analysis). Вони не враховують вплив на навколишнє середовище, як, наприклад, RETScreen, або мають недостатню гнучкість та обмежену базу об'єктів, як, наприклад, Autodesk Revit MEP [9].

Однією з основних проблем сучасних методологій проєктування є відсутність цілісного підходу, який би розглядав будівлю та навколишнє середовище як єдину енергетичну систему. У цьому контексті очікується, що розвиток систем автоматизованого проєктування (САПР) передбачає тісну інтеграцію з програмами у суміжних дисциплінах. Наприклад, важливим є взаємозв'язок між графічними та розрахунковими програмами.

Таблиця 1 – Порівняння ефективності програм для раціонального енергоефективного проєктування будівель

Програмний продукт	Основні можливості	Переваги	Недоліки
Autodesk Ecotect Analysis	Енергетичне моделювання, розрахунки енерго- та водоспоживання, викидів CO ₂ , теплові навантаження, аналіз природного освітлення, візуалізація сонячного випромінювання.	Широкий спектр інструментів; можливість інтеграції з реальними умовами.	Неможливість розрахунку теплових характеристик; недотримання українських стандартів.
Green Building Studio	Аналіз енерго- та водоспоживання на ранніх етапах проєктування; оптимізація стійкості.	Швидкий і точний аналіз екологічності проєктних рішень.	Вузька спеціалізація (лише екологічність); обмежені функції.
Graphisoft EcoDesigner	Моделювання енергетичного балансу; оцінка екологічності рішень; детальні звіти про енергосистеми.	Швидкий аналіз енергоефективності; підтримка BIM.	Обмежені можливості для складних геометрій; "чорна скринька" для розрахунків; несумісність з українськими стандартами.
Autodesk Revit MEP	Розрахунок теплонадходжень і тепловтрат; автоматичне отримання кліматичних даних; налаштування географічних координат.	Інтеграція з проєктуванням; точність розрахунків.	Невідповідність українським стандартам; обмежена гнучкість; "чорна скринька" для розрахунків.
RETScreen	Аналіз чистої енергії; оцінка проєктів у сфері відновлюваної енергетики; інтегрована база даних (продукти, проєкти, кліматичні умови).	Безкоштовне використання; швидка оцінка проєктів.	Відсутність геометричного представлення будівель; обмежений функціонал.

Після того як будівля спроектована, якщо необхідно розрахувати тепловтрати в огорожувальних конструкціях, дані мають бути передані в розрахункову програму для подальшого аналізу. Така інтеграція автоматизує всі етапи проектування і будівництва в єдиному інформаційному просторі та значно підвищує ефективність процесу [10].

Для проектування енергоефективних будівель необхідно враховувати зовнішні впливи навколишнього середовища, такі як кліматичні умови, швидкість вітру, рельєф місцевості та соціокультурні фактори. У цьому контексті важливо вдосконалювати існуючі методи оцінки кліматичних впливів, розробляти нові методи визначення теплонадходжень і тепловтрат, а також методи оцінки проєктних рішень. Ці вдосконалення створюють основу для спільного застосування штучного інтелекту та інформаційних технологій під час вибору найкращих варіантів будівель з прийнятними характеристиками.

Проектування енергоефективних будівель націлене на створення об'єктів, які максимально ефективно використовують теплову енергію. Це передбачає не лише раціональне використання тепла, а й інтеграцію систем, що збирають і зберігають цю енергію. Усі елементи будівлі повинні відповідати основним принципам, що регулюють та оптимізують надходження сонячного тепла [11].

Основним завданням проектування енергоефективних будівель є створення об'єкта, який мінімізує негативний вплив зовнішнього середовища, характеризується компактними формами та захистом від несприятливих природних умов завдяки продуманій орієнтації. Метою проектування окремих будівель є забезпечення максимальної акумуляції тепла, оптимальної орієнтації за сторонами світу, диференціації скління, а також ефективного пасивного і активного використання сонячної енергії. Важливим аспектом є також можливість сезонної трансформації енергоакуюлюючих елементів будівлі та температурне зонування.

