

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ

РУДНЄВА ІРИНА МИКОЛАЇВНА



УДК 69.056.55: 69.059

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СИСТЕМА
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПІДСИЛЕННЯ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ
ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЇ**

Спеціальність 05.23.08 – технологія та організація промислового та
цивільного будівництва

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2026

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури (м Київ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Молодід Олександр Станіславович,
професор кафедри будівельних технологій
Київського національного університету
будівництва і архітектури,

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Менейлюк Олександр Іванович,
в.о. завідувача кафедри будівельних технологій
Одеської державної академії будівництва та
архітектури;

доктор технічних наук, професор
Арутюнян Ірина Андріївна,
завідувач кафедри промислового та цивільного
будівництва Інженерного навчально-наукового
інституту ім. Ю. М. Потебні Запорізького
національного університету;

доктор технічних наук, професор
Алейнікова Алевтина Ігорівна,
професор кафедри технології та організації
будівельного виробництва Харківського
національного університету міського господарства
імені О.М. Бекетова;

Захист відбудеться «17» вересня 2026 року о 12.00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.03 у Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, пр. Повітряних Сил, 31, ауд. 204.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, пр. Повітряних Сил, 31.

Реферат розіслано «15» липня 2026 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.056.03
канд. техн. наук, доцент



Максим КЛИС

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні умови експлуатації будівель і споруд, зокрема фізичний і моральний знос конструкцій, зміна функціонального призначення об'єктів, підвищення експлуатаційних навантажень, оновлення нормативних вимог, вплив кліматичних чинників та наслідки бойових дій, зумовлюють необхідність реконструкції та підсилення каркасних будівель. Особливо це стосується промислових і цивільних об'єктів, які становлять значну частину існуючого будівельного фонду України.

Підсилення каркасних конструкцій є невід'ємною складовою реконструкції, оскільки забезпечує відновлення або підвищення несучої здатності, жорсткості, довговічності та експлуатаційної придатності будівель. Разом з тим процес підсилення пов'язаний не лише з вибором окремих технічних рішень, а й з урахуванням просторово-планувальних обмежень, умов виконання робіт, трудомісткості, вартості, ризиків, екологічних та організаційних факторів.

Нормативна та методична база України, положення ДСТУ, ДБН, ISO та європейських регламентів встановлюють високі вимоги до якості, безпеки й довговічності будівельної продукції та процесів. Проте в практиці реконструкції каркасних будівель підходи до вибору рішень підсилення переважно залишаються фрагментарними. Більшість відомих рішень орієнтована на окремі типи елементів або локальні випадки пошкоджень і не забезпечує комплексного врахування технічного стану каркасу, просторово-планувальних параметрів, умов виконання робіт, ризиків, ресурсних обмежень, вимог життєвого циклу та принципів сталого розвитку. Недостатньо дослідженими залишаються питання багатокритеріального оцінювання якості рішень, нормування витрат праці, формалізації вибору КТР і ОТР, а також інтеграції сучасних цифрових інструментів у процес прийняття рішень.

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення, коли зростає потреба у швидкому, безпечному та економічно обґрунтованому відновленні пошкоджених будівель. У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції, яка б поєднувала оцінку технічного стану, багатокритеріальний вибір рішень, моделювання технологічних процесів та інтеграцію сучасних цифрових підходів. У контексті цього **наукова гіпотеза** дослідження *базується на припущенні, що розробка єдиної КТС підсилення каркасних будівель, яка ґрунтується на комплексному аналізі технічних, економічних, екологічних і соціальних факторів, дозволить підвищити експлуатаційну надійність конструкцій та ефективність процесів реконструкції. Інтеграція сучасних цифрових підходів, принципів ощадливої організації процесів та ресурсоефективного управління життєвим циклом будівель, що відповідають засадам сталого розвитку, сприятиме оптимізації вибору КТР, зниженню витрат і негативного впливу на довкілля, а також забезпечить довговічність і безпечність будівель.*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана у межах науково-дослідних робіт, що здійснюються за участі автора на кафедрі будівельних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури, а саме: «Технологічні основи виконання будівельних робіт та процесів будівельного виробництва» (ДР № 0119U000544), «Вдосконалення теоретичних основ варіантного проектування технологій будівництва та реконструкції об'єктів промислового та цивільного призначення» (ДР № 0125U002046), «Система аналітичного визначення стандартів часу на виконання будівельних процесів» (ДР № 0225U002391).

Тематика роботи відповідає: Закону України «Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду» від 22.12.2006 р. № 525-V; Закону України «Про інноваційну діяльність» від 04.07.2002 р. № 40-IV; розпорядженню КМУ «Про схвалення Концепції Містобудівного кодексу України» від 18.07.2007 р. № 536-р; розпорядженню КМУ «Про схвалення Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року» від 10.07.2019 р. № 526-р.

Мета і завдання дослідження. *Мета* дисертаційної роботи полягає у науково обґрунтованій КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції, що базується на інтеграції сучасних цифрових технологій, принципів ощадливої організації процесів, екологічно сталих рішень, методів багатокритеріального прийняття рішень та багатофакторної оптимізації технологічних процесів.

Для реалізації зазначеної мети, необхідно виконати такі *завдання*:

- проаналізувати сучасний стан проблеми підсилення каркасних будівель під час реконструкції, узагальнити та систематизувати причини дефектів і пошкоджень несучих конструкцій, а також існуючі методи і технології їх підсилення з урахуванням умов експлуатації та факторів внутрішнього і зовнішнього середовища;
- розробити та обґрунтувати методологічні основи формування КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель, визначити її структуру, склад підсистем та взаємозв'язки між КТР і ОТР;
- розробити алгоритм формування та моделювання КТР і ОТР підсилення на основі багатокритеріального підходу з урахуванням критеріїв надійності, ефективності та сталості, а також інтеграції сучасних цифрових технологій, принципів ощадливого управління процесами та принципів сталого розвитку;
- систематизувати та розробити комплексний підхід до формування технологічних рішень підсилення каркасних будівель, що враховує технічний стан конструкцій, просторово-планувальні параметри об'єкта, ресурсні та виробничі обмеження, екологічні, економічні та соціально-культурні аспекти реконструкції;
- розробити методичні рекомендації щодо практичного застосування КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель, орієнтовані на використання принципів ощадливої організації процесів, цифрового моделювання процесів,

оптимізацію управління ресурсами, оцінювання ризиків та підтримку прийняття інженерних рішень;

– виконати апробацію запропонованої методології підсилення каркасних конструкцій на реальних об'єктах реконструкції, провести порівняльне оцінювання ефективності традиційних і інноваційних технологічних рішень, зокрема із застосуванням FRP-матеріалів, принципів ощадливої організації процесів та цифрових інструментів управління реконструкцією.

Об'єкт дослідження – процес підсилення каркасних будівель під час реконструкції.

Предмет дослідження – формування науково обґрунтованої КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель, що базується на багатокритеріальному виборі КТР і ОТР з урахуванням просторових параметрів, умов реалізації реконструкції та критеріїв надійності, ефективності і сталості протягом життєвого циклу будівель.

Методи дослідження. Для обґрунтування актуальності, формування мети та завдань дослідження, аналізу й узагальнення науково-технічної літератури використано методи системно-структурного аналізу і синтезу, узагальнення, класифікації та порівняльного аналізу. При систематизації дефектів і пошкоджень каркасних конструкцій, а також чинників, що впливають на процеси їх підсилення, застосовано методи системного підходу, абстрагування, формалізації та експертних оцінок. Під час дослідження процесів формування КТР і ОТР використано методи структурної декомпозиції будівельних процесів, багатокритеріального аналізу та алгоритмізації прийняття інженерних рішень. Для дослідження технологічних процесів підсилення застосовано методи комбінаторного аналізу технологічних переходів, мережевого подання процесів і ієрархічної декомпозиції будівельних операцій. Під час визначення трудомісткості та тривалості процесів підсилення використано методи натурних хронометражних спостережень, мікроелементного нормування та статистичного аналізу експериментальних даних. Для оцінювання ефективності альтернативних КТР застосовано методи техніко-економічного, функціонально-вартісного та порівняльного аналізу, а також багатокритеріального ранжування рішень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у формуванні наукоємної КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель та у науковому обґрунтуванні багатокритеріального вибору ефективних КТР і ОТР на стадіях обстеження, проєктування та реалізації реконструкції.

Наукову новизну складають наступні результати.

вперше:

- розроблено та обґрунтовано *наукову концепцію КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель*, у межах якої процес підсилення розглядається як керована багатокритеріальна система взаємопов'язаних перетворень. Сформульовано теоретичні засади інтеграції конструктивних, технологічних, організаційних, економічних та екологічних чинників у єдиному просторі прийняття рішень. Запропоновано ієрархічну модель універсальної множини

КТР та ОТР, структуровану за характером втручання в роботу каркасу, умовами реконструкції та параметрами реалізації. Доведено доцільність розгляду *BIM*- та *Lean*-технологій як базових структурних компонентів системи управління якістю підсилення, що створює теоретичне підґрунтя для розвитку цифровоорієнтованих підходів у технології та організації реконструкції будівель;

- запропоновано ***BIM-орієнтовану інформаційно-аналітичну підсистему як цифрове ядро КТС з інтегрованим інтелектуальним контуром управління якістю та підтримки прийняття рішень***, що забезпечує формалізований вибір моделей КТР і ОТР у межах єдиного інформаційного середовища. Сформовано формалізовану систему оцінювання якості моделей підсилення, що базується на інтегрованій системі критеріїв ефективності, надійності та сталості та слугує основою для обґрунтованого вибору рішень. Систематизовано фактори недосконалого застосування матеріалів як окрему групу впливу на якість підсилення, що дозволило формалізувати їх у складі КТС та встановити причинно-наслідкові зв'язки між технічним станом конструкцій, технологічними помилками під час виконання робіт і ризиками зниження експлуатаційної надійності підсилених елементів. Запропоновано методику порівняльного багатокритеріального оцінювання та ранжування моделей підсилення за показниками трудомісткості, вартості, просторових обмежень, подовження строку служби конструкції, рівня підвищення несучої здатності та сталості. Розроблені методичні положення забезпечують формалізований вибір раціональних моделей підсилення з урахуванням умов реконструкції та пріоритетів проєкту.

- в якості аналітико-алгоритмічної підсистеми дослідження обґрунтовано ***формалізований механізм узгодження моделей КТР та ОТР з інтеграцією факторів ініціювання підсилення у просторі взаємозв'язків «багато-до-багатьох» із використанням логічної матриці відношень та комплексу CRIST***. Це дозволило перейти від описового підходу до алгоритмізованого попереднього відбору допустимих комбінацій рішень залежно від умов реконструкції та факторів ініціювання підсилення. Розроблено операційну модель оптимізації процесів підсилення, у межах якої встановлено функціональні залежності між технологічними операціями та інтегральною оцінкою якості КТР. Вперше запропоновано алгоритм цифровізації прийняття рішень щодо підсилення каркасних будівель із поєднанням 3D-сканування, BIM-моделювання, імітаційного аналізу та механізмів ітераційного коригування моделей. Отримані результати формують аналітичну основу для автоматизації процесів управління реконструкцією.

- в якості розрахунково-прикладної підсистеми дослідження - вперше ***реалізовано імітаційний підхід до оцінювання моделей підсилення каркасних будівель на основі серії альтернативних сценаріїв організації робіт, що дозволило кількісно визначити вплив технологічних і організаційних факторів на рівень якості підсилення***. Розроблено систему інтегрального оцінювання моделей КТР із використанням індексу порівняльної доцільності як

узагальненого критерію вибору. Практичну цінність мають результати інтеграції принципів ощадливої організації процесів, життєво-циклового аналізу та цифрового моделювання для мінімізації ресурсних витрат, ризиків і екологічного впливу в процесі реконструкції. Запропоновані моделі та алгоритми створюють підґрунтя для підвищення ефективності організації будівельного виробництва та забезпечення якості підсилення каркасних будівель у сучасних умовах реконструкції та відновлення об'єктів.

Удосконалено:

- **наукові засади оцінювання якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції шляхом переходу від аналізу окремих технічних рішень до комплексного багатокритеріального підходу в межах КТС.** Розвинено принципи побудови методики дослідження процесів підсилення на основі інтеграції системного, процесного, ризик-орієнтованого та життєво-циклового підходів. Удосконалено систему критеріїв оцінювання КТР шляхом урахування технологічності, просторово-планувальних обмежень, виробничих ризиків, трудомісткості, тривалості виконання робіт, собівартості та екологічної ефективності. Це дозволило забезпечити більш повне врахування умов реконструкції та підвищити обґрунтованість вибору рішень щодо підсилення каркасних будівель.