Зовнішні фактори, що впливають на енергоефективність, включають сонячну радіацію, температурні коливання, вологість та використання відновлюваних джерел енергії. Нормативні вимоги щодо сонячної радіації, природного освітлення, акустичних характеристик і шумоізоляції безпосередньо впливають на енергоефективність будівель.

Методологічною основою вивчення енергетичного потенціалу зовнішнього клімату, зокрема теплових та водних ресурсів, є статистична

обробка метеорологічних даних. Для побудови математичних моделей клімату використовуються як детерміновані, так і стохастичні підходи, що дозволяють враховувати різноманітні чинники [12].

Схема взаємодії елементів будівлі, розглянута як енергетична система, відображає ключові аспекти формування теплового режиму та енергетичного статусу. Основним елементом, що впливає на тепловий режим і енергетичні витрати, є теплоізоляційна оболонка будівлі. Вибір параметрів підсистеми опалення визначається характеристиками цієї оболонки, що підкреслює важливість оптимізації всіх енергетичних підсистем у контексті нових технологій, зокрема штучного інтелекту та інформаційних технологій (ІТ). Застосування штучного інтелекту та ІТ у проектуванні енергоефективних будівель відкриває нові можливості для раціонального вибору характеристик об'єктів. Ці технології дозволяють реалізувати складні алгоритми моделювання, аналізу та оптимізації, що значно підвищує ефективність проектування та експлуатації будівель. Вони забезпечують інтеграцію даних про зовнішнє середовище, дозволяють прогнозувати енергетичні витрати та підвищують точність розрахунків. Таким чином, використання штучного інтелекту та ІТ формує нове підґрунтя для прийняття рішень у сфері енергоефективного будівництва, що відповідає сучасним вимогам до стійкості та екологічності [13].

Для детального розуміння теми проектування енергоефективних будівель можна представити рис. 2, який відображає ключові елементи та взаємозв'язки в енергетичній системі будівлі.

Синергія систем у енергоефективному будинку – це концепція, що передбачає інтеграцію різних технологічних та інженерних рішень з метою підвищення загальної ефективності використання енергетичних ресурсів. Успішна реалізація синергії систем забезпечує не лише зниження витрат на енергоспоживання, а й поліпшення комфортності для мешканців, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та підвищення довговічності будівлі [14].

Одним із ключових елементів цієї синергії є теплоізоляційна оболонка, яка включає стіни, дахи і вікна. Високоякісна теплоізоляція сприяє зменшенню теплових втрат і має бути інтегрована із системами опалення та охолодження для забезпечення оптимального теплового режиму. Також важливою складовою є системи відновлювальної енергії, такі як сонячні панелі, вітрові турбіни та теплові насоси. Інтеграція цих джерел енергії в загальну енергетичну систему будинку дозволяє зменшити залежність від зовнішніх енергетичних ресурсів.



Рисунок 2 – Ключові елементи та зв'язки в енергетичній системі будівлі

Системи управління енергоспоживанням, що використовують технології штучного інтелекту та інформаційних технологій, також відіграють важливу роль. Вони забезпечують моніторинг та оптимізацію енергетичних витрат, дозволяючи прогнозувати потреби в енергії та адаптувати роботу різних систем відповідно до реальних умов. Пасивні сонячні технології, які використовують природне освітлення та тепло, є ще одним важливим елементом. Правильне проектування вікон, їхня орієнтація та використання сонцезахисних елементів сприяють максимальному використанню сонячної енергії, що значно знижує потребу в штучному освітленні та опаленні [15].

Температурне зонування – ще один аспект, що впливає на енергоефективність. Розподіл приміщень за функціональними характеристиками та потребами в опаленні й охолодженні дозволяє зменшити загальні витрати на енергоспоживання, підвищуючи комфорт для мешканців. Синергія систем

досягається через продумане проектування та інтеграцію всіх елементів енергоефективного будинку, кожен з яких взаємодіє з іншими, створюючи збалансовану та ефективну енергетичну структуру. Наприклад, теплоізоляційна оболонка знижує енергетичні витрати, що, у свою чергу, зменшує навантаження на системи опалення та охолодження. Удосконалення систем управління дозволяє оптимізувати використання енергії, зменшуючи витрати і підвищуючи ефективність роботи інших систем [16].