- **методичні положення щодо обстеження та оцінювання технічного стану каркасних конструкцій на основі систематизації дефектів, пошкоджень і механізмів їх розвитку з урахуванням впливу на несучу здатність, жорсткість та довговічність будівель.** Розширено підходи до визначення причин виникнення пошкоджень і їх взаємозв'язку з умовами експлуатації та реконструкції об'єктів. Удосконалені положення дозволяють більш обґрунтовано формувати стратегії підсилення залежно від фактичного технічного стану конструкцій та умов виконання робіт. Практична цінність результатів полягає у підвищенні достовірності прийняття ОТР щодо реконструкції каркасних будівель.

- **методику аналізування, нормування та коригування трудових і часових витрат на процеси підсилення каркасних конструкцій шляхом урахування багатофакторної системи** техніко-технологічних, організаційних, ергономічних та чинників середовища. Удосконалено модель мікроелементного нормування за рахунок введення інтегрального коригувального коефіцієнта комбінованого впливу факторів реконструкції, що дозволяє адаптувати нормативні показники до реальних виробничих умов. Удосконалений підхід забезпечує більш точне прогнозування трудомісткості та тривалості виконання робіт, а також сприяє оптимізації організації будівельного виробництва під час реконструкції каркасних будівель.

- **підходи до формування ОТР щодо підсилення каркасних будівель** шляхом структуризації їх на моделі реалізації КТР та моделі управління, цифровізації, оптимізації й контролю якості будівельних процесів. Розширено методичні підходи до врахування просторово-планувальних характеристик існуючих будівель, параметрів робочих зон, доступності фронту робіт та виробничих

обмежень при виборі рішень реконструкції. Це дозволило підвищити рівень адаптивності КТР до специфічних умов експлуатації та виконання робіт у стисненому міському середовищі й на діючих об'єктах.

- **підходи до цифровізації процесів прийняття рішень щодо підсилення каркасних будівель** на основі інтеграції BIM-технологій, принципів ощадливої організації процесів, життєво-циклового аналізу та моделей багатокритеріального оцінювання. Удосконалено методичні положення щодо вибору сучасних матеріалів і виробів для підсилення з урахуванням не лише їх фізико-механічних характеристик, а й технологічної реалізованості, довговічності, ремонтпридатності та екологічного впливу. Удосконалено рекомендації щодо практичного застосування КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель із використанням BIM, АНР, Lean та системного управління ризиками. Це створює передумови для підвищення ефективності реконструкції, зниження ресурсних витрат і реалізації принципів сталого розвитку в будівництві.

Набуло подальшого розвитку:

- **теоретичні положення щодо реконструкції каркасних будівель як комплексного процесу зміни технічного стану та експлуатаційних характеристик несучого каркасу під впливом конструктивних, технологічних, організаційних, економічних і екологічних чинників.** Розширено наукові уявлення про взаємозв'язок параметрів реконструкції з процесами забезпечення якості підсилення будівель. Подальший розвиток отримали положення щодо впливу просторово-планувальних характеристик існуючих об'єктів на формування КТС реконструкції та вибір способів підсилення. Запропонований підхід має важливе значення для розвитку теорії технології та організації будівництва, оскільки забезпечує більш повне врахування умов функціонування об'єкта та специфіки виконання робіт у процесі реконструкції;

- **підходи до систематизації дефектів, пошкоджень і факторів технічного стану каркасних конструкцій як інформаційної основи для формування стратегій реконструкції та підсилення будівель.** Розширено класифікаційні ознаки пошкоджень з урахуванням причин їх виникнення, характеру розвитку та впливу на експлуатаційну надійність каркасу. Подальший розвиток отримали положення щодо оцінювання технічного стану елементів каркасних систем у контексті вибору раціональних КТР. Наукова цінність результатів полягає у підвищенні достовірності діагностики та формуванні обґрунтованих підходів до прийняття рішень щодо підсилення й відновлення будівель у складних умовах реконструкції;

- **методичні підходи до моделювання технологічних процесів підсилення каркасних будівель на основі мікроелементного підходу, комбінаторного аналізу та мережевого подання процесів організації робіт.** Розширено науково-прикладні засади формування операційної системи оптимізації підсилення конструкцій за критеріями надійності, ресурсної ефективності та адаптивності до умов реконструкції. Подальший розвиток отримали підходи до

порівняльного оцінювання альтернативних моделей підсилення за інтегральними показниками якості, продуктивності та сталості. Отримані результати мають суттєве практичне значення для підвищення ефективності організації реконструкції та оптимізації технологічних схем виконання будівельних робіт;

- **наукові положення щодо застосування сучасних матеріалів і систем підсилення у КТС реконструкції каркасних будівель.** Розширено підходи до оцінювання ефективності використання FRP-, FRCM- та TRM-систем із урахуванням вимог довговічності, технологічності, низьковуглецевої реконструкції та принципів сталого розвитку. Подальший розвиток отримали положення щодо вибору матеріалів підсилення залежно від умов експлуатації, типу конструкцій та організаційно-технологічних обмежень реконструкції. Науково-практична значущість результатів полягає у створенні передумов для більш раціонального використання ресурсів, підвищення технічної ефективності та зниження екологічного впливу будівельних процесів;

- **набули подальшого розвитку методичні засади цифровізації процесів забезпечення якості підсилення каркасних будівель** шляхом інтеграції BIM, Lean, Digital Twin, SHM, LCA та інтелектуальних методів аналізу даних у єдине інформаційне середовище реконструкції. Розширено підходи до переходу від описового вибору способів підсилення до алгоритмізованого багатокритеріального прийняття рішень у межах концепції Construction 4.0. Подальший розвиток отримали принципи цифрової підтримки оцінювання, прогнозування та оптимізації КТР у процесі реконструкції будівель. Значущість одержаних результатів полягає у розвитку сучасних цифрово орієнтованих підходів до управління реконструкцією та підвищенні ефективності реалізації будівельних проєктів в умовах сучасних викликів будівельної галузі.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблена КТС, методики та моделі доведені до рівня, придатного для практичного використання при реконструкції цивільних і промислових будівель. Запропоновані науково-методичні положення можуть бути застосовані як основа для обґрунтованого вибору та узгодження КТР і ОТР підсилення в умовах реконструкції. Їх використання сприяє підвищенню обґрунтованості проєктних рішень, зниженню трудомісткості, тривалості та вартості робіт, зменшенню виробничих ризиків, а також підвищенню надійності, довговічності та сталості підсилених конструкцій. Результати дослідження можуть бути використані проєктними, науково-дослідними, експертними та будівельними організаціями при розробленні проєктно-кошторисної документації, нормативно-методичних матеріалів і інвестиційних програм, а також у підготовці фахівців будівельного профілю. Запропоновані підходи формують науково-методичну основу для подальшого створення спеціалізованих інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень у сфері реконструкції будівель, за умови їх окремого алгоритмічного та програмного опрацювання. Теоретичні та практичні положення дисертаційної роботи використовувались в освітньому процесі під час проведення лекційних і науково-методичних занять, зокрема в межах

міжнародної науково-освітньої діяльності в університетах Німеччини, Китайської Народної Республіки та Словенії, що сприяло їх апробації в міжнародному академічному середовищі. За участю автора підготовлено навчально-методичні матеріали, які застосовуються під час проведення практичних занять і виконання курсових робіт здобувачами спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Результати дослідження апробовано при виконанні науково-дослідних і проєктних робіт, зокрема у ТОВ «Укргіпротранс», де автором були виконані дослідження з обстеження, оцінювання технічного стану конструкцій, формування та вибору КТР підсилення, а також багатокритеріального оцінювання альтернатив і нормування трудових витрат (довідка про апробацію від 03.04.2026 р.). Окремі результати апробовано у діяльності ФОП Шутенко В.В., на замовлення якого автором надано рекомендації щодо вибору та обґрунтування КТР підсилення, оцінювання альтернатив і оптимізації організаційно-технологічних процесів, що забезпечило підвищення якості підсилення, зниження трудомісткості та витрат (довідка про апробацію від 04.04.2026 р.). Ефективність і прикладна цінність результатів підтверджено їх використанням у практиці реконструкції будівель.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною науковою працею, а її результати, теоретичні положення, практичні розробки, висновки та рекомендації належать особисто автору, є його власним теоретичним та практичним внеском у розвиток як теоретичних положень будівельної науки, так і практичної її реалізації. Результати дисертації опубліковано автором самостійно та у співавторстві. Внесок здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві, висвітлено у списку опублікованих праць. З наукових публікацій, виданих у співавторстві, у дисертації використано ті матеріали, які становлять особистий внесок автора.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертації, результати теоретичних та експериментальних досліджень оприлюднено на 19-ти всеукраїнських та міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях, зокрема на: міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2026» (Чернігів, 2026); міжнародному науково-технічному форумі «*Architecture, Construction, Design: Technology, Energy, Management – 2024*» (Київ, 2024); міжнародному науково-технічному форумі «*Архітектура та будівництво: нові тенденції і технології. Теорія та практика*» (Київ, 2022 та 2021); I Міжнародній науково-практичній онлайн-конференції «*Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України*» (Київ, 2021); III науково-практичній конференції «*Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції*» (Київ, 2021); VII міжнародній науково-практичній конференції «*Трансфер інноваційних технологій*» (Київ–Дортмунд–Нур-Султан–Дзянсу, 2021); IV міжнародній науково-практичній конференції «*Інноваційні технології в архітектурі і дизайні*» (Харків, 2021); міжнародній конференції «*EU Principled Pragmatism – Consequences for the Eastern and South-Eastern Europe: political, economic, legal and communication aspects*» (Київ, 2021); I Міжнародній науково-

практичній конференції ім. П.М. Ковалю «Актуальні питання мостового господарства та шляхи його покращення» (Запоріжжя, 2021); Всеукраїнській науковій конференції «Сучасна архітектурна освіта» (Київ, 2021); міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Build-Master-Class» (Київ, 2020, 2016); міжнародному семінарі «Economics of the cultural heritage, tourism and modern fortifications in EU» (Венеція, 2016); конференції молодих учених, аспірантів і студентів КНУБА (Київ, 2002, 2014); IX міжнародній конференції «Modern Building Materials, Structure and Techniques» (Вільнюс, 2007); міжнародній конференції «Реконструкція-2005» (Санкт-Петербург, 2005).

Публікації. Основні етапи, результати та висновки дисертаційної роботи представлено у 48 друкованих працях (зокрема, 19 – без співавторів [1, 5, 8, 10, 11, 19, 22, 25-33, 35, 36, 38, 39], з яких: 7 статей – у міжнародних виданнях і тих, що рецензуються у WoS [1-7]; 17 статей – у вітчизняних фахових виданнях (усі індексуються у міжнародних базах даних) [8-24]; 3 патенти України на корисну модель [44-46]; 2 навчальні посібники [47, 48], 2 з яких – з грифом МОН України [47, 48]; 19 публікацій апробаційного характеру у збірниках матеріалів наукових конференцій та семінарів [25–43].

Структура та обсяг дисертації відповідає встановленим вимогам та змісту вирішуваних в дисертації завдань. Дисертація містить анотацію українською та англійською мовами, список праць здобувача, вступ, сім розділів, загальні висновки, список використаних джерел із 295 найменувань, додатки. Повний обсяг дисертації складає 558 сторінку, з них 446 сторінок основного тексту, включаючи 180 рисунків та 75 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження; визначено її мету, завдання, об'єкт, предмет, сформульовано методологічну основу дослідження; висвітлено наукову новизну, науково-теоретичне та практичне значення одержаних результатів; наведено відомості про апробацію результатів дослідження, структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі «Науково-технічні передумови підвищення якості технологій підсилення каркасних будівель і споруд»** досліджено сучасний стан проблеми підсилення каркасних будівель під час реконструкції, проаналізовано нормативну базу, наукові підходи та практичний досвід реалізації КТР. Показано, що необхідність продовження життєвого циклу будівель зумовлена фізичним і моральним зносом конструкцій, зміною навантажень, нормативних вимог та умов експлуатації, що потребує переходу від локальних технічних заходів до системного забезпечення якості підсилення. Обґрунтовано, що ефективність КТР визначається сукупністю взаємопов'язаних показників технологічності, надійності, економічності, екологічності та безпеки. Визначено вплив об'ємно-планувальних і геометричних параметрів існуючих будівель (просторова схема, сітка колон, поверховість, щільність інженерних комунікацій, доступність фронту робіт) на формування системи підсилення та вибір способів її реалізації. Систематизовано відповідність «об'ємно-

планувальне рішення – метод підсилення», що дозволило формалізувати вибір КТР з урахуванням просторових обмежень.