Отже, синергія систем у енергоефективному будинку є ключовим фактором, що забезпечує стійкість та ефективність енергетичних процесів. Інтеграція технологій і рішень дозволяє досягти значних переваг у збереженні енергії та покращенні якості життя мешканців.

На рис. 3 показано синергетичний процес та ключові взаємозв'язки в енергетичній системі енергоефективного будинку.

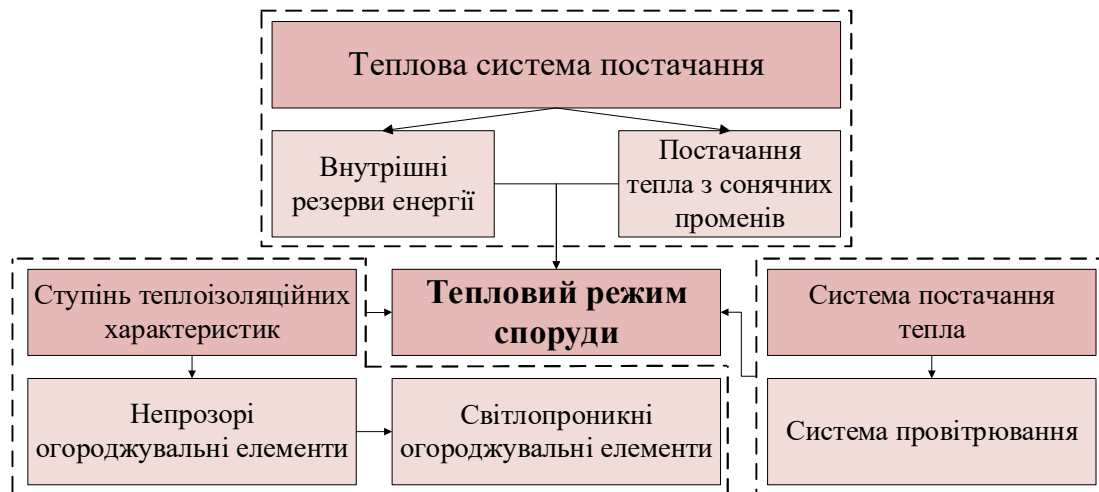


Рисунок 3 – Синергія систем у енергоефективному будинку

Комп'ютерна допомога архітекторам і дизайнерам у проєктуванні енергоефективних будівель є надзвичайно актуальним питанням у сучасному будівельному секторі. В умовах глобальних змін клімату та зростання цін на енергетичні ресурси, досягнення найвищої енергоефективності будівель стає ключовим завданням для проєктувальників. Це передбачає не лише оптимізацію використання ресурсів, а й підвищення надійності огорожувальних конструкцій, які забезпечують комфорт і безпеку мешканців. Традиційно, створення енергетичної моделі будівлі вимагало багато часу, зусиль і фінансових витрат. Однак завдяки впровадженню концепції BIM (Building Information Modeling) процес енергетичного моделювання став значно більш оптимізованим і ефективним.

Сучасні програмні рішення, що автоматизують проєктування енергоефективних будівель, відкривають нові горизонти для архітекторів та інженерів. Наприклад, програмні комплекси, які дозволяють інтегрувати різноманітні аспекти проєктування, включно з енергетичними характеристиками, вентиляцією, освітленням та іншими факторами, стають незамінними інструментами у цій сфері [17]. Такі рішення дозволяють значно скоротити час на проєктування, зменшуючи при цьому ймовірність помилок у розрахунках.

Впровадження енергетичного моделювання будівель з використанням кращих світових практик є ключовим фактором для досягнення успішних результатів. Це дозволяє отримати більш повну, всебічну та якісну оцінку енергетичних характеристик будівлі. Наприклад, завдяки детальному аналізу енергетичних витрат можна виявити ділянки, де можливо зменшити споживання енергії, що, своєю чергою, зменшує експлуатаційні

витрати. Користувачі отримують змогу розробляти якісні програми з енергоефективності будівель на основі достовірної інформації, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення під час проєктування.