Узагальнено досвід застосування традиційних (оббетонування, металеві обойми, нарощування перерізів) та інноваційних (FRP) технологій підсилення, визначено їх переваги, обмеження та умови раціонального використання залежно від технічного стану конструкцій і вимог до довговічності та сталості. Виявлено відсутність уніфікованої системи вибору матеріалів і КТР та недостатню формалізацію процедур багатокритеріального оцінювання, що ускладнює обґрунтований вибір раціональних рішень і підвищує залежність від експертного досвіду. Проаналізовано сучасні підходи до організаційно-технологічного проєктування підсилення, включаючи застосування BIM, цифрових інструментів та принципів оптимізації. Встановлено їх фрагментарний характер та недостатню інтеграцію технічних, економічних, організаційних і екологічних чинників у межах єдиної системи. На цій основі запропоновано концептуальну модель оптимізації підсилення каркасних конструкцій, яка забезпечує трансформацію експлуатаційних вимог у параметри КТР та їх багатокритеріальний вибір за показниками якості. Доведено відсутність інтегрованої КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель, орієнтованої на врахування повного життєвого циклу об'єкта. Це обумовлює необхідність розроблення цілісної КТС із формалізованими процедурами вибору КТР, оцінювання ризиків та якості рішень на основі багатокритеріального підходу, цифрових технологій і принципів сталого розвитку.

У другому розділі **«Методологія та загальна методика забезпечення якості підсилення каркасних будівель»** розроблено методологічні засади забезпечення якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції та сформовано загальну методику дослідження. Обґрунтовано, що якість підсилення доцільно розглядати як інтегральну властивість конструктивно-технологічних рішень, яка визначається їх відповідністю вимогам надійності, ефективності та сталості протягом життєвого циклу об'єкта. Встановлено необхідність застосування системного, багатофакторного та життєво-циклового підходів з урахуванням технічного стану конструкцій, умов експлуатації, ризиків реконструкції та вимог сталого розвитку в єдиному просторі прийняття рішень.

Запропоновано модель життєвого циклу інвестиційно-будівельного проєкту забезпечення якості підсилення каркасних будівель, яка охоплює етапи від технічного аудиту та формування альтернатив до реалізації рішень і моніторингу технічного стану. Розроблено узагальнену блок-схему алгоритму побудови методики дослідження якості підсилення в межах КТС, що інтегрують багатокритеріальне оцінювання, аналіз ризиків, BIM-технології, принципи ощадливого управління та механізми порівняння альтернативних рішень.

Сформовано систему критеріїв оцінювання якості КТР, яка базується на інтеграції трьох груп показників: надійності, ефективності та сталості. Критерії експлуатаційної надійності характеризують надійність конструкцій і матеріалів, їх довговічність та стійкість до впливів навколишнього середовища (рис. 1). Критерії ефективності життєвого циклу каркасних будівель оцінюють загальну

доцільність моделі підсилення протягом життєвого циклу будівлі (рис. 2). система критеріїв сталості реконструкції характеризує наслідки реалізації рішень для будівлі, користувачів, навколишнього середовища й збереження архітектурно-культурної цінності об'єкта (рис. 3).

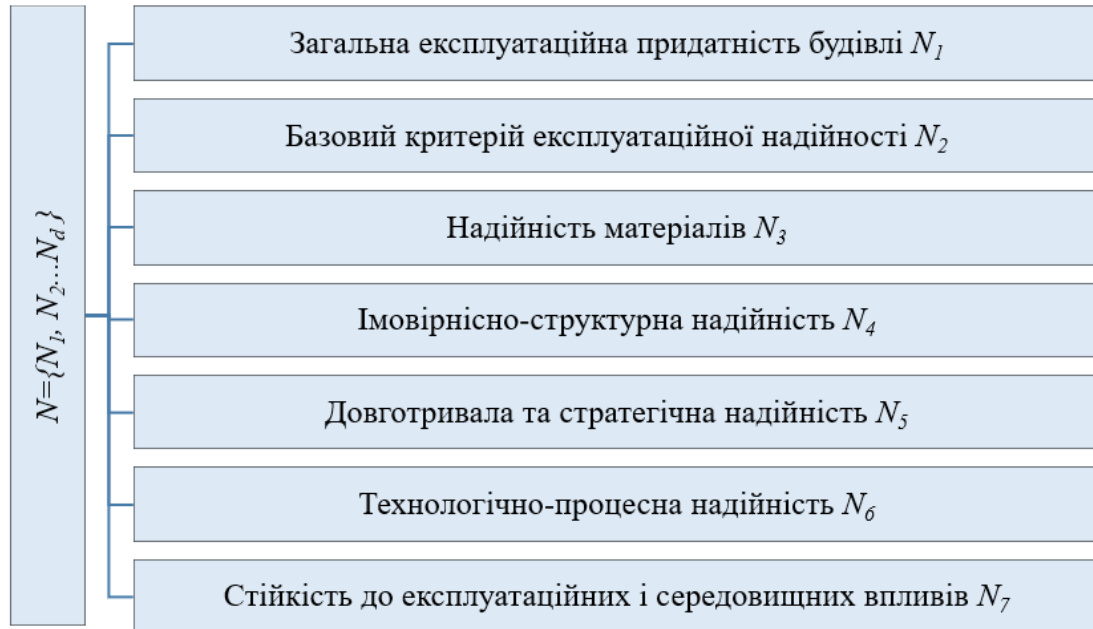


Рис. 1. Структурна схема системи критеріїв експлуатаційної надійності каркасних будівель у процесі реконструкції (Джерело: розроблено автором)

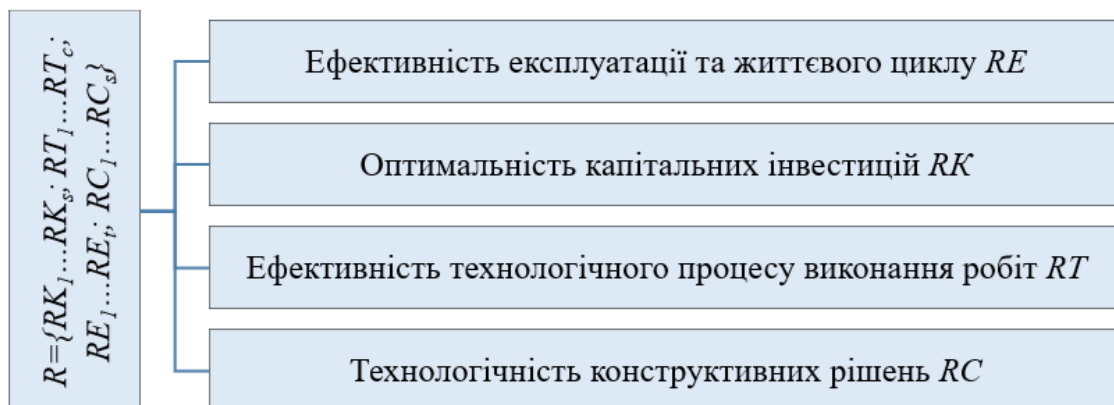


Рис. 2. Структурна схема системи критеріїв ефективності каркасних будівель у процесі реконструкції (Джерело: розроблено автором)

На основі узагальнення критеріїв надійності, ефективності та сталості на рис. 4 запропоновано ієрархічну структуру функції оцінювання якості підсилення каркасних конструкцій. Формалізацію процесу оцінювання представлено у вигляді багатокритеріальної моделі якості QAF, яка забезпечує інтегральне оцінювання та порівняння альтернативних КТР у процесі реконструкції будівель.

У третьому розділі «Методологічні засади дослідження та нормування процесів підсилення каркасних будівель» розроблено методичні підходи до обстеження існуючих каркасів будівель, систематизовано методи

інструментального контролю технічного стану конструкцій та обґрунтовано модель нормування витрат праці і часу на процеси підсилення. Встановлено, що технічне обстеження є вихідною інформаційною основою для прийняття рішень щодо підсилення, відновлення або заміни конструктивних елементів каркасних будівель. У межах КТС розроблено структурно-функціональну модель вибору методів інструментального обстеження, яка базується на відповідності між виявленими дефектами, контрольованими параметрами та методами їх визначення. Сформовано структурно-функціональну модель методів інструментального обстеження каркасів будівель (рис. 5).

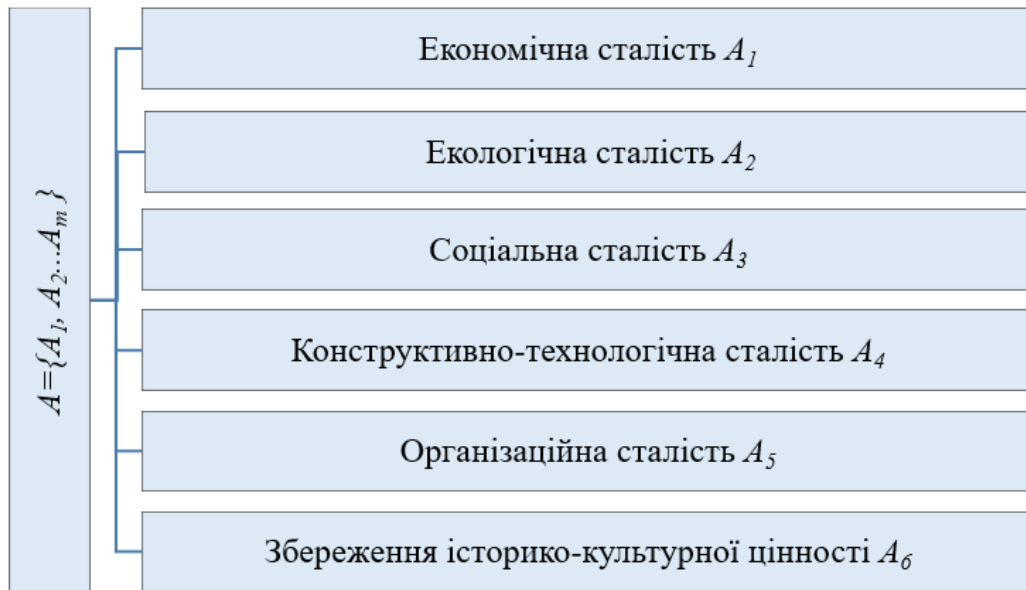


Рис. 3. Критерії сталості при реконструкції каркасу будівлі (Джерело: розроблено автором)

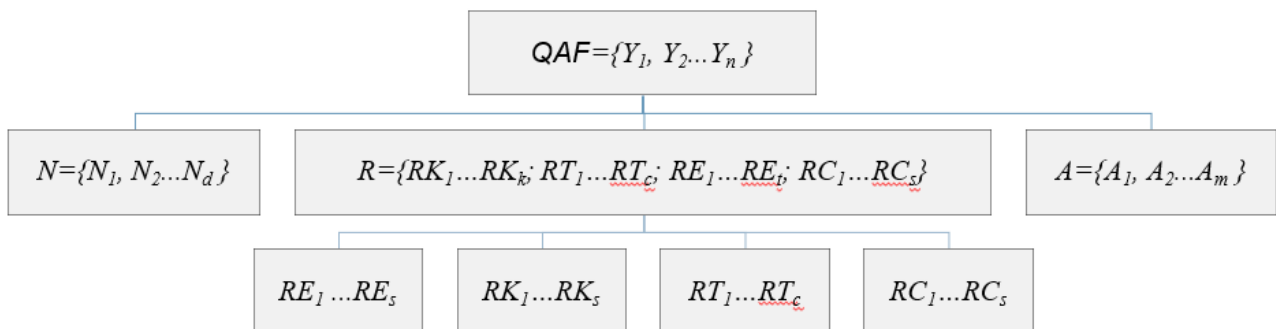


Рис. 4. Ієрархічна структура функції оцінювання якості (QAF) підсилення каркасних конструкцій, що інтегрує критерії надійності (N), ефективності (R) та сталості (A) (Джерело: розроблено автором)

Проаналізовано існуючі підходи до визначення норм часу на виконання процесів підсилення конструкцій та встановлено обмеженість традиційних нормативних баз щодо врахування особливостей сучасної реконструкції. Обґрунтовано поєднання аналітичного розрахунку норм часу, хронометражних спостережень та мікроелементного моделювання технологічних процесів підсилення. Розроблено класифікацію факторів, що впливають на нормування

витрат праці та часу при підсиленні конструкцій каркасних будівель. Виділено техніко-технологічні параметри процесів TTP , соціально-психологічні та організаційні фактори $SPOF$, фактори зовнішнього середовища EF , фізіологічний стан працівника PSW , а також відходи, ризики та втрати реконструкції WRL , що формуються під впливом зазначених груп факторів. Логіку їх взаємозв'язку та вплив на нормування витрат праці відображено у вигляді структурної схеми (рис. 6).