Крім того, комп'ютерне моделювання дає можливість провести повний і детальний аналіз техніко-економічного обґрунтування будівель, що є важливим етапом у процесі проєктування. Використання таких технологій дозволяє врахувати всі економічні аспекти проєкту, зокрема витрати на будівництво, експлуатацію та обслуговування об'єкта. Це, своєю чергою, сприяє формуванню більш точних прогнозів та розрахунків, що дозволяє оптимізувати витрати на різних етапах реалізації проєкту.

Енергетичне моделювання також відіграє важливу роль в оцінці повноти та якості реалізації енергоефективних будівельних проєктів. Завдяки програмному забезпеченню фахівці можуть здійснювати моніторинг проєкту на всіх етапах, від розробки до завершення, що забезпечує високий рівень контролю та можливість своєчасного коригування проєкту в разі виникнення проблем.

Розробка енергетичних моделей будівель є складним і трудомістким процесом, проте використання елементів енергетичного моделювання має бути обов'язковою умовою для проведення енергетичного аудиту будівлі. Це забезпечить комплексний підхід до аналізу енергетичних характеристик, виявлення слабких місць та визначення шляхів їх поліпшення.

Для створення умов активного використання засобів автоматизації проєктування енергоефективних будівель важливо, щоб система мала високий ступінь універсальності та гнучкості. Користувачі повинні мати можливість вирішувати широкий спектр проєктних завдань і налаштовувати їх під конкретні предметні області без необхідності у програмуванні.

Це вимагає від розробників програмного забезпечення створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу та інструментів, які дозволяють легко адаптувати програму під конкретні вимоги користувачів [18].

Завдяки впровадженню комп'ютерної допомоги в проєктування енергоефективних будівель архітектори та дизайнери отримують потужні інструменти для досягнення високих стандартів енергоефективності. Використання сучасних технологій допомагає забезпечити зниження енергоспоживання, підвищення комфорту в приміщеннях та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Як наслідок, реалізація проєктів енергоефективних будівель стає не лише досяжною, а й вигідною з економічної точки зору, що робить її важливим кроком до сталого розвитку в архітектурі та будівництві.

Комп'ютерна допомога архітекторам і дизайнерам у проєктуванні енергоефективних будівель є надзвичайно актуальним питанням у сучасному будівельному секторі. В умовах глобальних змін клімату та зростання цін на енергетичні ресурси досягнення найвищої енергоефективності будівель стає ключовим завданням для проєктувальників. Це передбачає не лише оптимізацію використання ресурсів, а й підвищення надійності огорожувальних конструкцій, які забезпечують комфорт і безпеку мешканців. Традиційно створення енергетичної моделі будівлі вимагало багато часу, зусиль і фінансових витрат. Однак завдяки впровадженню концепції BIM (Building Information Modeling) процес енергетичного моделювання став значно оптимізованішим та ефективнішим.

Сучасні програмні рішення, що автоматизують проєктування енергоефективних будівель, відкривають нові горизонти для архітекторів та інженерів. Наприклад, програмні комплекси, які дозволяють інтегрувати різноманітні аспекти проєктування, зокрема енергетичні характеристики, вентиляцію, освітлення та інші фактори, стають незамінними інструментами в цій сфері. Такі рішення дозволяють значно скоротити час на проєктування, зменшуючи при цьому ймовірність помилок у розрахунках [19].

Впровадження енергетичного моделювання будівель з використанням кращих світових практик є ключовим фактором для досягнення успішних результатів. Це дозволяє отримати більш повну, всебічну та якісну оцінку енергетичних характеристик будівлі. Наприклад, завдяки детальному аналізу енергетичних витрат можна виявити ділянки, де можливо зменшити споживання енергії, що, своєю чергою, зменшує експлуатаційні витрати. Користувачі отримують змогу розробляти

якісні програми з енергоефективності будівель на основі достовірної інформації, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення під час проєктування.

Крім того, комп'ютерне моделювання дає можливість провести повний і детальний аналіз техніко-економічного обґрунтування будівель, що є важливим етапом у процесі проєктування. Використання таких технологій дозволяє врахувати всі економічні аспекти проєкту, зокрема витрати на будівництво, експлуатацію та обслуговування об'єкта. Це, своєю чергою, сприяє формуванню більш точних прогнозів та розрахунків, що дозволяє оптимізувати витрати на різних етапах реалізації проєкту.

Енергетичне моделювання також відіграє важливу роль в оцінці повноти та якості реалізації енергоефективних будівельних проєктів. Завдяки програмному забезпеченню фахівці можуть здійснювати моніторинг проєкту на всіх етапах – від розробки до завершення, що забезпечує високий рівень контролю та можливість своєчасного коригування проєкту в разі виникнення проблем.

Розробка енергетичних моделей будівель є складним і трудомістким процесом, проте використання елементів енергетичного моделювання повинно бути обов'язковою умовою для проведення енергетичного аудиту будівлі. Це забезпечить комплексний підхід до аналізу енергетичних характеристик, виявлення слабких місць та визначення шляхів їх покращення.

Для створення умов активного використання засобів автоматизації проєктування енергоефективних будівель важливо, щоб система мала високий ступінь універсальності та гнучкості. Користувачі повинні мати можливість вирішувати широкий спектр проєктних завдань і налаштовувати їх під конкретні предметні області без необхідності програмування. Особливої уваги заслуговує опрацювання понятійного апарату щодо сумісного застосування штучного інтелекту (ШІ) та інформаційних технологій (ІТ) як нового підґрунтя вибору варіантів будівель з раціональними характеристиками. Сучасні технології штучного інтелекту, такі як машинне навчання та глибоке навчання, відкривають нові можливості для автоматизації процесів проєктування та прийняття рішень. Використання ШІ дозволяє аналізувати великі обсяги даних, зокрема параметри будівлі, вимоги до енергоефективності та зовнішні фактори, такі як кліматичні умови.

Інтеграція ШІ та ІТ у процес проєктування енергоефективних будівель дозволяє створити адаптивні системи, які можуть враховувати змінні умови й оптимізувати проєктні рішення в режимі

реального часу. Це забезпечує не лише підвищення енергоефективності, а й зменшення витрат на будівництво та експлуатацію. Використання ІІІ у проєктуванні також допомагає передбачити потенційні проблеми на ранніх стадіях, що зменшує ризик фінансових втрат [20].

Для ефективного впровадження таких технологій важливо, щоб фахівці мали достатній рівень підготовки в області ІІІ та ІТ. Це передбачає необхідність навчання та підвищення кваліфікації для архітекторів та проєктувальників. Своєю чергою, розробники програмного забезпечення повинні створювати інструменти, які легко інтегруються в існуючі робочі процеси, зберігаючи при цьому можливість адаптації під конкретні потреби.

У табл. 2 наведено порівняння звичайного (традиційного) та ІІІ-проєктування.

Завдяки впровадженню комп'ютерної допомоги в проєктування енергоефективних будівель архітектори та дизайнери отримують потужні інструменти для досягнення високих стандартів енергоефективності. Використання сучасних технологій допомагає забезпечити зниження енергоспоживання, підвищення комфорту в приміщеннях та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Як наслідок, реалізація проєктів енергоефективних будівель стає не лише досяжною, а й вигідною з економічної точки зору, що робить її важливим кроком до сталого розвитку в архітектурі та будівництві.

Таблиця 2 – Порівняння традиційного проєктування та проєктування з використанням ІІІ та ІТ

Параметри	Традиційне проєктування	Проєктування з використанням ІІІ та ІТ
Час виконання	Довший час на розробку	Швидке виконання завдяки автоматизації
Якість проєктування	Середня якість, залежить від досвіду	Висока якість, точність розрахунків
Гнучкість	Обмежена можливість адаптації	Висока гнучкість, можливість швидкої адаптації
Актуальність даних	Може бути застарілою	Постійне оновлення даних у реальному часі
Ризики	Високі ризики помилок	Знижені ризики завдяки прогнозуванню
Витрати	Вищі витрати на коригування	Зниження витрат завдяки оптимізації

Висновок

Сучасні технології, зокрема штучний інтелект (ІІІ) та інформаційні технології (ІТ), відіграють ключову роль у розвитку будівельної галузі, особливо в процесі вибору варіантів будівель з раціональними характеристиками. Проведене дослідження підтверджує, що сумісне застосування цих інноваційних підходів не лише підвищує ефективність управління будівельними проєктами, а й створює нове підґрунтя для прийняття оптимальних рішень на всіх етапах життєвого циклу будівлі.