Рис. 5. Структурно-функціональна модель методів інструментального обстеження каркасів будівель (Джерело: розроблено автором)

На цій основі вперше введено інтегральний коефіцієнт факторів K_f , який дозволяє адаптувати базові нормативи витрат праці до умов виконання робіт:

$$K_f = K_{TTP} \cdot K_{PSW} \cdot K_{SPOF} \cdot K_{EF} \cdot K_{WRL}, \quad (1)$$

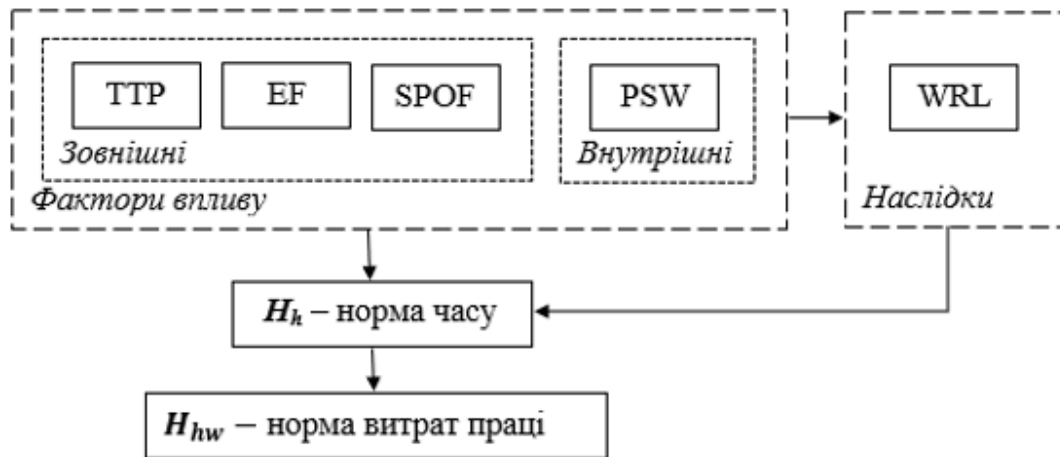


Рис. 6. Структурна схема взаємозв'язку факторів впливу на нормування витрат праці (Джерело: розроблено автором)

Розроблено модель нормування витрат праці процесів підсилення, що базується на мікроелементному підході та враховує умови організації й механізації робіт, обмеженість простору, суміщення процесів і фактори виробничого середовища. Узагальнену функцію норми часу на окремий елемент подано у вигляді:

$$H_h(e) = 0,01667 \cdot \frac{1}{V_e} \cdot T_0(e) \cdot N_w(e) \cdot K_r \cdot K_{rev} \cdot K_f(e) \cdot K_{M,P}(e) \cdot K_{om} \cdot K_{ovlp}, \quad (2)$$

де $T_0(e)$ – базовий час виконання операції; $N_w(e)$ – чисельність виконавців; K_r – коефіцієнт регламентних витрат; K_{rev} – коефіцієнт реверсування рухів; $K_f(e)$ – інтегральний коефіцієнт умов виконання робіт; $K_{M,P}(e)$ – коефіцієнт організації та механізації процесу; K_{om} – коефіцієнт обмежених умов праці; K_{ovlp} – коефіцієнт суміщення операцій.

Запропонована модель забезпечує адаптивне нормування трудових витрат залежно від характеристик конкретного процесу підсилення. Для узагальнення розрахунків сформовано матрицю складових норми витрат праці, яка забезпечує поопераційний аналіз трудомісткості та подальший аналіз моделей підсилення.

У четвертому розділі «Виявлення та відбір факторів, що впливають на якість підсилення каркасних будівель і споруд» досліджено закономірності формування дефектів і пошкоджень будівельних конструкцій як ключових індикаторів технічного стану каркасів. Систематизовано дефекти та пошкодження конструкцій як вихідну інформаційну основу для вибору КТР підсилення. Узагальнено класифікацію дефектів будівельних конструкцій за причинами виникнення, характером прояву та впливом на експлуатаційну придатність (рис. 7), а також систематизовано пошкодження за типами впливів (рис. 8). Встановлено, що важливим чинником формування вимог до підсилення є причина його ініціювання, яка охоплює технічні, функціональні, безпекові та інноваційні аспекти реконструкції. Виявлено причинно-наслідкові зв'язки між технічними помилками, дефектами, пошкодженнями та ризиками зниження ефективності підсилення:

$$U_i = f(F_{1,1}^M \dots F_{k,n}^M; F_{1,1}^F \dots F_{k,n}^F; F_{1,1}^B \dots F_{k,n}^B | D_i^R; D_i^K, D_i^C; P_i) \quad (3)$$

де U_i – типовий ризик/наслідок (наприклад, відшарування, корозія, втрата несучої здатності); $F_{k,n}^M$ – типові технічні помилки / фактори для металу; $F_{k,n}^F$ – типові технічні помилки / фактори для FRP; $F_{k,n}^B$ – типові технічні помилки / фактори для готових з'єднуючих виробів; D_i – функціональна група, пов'язана з причиною виникнення дефекту; D_i^K – категорія дефекту; D_i^C – характеристика дефекту; P_i – тип пошкодження.



Рис. 7. Загальна класифікація дефектів (Джерело: розроблено автором)



Рис. 8. Загальна класифікація пошкоджень за типами впливів (Джерело: розроблено автором)

Показано, що загальна ефективність підсилення є функцією сукупності ризиків та їх наслідків і описується залежністю, що дозволяє перейти до кількісного оцінювання якості підсилення конструкцій:

$$R = G(U_1, U_2, \dots, U_n) \quad (4)$$

де R – загальна ефективність, U_n – типовий ризик/наслідок.

У п'ятому розділі «Дослідження факторів, що впливають на формування КТС підвищення якості підсилення каркасних будівель» досліджено організаційно-технологічні, просторово-планувальні та виробничі фактори, які визначають формування КТС підсилення каркасних будівель в умовах реконструкції. Обґрунтовано необхідність розгляду процесів обстеження, проєктування, підготовки до виконання реконструкційних робіт та їх реалізацію як єдиної керованої системи. Для забезпечення формалізованого узгодження КТР, ОТР та причин ініціювання підсилення розроблено комплекс КРІСТ (рис. 9), який відображає структурно-функціональну взаємодію зазначених складових та дозволяє формувати допустимі комбінації КТР і ОТР у просторі рішень «багато-до-багатьох»:

$$CRIST = M_{KTI} \cap M_{OTj} \cap V_{jk}, \quad (5)$$

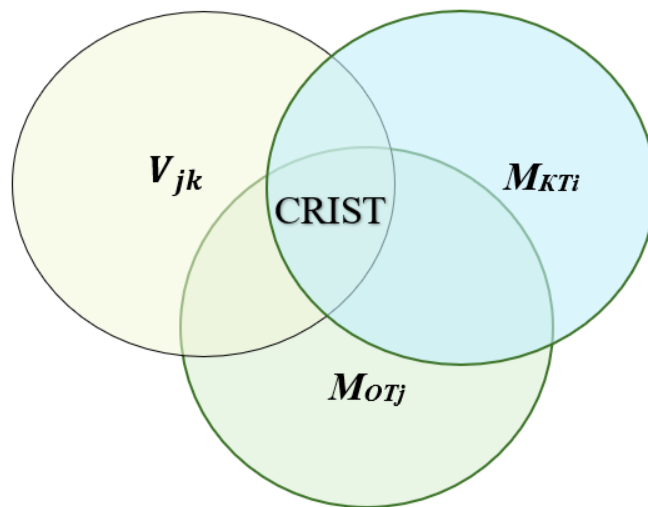


Рис. 9. Діаграма структурно-функціональної взаємодії моделей M_{KTI} , M_{OTj} та V_{jk} у складі комплексу КРІСТ (Джерело: розроблено автором)

Для ефективної організації процесів обстеження, проєктування та виконання робіт із підсилення сформовано 11 основних груп ОТР (рис. 10), які об'єднано у дві узагальнені категорії. Перша охоплює моделі, що безпосередньо забезпечують виконання робіт з підсилення, відновлення або заміни конструктивних елементів, друга спрямована на покращення техніко-економічних показників, управління якістю, ризиками та ресурсними потоками. Запропоновано застосовувати їх у вигляді комбінацій, що формуються залежно від технічного стану об'єкта, масштабу втручання, умов виконання робіт, ресурсних обмежень і рівня ризику. Сформовано середовище формування КТР, яке інтегрує просторово-планувальні характеристики зон підсилення, фактори

середовища, які задають умови та обмеження виконання робіт, та чинники, що відображають технологічні наслідки цих умов для процесу підсилення (рис. 11).



Рис. 10. Систематизація моделей ОТР при підсиленні каркасних конструкцій (Джерело: розроблено автором)

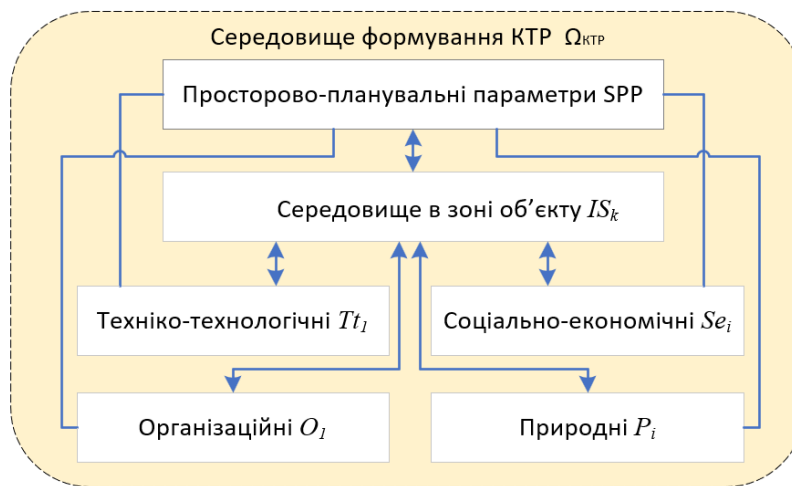


Рис.11. Середовище формування КТР та взаємодія його складових (Джерело: розроблено автором)

Показано, що в умовах реконструкції робоче місце є організаційно-технологічним елементом КТС, який пов'язує просторові характеристики зони підсилення, засоби доступу, рівень механізації та умови виконання технологічних операцій. Встановлено, що обмеженість фронту робіт, наявність обладнання, габарити проходів, висота будівлі та режим функціонування об'єкта безпосередньо впливають на трудомісткість і якість процесів підсилення. Сформовано систему основних відомих моделей КТР підсилення каркасних конструкцій (рис. 12), яка стала основою для подальшого вибору та оцінювання моделей підсилення у межах КТС.

Шостий розділ «Дослідження трудомісткості процесів підсилення конструкцій каркасних будівель» розроблено методичні засади формалізації процесів підсилення конструкцій каркасних будівель як єдиної ієрархічної технологічної системи. Технологічний процес підсилення розглянуто як багаторівневу структуру, що включає взаємопов'язані рівні від загального процесу реконструкції до елементарних дій виконавців і рухів механізованих засобів (рис. 13). Особливістю таких процесів є те, що різні конструктивні

елементи каркасу (колони, балки, ферми) можуть реалізовуватися однаковими КТР, а технологічні операції складаються з типових елементарних дій, які відрізняються лише послідовністю та умовами виконання. Це обґрунтовує необхідність їх уніфікації та формалізації. Для цього застосовано мікроелементний підхід, який передбачає декомпозицію операцій на елементарні дії (взяти, перемістити, встановити, зафіксувати, перевірити тощо). Процес підсилення представлено у вигляді ієрархії шести рівнів: загальний процес підсилення, групи процесів, окремі технологічні процеси, операції, блоки технологічних дій (W_1 – підготовчі роботи, W_2 – відновлення пошкоджених ділянок конструкцій, W_3 – виготовлення елементів, W_4 – монтаж та фіксація, W_5 – завершальні). Для кожного процесу задається технологічна схема організації і механізації, яка визначає модель транспортування, спосіб подачі, підйому та встановлення елементів в залежності від факторів середовища:

$$TRP_{p1} = f(e \in E, M_{KT_i} M_{OT_j}, O_i T_s, \Omega_{KTR}, M_M, a_{ik}, MountFix), \quad (6)$$

де $e \in E$ – атрибути елемента каркасу, M_{KT_i} – моделі КТР, M_{OT_j} – моделі ОТР; O_i – метод організації процесу, T_s – технологічна схема монтажу, Ω_{KTR} – середовище формування КТР, $M_M(e, P)$ – метод механізації елемента e , a_{ik} – елементарні дії, $MountFix$ – монтажна складова підсилювального елемента.