Штучний інтелект здатний аналізувати великі масиви даних, що дозволяє розробникам швидко й точно оцінювати різні сценарії розвитку проєктів. Використовуючи алгоритми машинного навчання та прогнозування, можна ідентифікувати найкращі варіанти рішень з погляду економічної доцільності, енергетичної ефективності, довговічності та відповідності екологічним стандартам. Завдяки цьому вдається значно знизити ймовірність помилок,

що виникають через людський фактор, а також мінімізувати ризики, пов'язані з непередбачуваними обставинами в процесі реалізації проєктів.

Інформаційні технології, своєю чергою, забезпечують ефективне управління проєктами через автоматизацію процесів планування, проєктування та контролю за виконанням робіт. Системи для управління будівництвом, автоматизовані платформи для проєктування та програмне забезпечення для моніторингу в реальному часі дозволяють усім учасникам проєкту оперативно взаємодіяти, що мінімізує ризики затримок та неузгодженостей. Таким чином, інтеграція штучного інтелекту та ІТ-технологій сприяє підвищенню якості управління ресурсами й забезпечує дотримання сучасних стандартів сталого будівництва.

Однією з ключових переваг спільного використання цих технологій є можливість індивідуалізації проєктів під конкретні потреби замовника та умови реалізації. На основі аналізу даних про економічні показники, технічні вимоги,

екологічні аспекти та умови будівельного майданчика, штучний інтелект може запропонувати оптимальні варіанти проєктів, що забезпечують максимальну ефективність використання ресурсів.

Завдяки можливості оцінювати екологічні аспекти будівництва та сприяти створенню енергоефективних, стійких до впливу зовнішніх факторів будівель, інтеграція штучного інтелекту та інформаційних технологій робить будівельну галузь

більш гнучкою, конкурентоспроможною та орієнтованою на збереження навколишнього середовища.

Таким чином, поєднання штучного інтелекту та інформаційних технологій у будівництві формує новий підхід до проєктування та управління будівлями, забезпечуючи раціональний вибір рішень, ефективне використання ресурсів і підвищення загальної якості будівельних проєктів.