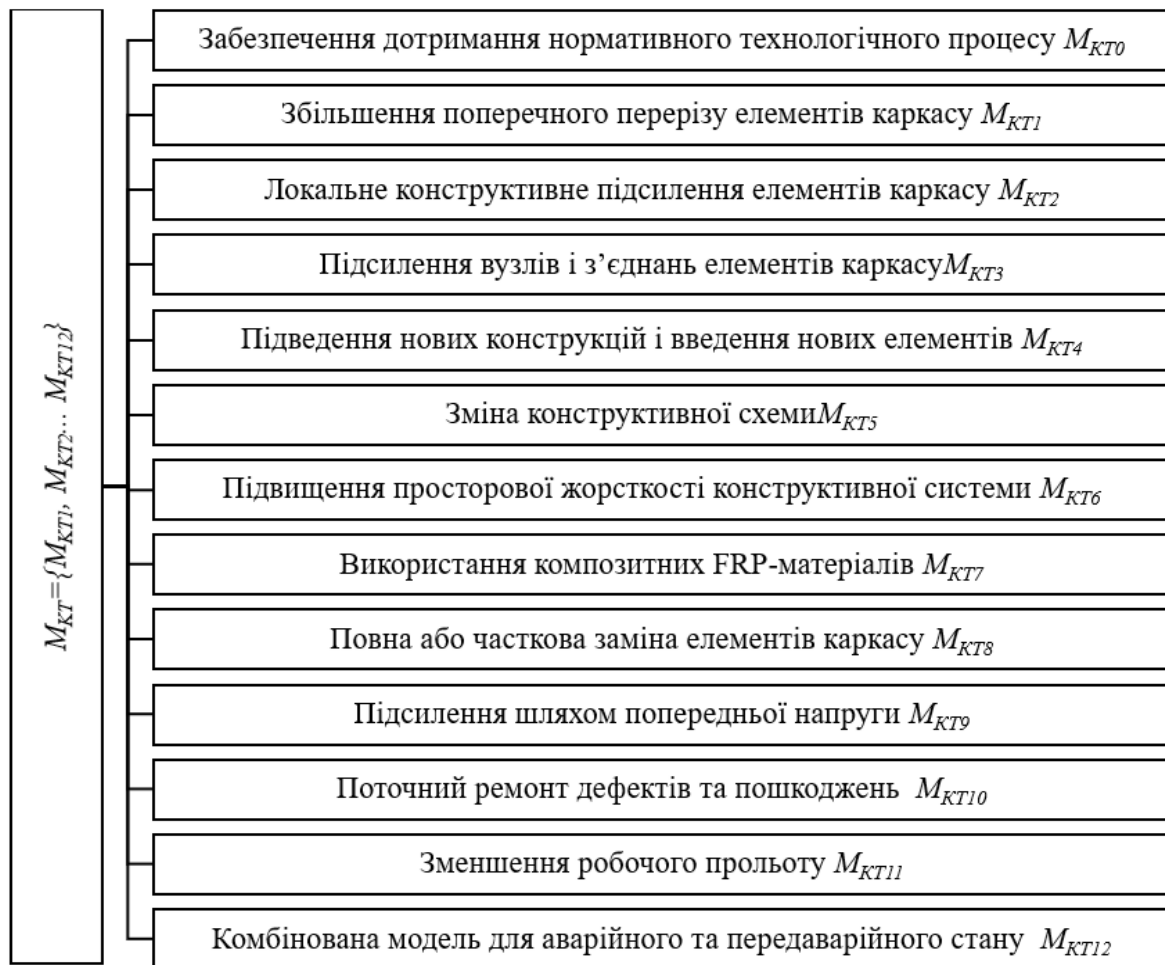


Рис. 12. Система основних моделей КТР при підсиленні каркасних конструкцій (Джерело: розроблено автором)

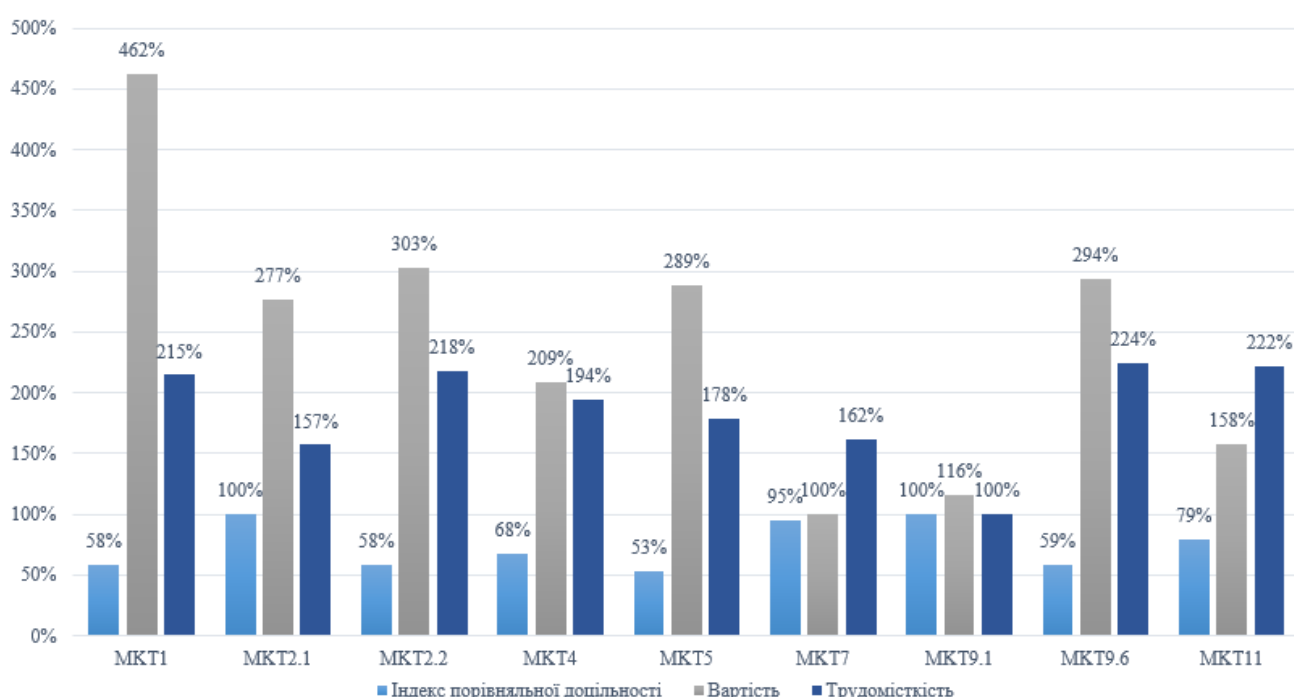


Рис. 13. Ієрархічна структура будівельного процесу реконструкції
(Джерело: розроблено автором)

Тривалість та організаційно-технологічні параметри процесів визначаються на основі мікроелементного моделювання технологічних операцій, формалізації технологічних переходів і встановлення логічних, ресурсних та часових взаємозв'язків між ними. Це дозволило сформувати матриці норм витрат праці та виконати комплексне дослідження трудомісткості й тривалості робіт з підсилення конструкцій каркасних будівель.

Експериментальною базою дослідження стали матеріали обстеження та проектування підсилення існуючих залізобетонних балок цеху заводу «Електросталь» у м. Курахове. Для дев'яти альтернативних моделей підсилення виконано декомпозицію технологічних процесів на окремі операції та дії, проведено хронометражні спостереження, оцінено рівень механізації, технологічні обмеження та організаційні умови виконання робіт. Встановлено, що підготовчі та відновлювальні роботи є інваріантними для всіх моделей, тоді як основні відмінності формуються на етапах виготовлення та монтажу елементів підсилення. Найбільшу частку трудомісткості становлять монтажні операції — 40–65 % загальних витрат часу, що визначає їх вирішальний вплив на ефективність процесу. На основі отриманих результатів виконано порівняльне оцінювання дев'яти моделей підсилення за критеріями трудомісткості, вартості, просторових вимог, ресурсу експлуатації після підсилення, рівня підвищення несучої здатності та сталості. Кожній моделі МКТ присвоюється ранг від 1 до 9 (1 — найкраще значення, 9 — найгірше), що дозволило сформувати інтегральну оцінку альтернатив. Для узагальнення результатів запропоновано індекс порівняльної доцільності, який використовується для ранжування моделей підсилення. Результати порівняння (рис. 14) показали, що найбільш ефективними є моделі МКТ2.1 та МКТ9.1, близький результат має МКТ7. Встановлено, що окремі моделі забезпечують значний приріст несучої здатності, проте їх застосування обмежується підвищеною трудомісткістю, вартістю або просторовими умовами виконання робіт. Це дозволило перейти від описового

аналізу до формалізованого вибору КТР за комплексом технічних, економічних та організаційних критеріїв. Показано, що підвищення ефективності організаційно-технологічного забезпечення реконструкції досягається шляхом інтеграції BIM-технологій, принципів ощадливого управління процесами та інтелектуалізованих і роботизованих систем. Їх поєднання формує єдиний цифрово-організаційний контур управління реконструкцією, який забезпечує зниження трудомісткості, скорочення тривалості робіт, підвищення якості виконання процесів і зменшення виробничих ризиків. Встановлено, що застосування роботизованих систем сприяє підвищенню безпеки виконання робіт, зростанню продуктивності, компенсації дефіциту кваліфікованих кадрів та інтеграції функцій контролю якості безпосередньо у виробничий процес. Запропонований підхід забезпечує можливість багатокритеріального вибору, алгоритмізації та подальшої цифрової оптимізації рішень.



МКТ1 (Збільшення перерізу елементів шляхом приварювання додаткових металевих елементів)

МКТ2.1 (Встановлення додаткових опорних елементів. Без обмеження корисного простору під конструкцією)

МКТ2.2 (Додавання проміжної опори для зміни конструктивної схеми. З частковим обмеженням корисного простору)

МКТ4 (Підведення нових конструкцій та введення додаткових елементів)

МКТ5 (Зміна конструктивної схеми конструкції, підведення розвантажувальних порталних рам)

МКТ7 (Використання композитних FRP-матеріалів для підсилення балки)

МКТ9.1 (Використання попередньо напружених тяжів для підсилення балки)

МКТ9.6 (Попереднє напруження конструкцій, попередній вигин)

МКТ11 (Зменшення робочого прольоту конструкції шляхом установаження розвантажувальних виносних опор)

Рис. 14. Порівняння моделей КТР підсилення будівельних конструкцій
(Джерело: розроблено автором)

У завершальному, сьомому розділі роботи «Конструктивно-технологічна система забезпечення якості підсилення каркасних будівель» розроблено наукову концепцію КТС, у межах якої процес підсилення розглядається як керована система з визначеними вхідними параметрами, обмеженнями,

моделями реалізації та цільовими результатами. Загальну структуру КТС, її складові та взаємозв'язки між критеріями якості наведено на рис. 15; алгоритмічну структуру формування та відбору КТР – на рис. 16; ієрархічну модель формування альтернативних КТР і ОТР рішень підсилення – на рис. 17.