Список літератури

1. Бродач М. М. Підвищення теплової ефективності будівель оптимізаційними методами: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.03. Москва, 1988. 22 с.
2. Табунщик Ю. А., Бродач М. М., Шилкін Н. В. *Енергоефективні будівлі*. Москва: АВОК-ПРЕС, 2003. 200 с.
3. Табушников Ю. А., Бродач М. М. Математичне моделювання та оптимізація теплової ефективності будівель. Москва: АВОК-ПРЕС, 2002. 194 с.
4. Талапов В. В. Основи BIM. Введення в інформаційне моделювання будівель. Москва: "ДМК-прес", 2011. 392 с.
5. Таурогінський В. І. Досвід будівництва енергозберігаючих будівель у Білорусії. *Енергозбереження*. 2008. № 1.
6. Фаренюк Г. Г., Тимофеев М. В., Білоус О. М. Методика лабораторних досліджень теплостійкості огорож. *Будівельні конструкції*. Київ: Логос, 2008. Вип. 68. С. 131–137.
7. Бендер О. С. Інформаційні технології та штучний інтелект у проєктуванні будівельних об'єктів. *Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції*. 2020. С. 45–73.
8. Загородній В. Г. Економічний аналіз підвищення рівня теплозахисту конструкцій будівель, що захищають. *Зб. праць I Всеросійської наук.-техн. конф.* 2008. С. 24–62.
9. Горшков А. С. Енергоефективність у будівництві: питання нормування та заходи щодо зниження енергоспоживання будівель. *Інженерно-будівельний журнал*. 2010. № 1.
10. Григор'єв М. І. Інтеграція AI до будівельного процесу: від проєктування до експлуатації об'єктів. *Архітектурні перспективи*. 2021. № 2. С. 5–11.
11. Гагарін В. Г. Економічний аналіз підвищення рівня теплозахисту конструкцій будівель, що захищають. *Збірник «Праці I Всеросійської науково-технічної конференції»*. 2008. С. 24–62.
12. Дмитрієв А. М. Управління енергозберігаючими інноваціями: Навчальний посібник для вузів з будівельних спеціальностей. Москва: Вид-во Асоціації будівельних вузів, 2001. 320 с.
13. Гагарін В. Г., Козлов В. В. Вимоги до теплозахисту та енергетичної ефективності у проєкті актуалізованого СНиП «Тепловий захист будівель». *Житлове будівництво*. 2011. № 8. С. 2–6.
14. Науково-технічний збірник "Енергоефективність в будівництві та архітектурі". Випуск 7. Відповідальний редактор П. М. Куліков. Київ: КНУБА, 2015 р. 404 с.
15. Дмитрієв А. М. Управління енергозберігаючими інноваціями: навчальний посібник для вузів з будівельних спеціальностей. Москва: Вид-во Асоціації будівельних вузів, 2001. 320 с.
16. Золотухін Ю. Д. Випробовування будівельних конструкцій. Мінськ: Вища школа, 1983.
17. Касаткін Б. С. Експериментальні методи дослідження деформацій та напружень: Довід. сер. Київ: Наукова думка, 1981, 584 с.
18. Ковалко М. П. Енергозбереження – досвід, проблеми, перспективи. Київ: НАН України; Держкоменергозбереження України, 1997. 162 с.
19. Самарін О. Д. Про вплив зміни клімату на окупність додаткового утеплення непрозорих огорож. *Academia. Архітектура та будівництво*. 2009. № 5. С. 561–563.

Стаття надійшла до редколегії 15.05.2025

Chupryna Khrystyna

DSc (Economics), Professor, Professor of the Department of Management in Construction,
<https://orcid.org/0000-0001-5518-3607>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Fedorchenko Mykola

Postgraduate student of the Department of Information Technology Design and Applied Mathematics
<https://orcid.org/0009-0009-0156-6042>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Katin Alexander

Postgraduate student of the Department of Information Technology Design and Applied Mathematics

<https://orcid.org/0009-0003-9356-4197>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Hrohol Viktor

Postgraduate Student of the Department of Management in Construction

<https://orcid.org/0009-0007-7642-4132>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**DEVELOPMENT OF THE CONCEPTUAL APPARATUS FOR THE COMBINED APPLICATION
OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND IT AS A NEW BASIS FOR SELECTING
BUILDINGS WITH RATIONAL CHARACTERISTICS**

Abstract. *The modern construction industry is undergoing significant transformation due to the rapid development of technologies, particularly artificial intelligence (AI) and information technologies (IT). The introduction of these innovative solutions forms a new basis for making effective decisions in the design and construction process, allowing for the selection of rational building options that meet high requirements for quality, economic efficiency, and environmental sustainability. AI provides the ability to perform detailed analysis of large volumes of data, model different solution options, and predict results with high accuracy. This is especially relevant for construction projects, where every decision – from the choice of materials to the design of infrastructure – can significantly impact the final outcome. The use of AI allows for quick assessment of potential project development scenarios, identification of the most economically feasible solutions, and consideration of possible risks. Information technologies provide access to powerful design and management tools. Software tools for automated design, construction project management systems, and platforms for real-time collaboration contribute to the optimization of processes from planning to implementation. The combination of AI with IT creates a single ecosystem that supports all stages of the building life cycle: from concept to operation and maintenance. One of the main advantages of the joint use of AI and IT in construction is the ability to adapt projects to the specific needs of the customer and the working conditions. By analyzing data on construction site conditions, economic indicators, technical requirements, and regulatory constraints, AI can offer optimal project options that meet these criteria. This not only optimizes costs but also increases the overall efficiency of the project. AI is also able to assess the environmental aspects of construction, which contributes to the creation of sustainable buildings with minimal energy consumption and environmental impact. This is extremely important in the context of modern requirements for energy efficiency and environmental safety of buildings. Therefore, the combination of AI and IT in the construction industry provides new opportunities for project management, contributing to the rational use of resources, cost reduction, and quality assurance in accordance with the requirements of sustainable development.*