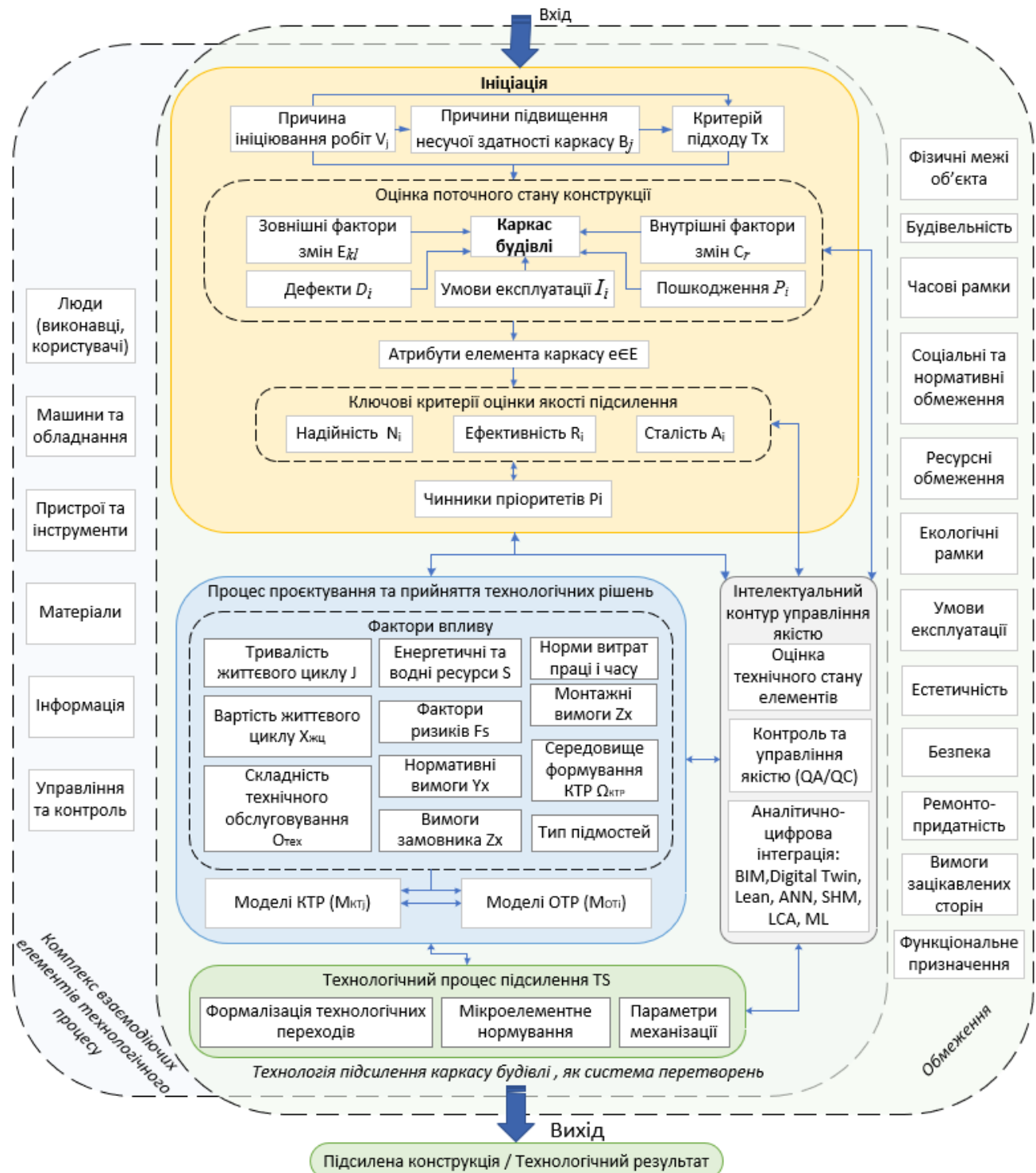


Рис.15. КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель (Джерело: розроблено автором)

Методологічно процес прийняття рішень у межах КТС реалізовано як трирівневу систему: на стратегічному рівні формується підхід до реконструкції

залежно від причин ініціювання робіт, на тактичному виконується багатокритеріальне оцінювання альтернатив, на операційному здійснюється вибір конкретних моделей КТР і ОТР. Це забезпечує узгодження пріоритетів реконструкції з ризиками, ресурсними обмеженнями та умовами виконання робіт. Для формалізації множини можливих рішень та подальшого багатокритеріального вибору раціонального рішення застосовано комплекс CRIST, що описується співвідношенням:

$$M_N = M_{KTi} \times M_{OTj} = \left(\bigcup_i M_{KTi} \cup \bigcup_{l < i} M_{KTil} \right) \times \left(\bigcup_j M_{OTj} \cup \bigcup_{m < j} M_{OTjm} \right) \quad (7)$$

де M_{KTi} – базові КТР; M_{KTil} – комбіновані КТР (всі унікальні парні комбінації без повторів); M_{OTj} – базові ОТР; M_{OTjm} – комбіновані ОТР.

Встановлено, що ефективність підсилення визначається не лише вибором КТР, а й якістю його реалізації. У зв'язку з цим розроблено алгоритм оптимізації процесів підсилення з інтеграцією BIM- та Lean-технологій, який передбачає аналіз технологічних карт і результатів їх моделювання в конкретних умовах реконструкції, виявлення втрат і ризиків, перевірку реалізованості прийнятих рішень в умовах конкретного об'єкта та подальше оцінювання показників якості (рис. 18). На цій основі сформовано комплекс заходів удосконалення ОТР, для кожної категорії втрат L_i визначено відповідні заходи P_i щодо їх усунення або мінімізації. Запропоновані заходи узгоджені із системою критеріїв якості та спрямовані на підвищення ефективності процесів підсилення (рис. 19).

Виконано апробацію на основі порівняльного аналізу чотирьох технологічних моделей реконструкції, які відрізняються рівнем організаційно-технологічної оптимізації, ступенем впровадження принципів ощадливої організації процесів, наявністю системи управління якістю та застосуванням FRP-матеріалів. Узагальнену порівняльну оцінку якості підсилення каркасних будівель виконано за авторською системою критеріїв N–R–A, що охоплює показники надійності, ефективності та сталості реконструкції. Встановлено, що поетапне нарощування організаційно-технологічної зрілості забезпечує послідовне зростання інтегральної якості моделі.

За результатами апробації встановлено, що застосування принципів ощадливого управління процесами дозволило скоротити тривалість циклу з 65,68 до 46,18 люд.-год, або на 29,7 % (рис. 20). Крім того, підвищено середню продуктивність з 7,53 до 10,72 кг/люд.-год, або на 42,3 % (табл. 1), що підтверджує зниження трудомісткості, скорочення втрат і підвищення керованості процесів реконструкції. Найвищу інтегральну оцінку отримала комплексна модель, що поєднує FRP-підсилення, Lean-організацію процесів та інтегрований контроль якості. Це підтвердило ефективність запропонованої КТС як інструменту формування, вибору та оцінювання рішень підсилення каркасних будівель. У результаті розроблена КТС створює методологічну основу для переходу від описового до формалізованого та алгоритмічного підходу в забезпеченні якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції.

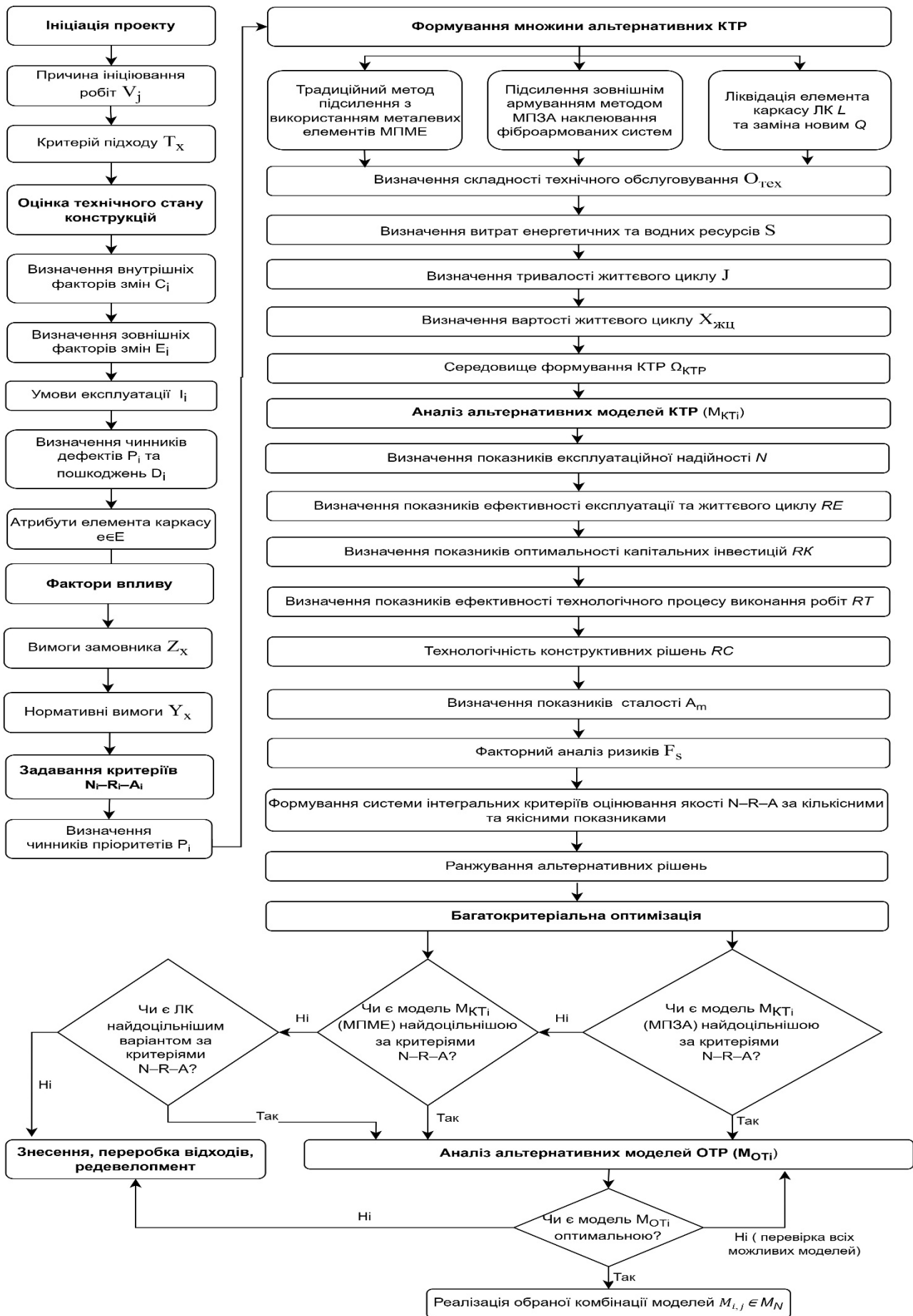


Рис. 16. Алгоритмічна структура формування й відбору КТР для підвищення якості підсилення каркасних будівель (Джерело: розроблено автором)

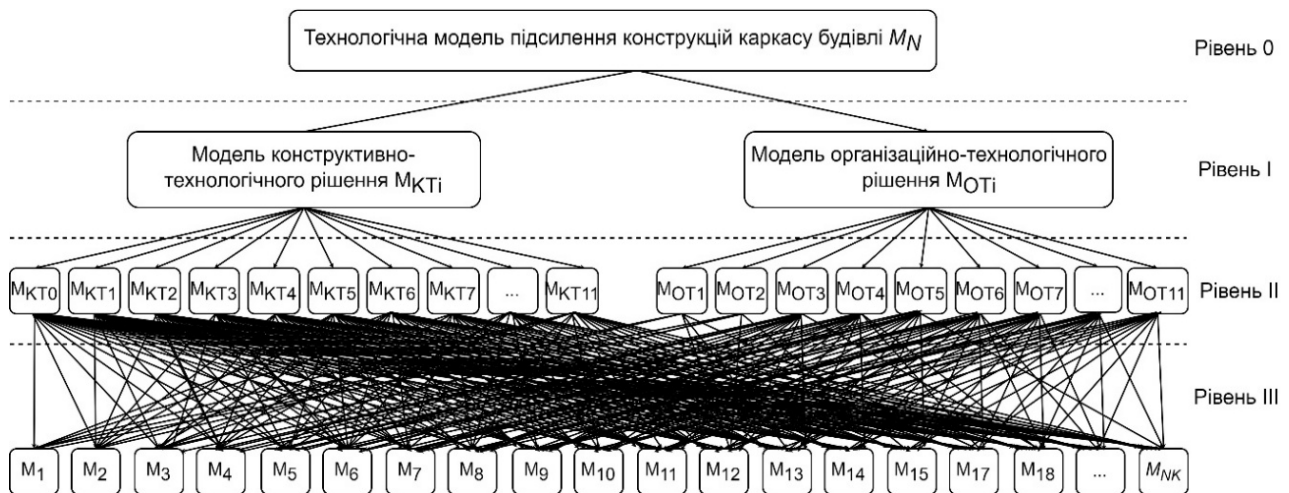


Рис. 17. Ієрархічна модель формування альтернативних КТР і ОТР підсилення
(Джерело: розроблено автором)