Keywords: *Artificial intelligence; information technology; construction projects; rational characteristics; solution optimization; modeling; environmental sustainability; construction efficiency; resource management*

References

1. Brodach, M. M. (1988). Improving the thermal efficiency of buildings by optimization methods: Abstract of PhD dissertation in engineering sciences: 05.23.03. Moscow. 22 p.
2. Tabunshchik, Yu. A., Brodach, M. M., & Shilkin, N. V. (2003). Energy-efficient buildings. AVOK-PRESS. 200 p.
3. Tabunshchikov, Yu. A., & Brodach, M. M. (2002). Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings. AVOK-PRESS. 194 p.
4. Talapov, V. V. (2011). Fundamentals of BIM. Introduction to building information modeling. "DMK-press". 392 p.
5. Tauroginsky, V. I. (2008). Experience of constructing energy-saving buildings in Belarus. *Energozbezpezhennia*, (1).
6. Farenjuk, G. G., Tymofeev, M. V., & Bilous, O. M. (2008). Methodology of laboratory studies of enclosure thermal resistance. *Building Structures*, 68, 131–137.
7. Bender, O. S. (2020). Information technologies and artificial intelligence in the design of building objects. *Materials of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference*, 45–73.
8. Zagorodny, V. G. (2008). Economic analysis of increasing the level of thermal protection of building envelope structures. *Collection of works of the I All-Russian Scientific and Technical Conference*, 24–62.
9. Gorshkov, A. S. (2010). Energy efficiency in construction: Issues of standardization and measures to reduce energy consumption of buildings. *Engineering and Construction Journal*, (1).
10. Grygoriev, M. I. (2021). Integration of AI into the construction process: From design to operation of facilities. *Architectural Perspectives*, (2), 5–11.
11. Gagarin, V. G. (2008). Economic analysis of increasing the level of thermal protection of building envelope structures. *Collection "Proceedings of the I All-Russian Scientific and Technical Conference"*, 24–62.

12. Dmitriev, A. M. (2001). Management of energy-saving innovations: A textbook for construction universities. Publishing House of the Association of Construction Universities. 320 p.
13. Gagarin, V. G., & Kozlov, V. V. (2011). Requirements for thermal protection and energy efficiency in the updated SNiP "Thermal protection of buildings" project. *Housing Construction*, (8), 2–6.
14. Scientific and technical collection "Energy efficiency in construction and architecture". (2015). Issue 7. Editor-in-chief P. M. Kulikov. Kyiv: KNUBA. 404 p.
15. Dmitriev, A. M. (2001). Management of energy-saving innovations: A textbook for construction universities. Publishing House of the Association of Construction Universities. 320 p.
16. Zolotukhin, Yu. D. (1983). Testing of building structures. Higher School.
17. Kasatkin, B. S. (1981). Experimental methods for studying deformations and stresses: Reference book. Naukova Dumka, 584 p.
18. Kovalenko, M. P. (1997). Energy saving – experience, problems, prospects. NAS of Ukraine; State Committee for Energy Saving of Ukraine. 162 p.
19. Samarin, O. D. (2009). On the impact of climate change on the payback of additional insulation of opaque enclosures. *Academia. Architecture and Construction*, (5), 561–563.

Посилання на публікацію

- APA Chupryna, Kh., Fedorchenko, M., Katin, A., & Hrohol, V. (2025). Development of the Conceptual Apparatus for the Combined Application of Artificial Intelligence and IT as a New Basis for Selecting Buildings with Rational Characteristics. *Management of Development of Complex Systems*, 62, 141–154, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.141-154.
- ДСТУ Чуприна Х. М., Федорченко М. А., Катін О. А., Гроголь В. Я. Опрацювання понятійного апарату щодо сумісного застосування штучного інтелекту та ІТ як нового підґрунтя вибору варіантів будівель з раціональними характеристиками. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2025. № 62. С. 141 – 154, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.141-154.