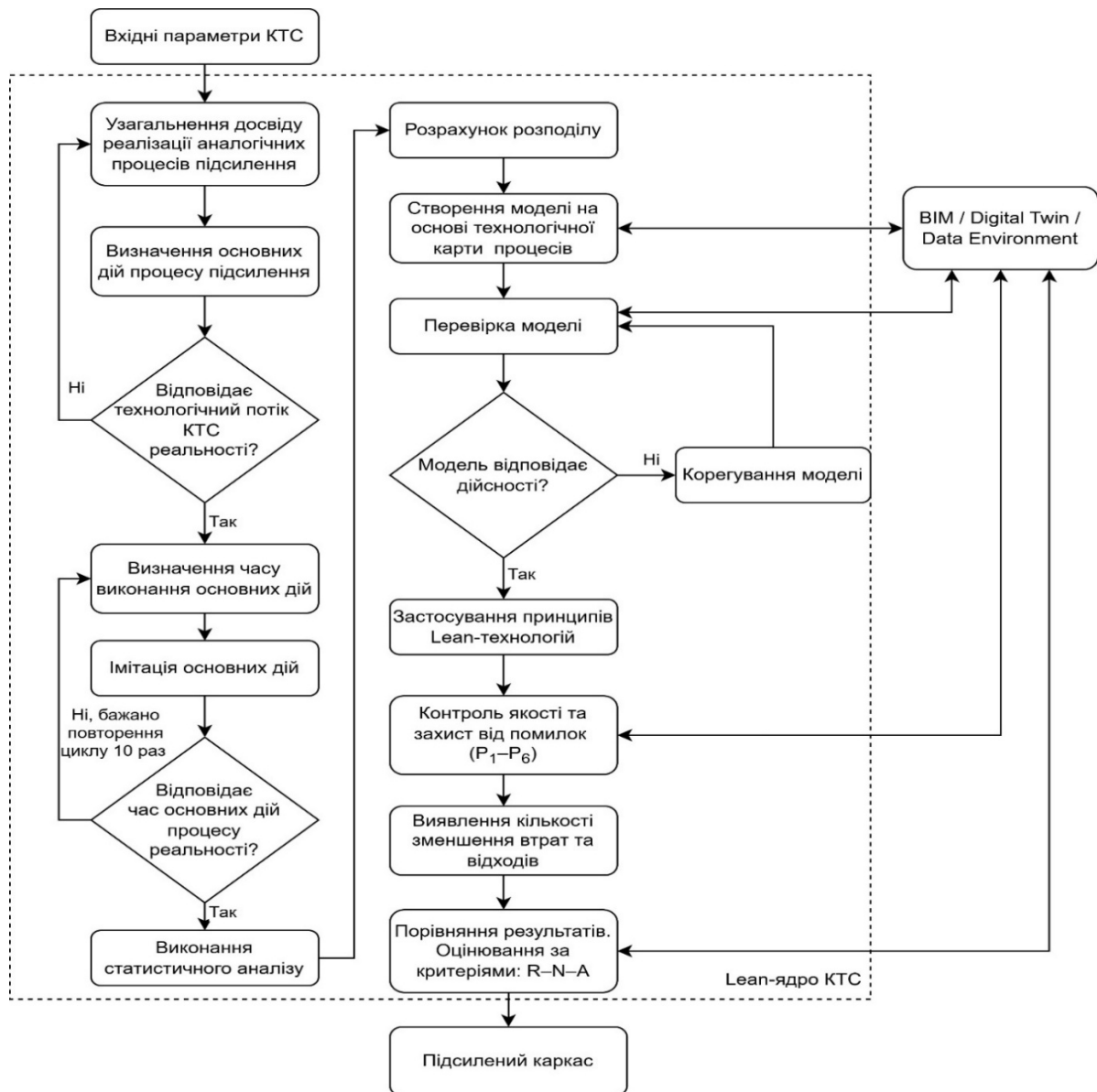


Рис. 18. Алгоритм функціонування КТС підсилення каркасних будівель із застосуванням BIM та Lean-технологій (Джерело: розроблено автором)

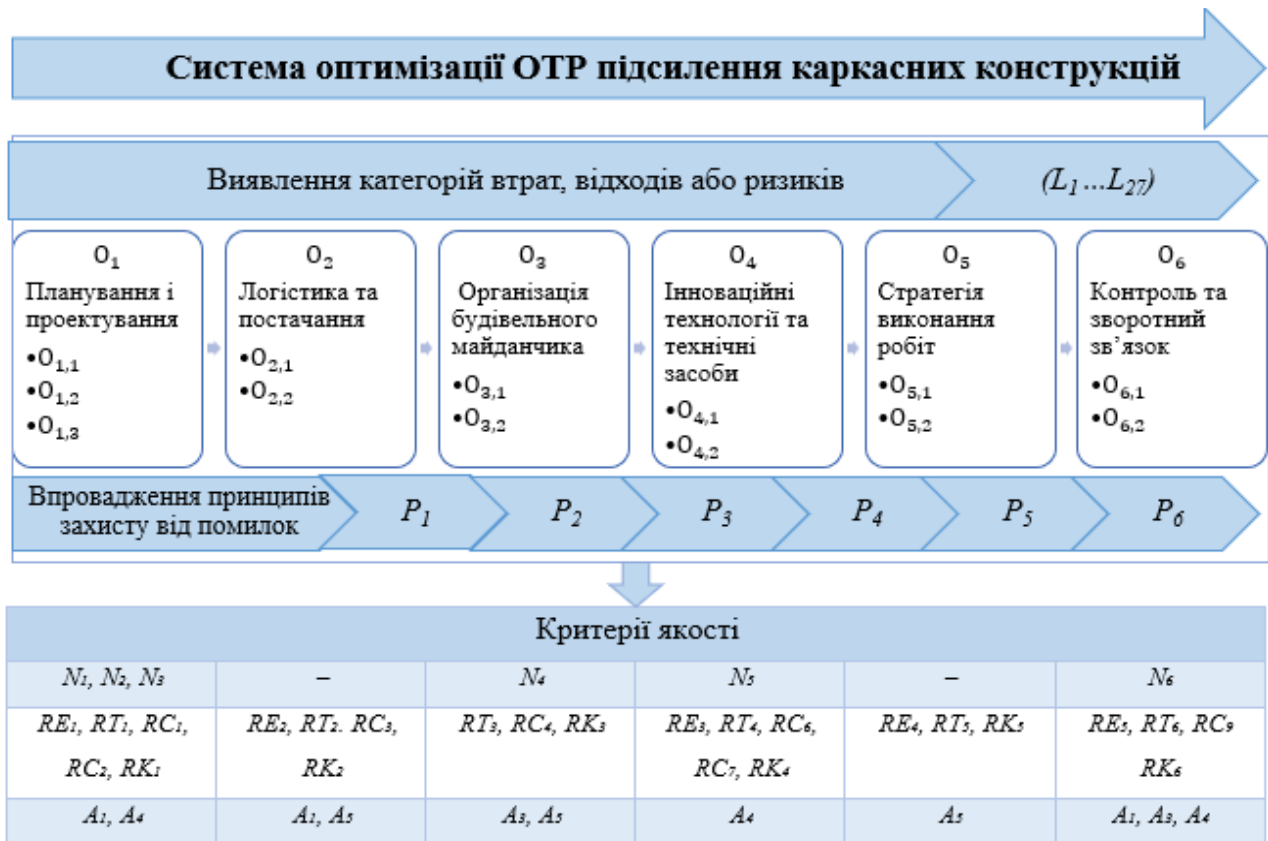


Рис. 19. Операційна система оптимізації підсилення конструкцій у відповідності до критеріїв якості (Джерело: розроблено автором)

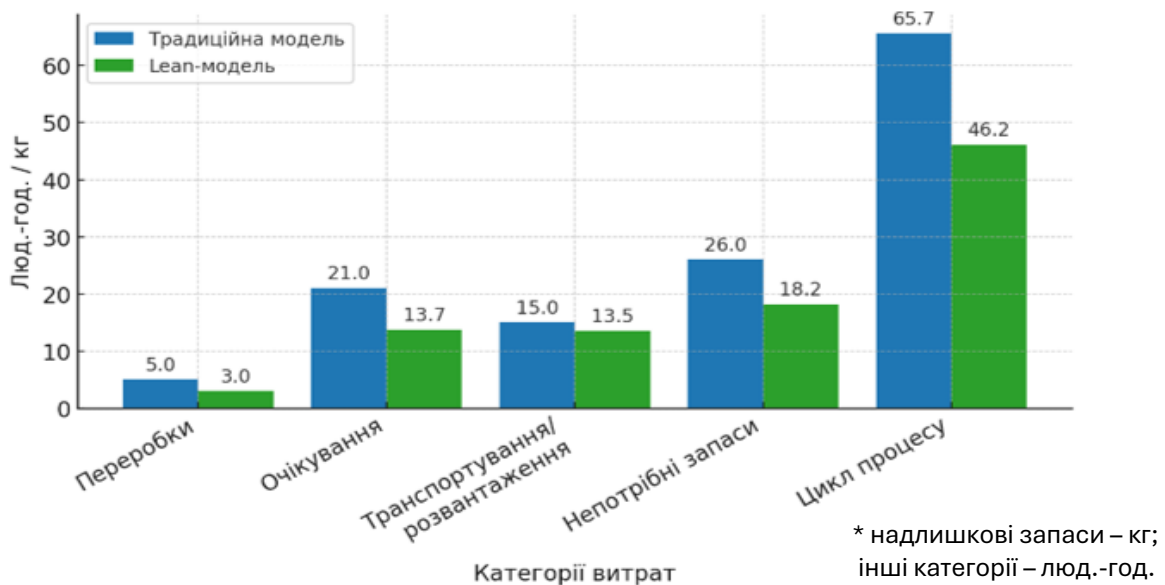


Рис. 20. Порівняння середніх тродовитрат в традиційній M_1 та у Lean-моделі M_3 (Джерело: розроблено автором)

ВИСНОВКИ

Дисертацію присвячено вирішенню складної наукоємної проблеми щодо формування КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель, у якій процес підсилення інтерпретується як керована система перетворень із визначеними вхідними параметрами, обмеженнями та цільовими результатами,

а вибір КТР здійснюється за кількісними та якісними критеріями ефективності R_i , експлуатаційної надійності N_i та сталості A_i . Це значно підвищило рівень обґрунтованості вибору КТР та дозволило інтегрувати технічні, організаційні, економічні й екологічні чинники у процес прийняття рішень при підсиленні каркасних конструкцій.

Таблиця 1

Результати багатокритеріального оцінювання моделей підсилення

Група критеріїв	Код критерію	Характеристика критерію	Модель 1 Традиційна	Модель 2 Lean	Модель 3 Lean + якість	Модель 4 FRP + Lean + якість
Надійність N_i	N_3	Організація контролю якості робіт	Реактивний, після виконання операцій	Частковий, орієнтований на усунення втрат	Самоконтроль у процесі	Самоконтроль + скорочення критичних операцій
	N_7	Дотримання правильності монтажу	Значною мірою залежить від кваліфікації	Покращене за рахунок стандартизації та уніфікації	Стабільно високе	Високе, знижений вплив людського фактора
	N_{11}	Стійкість до зовнішніх впливів	Обмежена	Аналогічна базовій	Аналогічна базовій	Підвищена (корозійна стійкість FRP)
	N_{13}	Ймовірність відмов конструкцій	Мінімальна	Знижена	Мінімальна	Низька
	$\sum N_i$	Інтегральний рівень надійності	Середній	Середній	Високий	Високий
Ефективність R_i	RT_3	Рівень впровадження Lean-принципів	Відсутній	Частковий	Розширений	Комплексний
	RT_{21}	Частота ризикових подій	Висока	Середня	Мінімальна	Низька
	RK_2	Трудомісткість процесу, люд.-год	65,68	45,17	46,18	34,42
	RC_4	Продуктивність, кг/люд.-год	7,53	9,7	10,72	12,8
	$\sum R_i$	Інтегральний рівень ефективності	Середній	Середній	Високий	Дуже високий
Сталість A_i	A_3	Тривалість реконструкції	Найбільша	Скорочена	Скорочена, стабільна	Мінімальна
	A_2	Оптимізація матеріальних втрат	Відсутня	Часткова	Системна	Системна + зменшення маси
	A_4	Конструктивно-технологічна сталість	Обмежена	Помірна	Висока	Максимальна
	$\sum A_i$	Інтегральний рівень сталості	Низький	Середній	Високий	Дуже високий
Інтегральна оцінка	Q_M	Загальна якість моделі	Базова / Середня	Підвищена	Висока	Дуже висока
Ранг	—	Пріоритетність альтернативи	IV	III	II	I

Значення результатів роботи для науки полягає у тому, що створено спеціалізовану наукоємну КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель, яка формалізує процес вибору КТР з урахуванням критеріїв ефективності, надійності та сталості, а також взаємозв'язків між технічним

станом конструкцій, організаційно-технологічними параметрами виконання робіт і експлуатаційними вимогами.

Значення результатів роботи для практики полягає у тому, що розроблена система дозволяє підвищити ефективність реконструкції каркасних будівель, оптимізувати вибір технологій підсилення, зменшити трудомісткість і витрати ресурсів, а також забезпечити більш високий рівень надійності та довговічності підсилених конструкцій. Запропонований науково-прикладний інструментарій дав змогу інтегрувати результати обстеження конструкцій, оцінку технічного стану, вибір КТР та організацію виконання робіт у єдину систему підтримки прийняття рішень, орієнтовану на забезпечення якості підсилення каркасних будівель протягом усього життєвого циклу об'єкта.

На підставі одержаних результатів дослідження сформульовано такі висновки:

1. Встановлено, що продовження життєвого циклу каркасних будівель шляхом реконструкції є об'єктивною необхідністю, зумовленою фізичним і моральним зносом, зростанням експлуатаційних навантажень, змінами нормативної бази, кліматичними впливами та наслідками бойових дій. Обґрунтовано, що забезпечення безпечної та ефективної експлуатації потребує переходу від локального вибору окремих технічних рішень до системного управління якістю підсилення на рівні всього каркасу будівлі. Уточнено систему показників якості для процесів і продуктів підсилення, у якій визначальними є технологічність, надійність, економічність, екологічність, безпека, довговічність та організація робочого простору, а також виявлено недостатню формалізацію процедур оцінки ризиків, оптимізації витрат і вибору рішень у чинній практиці реконструкції.

2. Розроблено методологію забезпечення якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції, яка базується на системному, життєво-цикловому та багатокритеріальному підходах. Визначено наукове трактування якості підсилення як інтегральної характеристики КТР, що поєднує конструктивні, технологічні та експлуатаційні аспекти протягом життєвого циклу об'єкта. Запропоновано систему критеріїв і ключових показників ефективності, яка охоплює надійність, ефективність і сталість, та сформовано поетапну структуру методики дослідження з використанням аналізу ризиків, цифрових інструментів BIM/LCA та принципів ощадливого управління процесами.

3. Досліджено комплекс методів обстеження технічного стану елементів каркасу будівлі та систематизовано методи інструментального контролю за функціональними ознаками, досліджуваними параметрами, способами випробувань і застосовуваним обладнанням. Розроблено багатофакторну систему нормування витрат праці й часу на процеси підсилення, у якій чинники впливу структуровано за п'ятьма групами та враховано техніко-технологічні, організаційні, ергономічні та зовнішні фактори. Розвинуто методику цілочислового мікроелементного нормування процесів підсилення з введенням інтегрального коригувального коефіцієнта та узагальненої функції норми часу,

що забезпечує формування гнучких нормативів, адаптованих до реальних умов реконструкції каркасних будівель.

4. Встановлено, що дефекти й пошкодження елементів каркасних будівель формуються під впливом сукупності проєктних, технологічних, монтажних та експлуатаційних чинників і є індикаторами системних недоліків на різних етапах життєвого циклу об'єкта. Систематизовано дефекти бетонних, залізобетонних і металевих конструкцій, а також запропоновано їх класифікацію за причинами виникнення, характером прояву та ступенем впливу на безпеку й працездатність. Розроблено функціонально-структурний підхід до опису дефектів, пошкоджень і типових ризиків недосконалого застосування матеріалів та виробів для підсилення, що створило методичну основу для формалізації факторів, які визначають якість підсилення та вибір відповідних КТР.

5. Виявлено і систематизовано фактори, що впливають на формування КТС підвищення якості підсилення каркасних будівель, зокрема просторово-планувальні параметри, параметри робочих місць виконавців, умови виробничого середовища, технічний стан елементів каркасу, а також конструктивні, організаційні, часові та ресурсні обмеження. Розроблено формалізовані моделі просторово-планувальних параметрів і параметрів робочих місць, які доводять їх визначальний вплив на трудомісткість, тривалість і якість процесів підсилення. Запроваджено систему базових моделей КТР та варіантів ОТР, що вперше структуровані з позицій організаційно-технологічної реалізації в умовах реконструкції та слугують вхідною основою для подальшого синтезу КТС.

6. Розроблено науково обґрунтовану модель нормування та моделювання технологічних схем організації й механізації процесів монтажу елементів підсилення каркасів на основі мікроелементного підходу та ієрархічної декомпозиції будівельного процесу. Встановлено, що процеси монтажу елементів підсилення є стохастичними багатофакторними системами з високою варіативністю послідовностей дій, а їх оптимізація досягається за рахунок формалізації технологічних переходів і суміщення сумісних операцій. Вперше обґрунтовано, що застосування формалізованих мережевих моделей і мікроелементного нормування забезпечує скорочення трудомісткості до 20% без погіршення якості та безпеки робіт, створюючи основу для автоматизованого формування технологічних схем і прогнозування тривалості процесів.

7. Вперше сформовано репрезентативну емпіричну базу трудових витрат, тривалості та собівартості процесів підсилення каркасних конструкцій на основі натурних хронометражних спостережень, дискретного нормування та порівняльного аналізу альтернативних моделей M_{KT} . Розроблено методику порівняльного оцінювання собівартості і багатокритеріального ранжування моделей за сукупністю показників трудомісткості, вартості, просторових обмежень, надійності, несучої здатності та сталості. Запроваджено індекс порівняльної доцільності як формалізовану міру позиції моделі у ранговому ряді, що дозволяє здійснювати обґрунтований вибір КТР відповідно до пріоритетів конкретного інвестиційно-будівельного проєкту реконструкції.

8. Обґрунтовано та запроваджено формалізований механізм узгодження моделей $M_{KT}-M_{OT}$ з інтеграцією факторів ініціювання підсилення у просторі рішень «багато-до-багатьох» на основі логічної матриці відношень і запропонованого комплексу CRIST, що забезпечує перехід від описового вибору рішень до алгоритмізованого попереднього відбору допустимих комбінацій.

9. Вперше сформульовано наукову концепцію КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель, у межах якої процес підсилення розглядається як керована багатокритеріальна система з BIM-орієнтованою інформаційно-аналітичною підсистемою як цифровим ядром та інтегрованим інтелектуальним контуром управління якістю і стратегічного прийняття рішень. У межах цієї концепції розроблено модифіковану КТС із Lean-ядром та алгоритмами цифровізації, а також обґрунтовано застосування логічної матриці відношень і комплексу CRIST, а також сучасних цифрових технологій управління життєвим циклом будівель та інтелектуально-аналітичних методів підтримки прийняття рішень для формалізованого узгодження $M_{KT_i}-M_{OT_i}$ і підтримки прийняття рішень за критеріями ефективності R_i , надійності N_i та сталості A_i .

10. Апробовано запропоновану систему підвищення якості підсилення каркасних будівель шляхом порівняльного аналізу чотирьох технологічних моделей, які поєднують традиційні рішення, Lean-підхід, вбудований контроль якості та FRP-підсилення. Встановлено, що поетапне нарощування організаційно-технологічної зрілості забезпечує стійке зростання інтегральної якості КТР за системою критеріїв N–R–A, а комплексна модель FRP + Lean + якість є найбільш результативною. Порівняно з традиційною моделлю трудомісткість виконання робіт зменшилась на 47,6 %, а продуктивність зросла майже на 70 %. Обґрунтовано кількісний ефект Lean-оптимізації: скорочення трудомісткості циклу з 65,68 до 46,18 люд.-год, зменшення очікування ресурсів на 34,8 %, переробок на 40 %, надлишкових запасів приблизно на 30 % та зростання продуктивності до 12,8 кг/люд.-год у найефективнішій моделі. Розроблено узагальнені методичні рекомендації щодо практичного застосування КТС як керованого багатокритеріального процесу узгодження КТР і МОТ, що забезпечує алгоритмізований вибір, адаптацію рішень до змін умов реконструкції та підвищення прогнозованості якості кінцевого результату.

11. Результати досліджень апробовано при реконструкції цивільних і промислових каркасних будівель, де підтверджено можливість використання розробленої КТС, нормативно-методичного та алгоритмічного інструментарію для обґрунтованого вибору технологій підсилення, скорочення витрат праці й ресурсів, зменшення ризиків реконструкції, підвищення експлуатаційної надійності, довговічності та сталості будівельних об'єктів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в міжнародних виданнях та ті, які рецензуються в SCOPUS та Web of Science Core Collection

1. Rudnieva I. A conceptual model for quality assessment of frame strengthening during building reconstruction. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2026,

Issue 116, pp. 425-432. Kyiv: KNUBA. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2026.116.425-432> (Web of Science). Особистий внесок: розроблення концептуальної моделі оцінювання якості підсилення каркасних будівель, формалізація критеріїв для їх інтеграції у систему підтримки прийняття рішень.

2. Tonkacheiev H., Rashkivskyi V., Rudnieva I., Dubovyk I. Investigation of labour intensity and duration of the assembly processes of structural covering blocks. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2023, Issue 110, pp. 393–403. Kyiv: KNUBA. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.393-403> (Web of Science). Особистий внесок: аналіз і систематизація показників трудомісткості та тривалості монтажних процесів, узагальнення результатів дослідження.

3. Tonkacheiev H., Rudnieva I., Tonkacheiev V., Priadko I. Features of standard time formation to implement construction processes: a case study. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2022, Issue 109, pp. 141–151. Kyiv: KNUBA. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.109.141-151> (Web of Science). Особистий внесок: розроблення методичних підходів до мікроелементного нормування часу будівельних процесів, формалізація їх структури, узагальнення результатів.

4. Tonkacheiev H.M., Molodid O.S., Galinskyi O.M., Plokhuta R.O., Rudnieva I.M., Priadko I.M. The technology of crack repair by polymer composition. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2022, Issue 108, pp. 203–216. Kyiv: KNUBA. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.203-216> (Web of Science). Особистий внесок: аналіз технологічних рішень ремонту тріщин та узагальнення результатів досліджень.

5. Rudnieva I. Comparative analysis of strengthening of building structures (masonry, metal structures, reinforced concrete) using FRP-materials and traditional methods during reconstruction. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2020, Issue 105, pp. 267–291. Kyiv: KNUBA. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.267-291> (Web of Science). Особистий внесок: порівняльний аналіз традиційних та альтернативних методів підсилення конструкцій, проведення розрахункових досліджень, оцінювання та обґрунтування ефективності методів.

6. Rudnieva I., Priadko I., Tonkacheiev H., Priadko N. Investigation of the effectiveness of strengthening with FRP applied in metal elements of suspension roof: an analytical approach. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2021, Issue 107, pp. 170–183. Kyiv: KNUBA. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.170-183> (Web of Science). Особистий внесок: розроблення та чисельне моделювання розрахункових моделей, аналітичне дослідження ефективності підсилення металевих елементів із застосуванням FRP-систем, оцінювання їх впливу на показники надійності та узагальнення результатів.

7. Priadko I.N., Rudnieva I.N., Ribakov Y., Bartolo H. A new approach to the design of suspension roof systems. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2020, Issue 104, pp. 191–220. Kyiv: KNUBA. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.104.191-220> (Web of Science). Особистий внесок: розроблення алгоритму оцінювання надійності висячих покриттів, формалізація підходів до визначення геометричних параметрів конструкцій та участь у створенні

методики розрахунково-аналітичного оцінювання напружено-деформованого стану і показників надійності складних просторових систем.

Статті у вітчизняних фахових виданнях (всі видання індексуються в міжнародних базах даних)

8. Rudnieva I.M. Analysis of Improper Use of Materials and Strengthening Systems in Structural Rehabilitation. *Building Structures. Theory and Practice*, 2026, № 18, pp. 64-77. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.18.2026.64-77>. Особистий внесок: систематизація факторів недосконалого застосування матеріалів і систем підсилення, їх формалізація як окремої групи впливу на якість підсилення, розроблення моделі ризиків.

9. Молодід О.С., Руднева І.М., Богдан С.М. Експериментальне дослідження підсилення металевих конструкцій зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних композитних вуглецевих матеріалів (FRP). *Дороги і мости*, 2021, вип. 24, с. 84–96. Київ: ДП «ДерждорНДІ». <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.084>. Особистий внесок: участь в експериментальних дослідженнях підсилення, аналіз результатів та кількісне оцінювання ефективності за деформативністю і несучою здатністю конструкцій.

10. Руднева І.М. Механізми впровадження Lean-технологій, як інноваційного підходу при моделюванні структури визначення норми часу на виконання будівельних процесів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 2021, № 47, с. 26–36. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47\(1\).26-36](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(1).26-36). Особистий внесок: розроблення методичних підходів до впровадження Lean-технологій у нормування часу будівельних процесів, спрямованих на підвищення продуктивності.

11. Руднева І. Технологічні особливості підсилення металевих конструкцій методом наклеювання високоміцних фіброармованих систем при реконструкції. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 2021, № 8, pp. 32–43. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.32-43>. Особистий внесок: аналіз технологічних особливостей підсилення металевих конструкцій композитними матеріалами та обґрунтування рекомендацій щодо їх ефективного і надійного застосування.

12. Тонкачєєв Г.М., Руднева І.М. Дослідження критеріїв підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2021. № 47. С. 52–63. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47\(1\).52-63](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(1).52-63). Особистий внесок: формування критеріїв оцінювання експлуатаційної надійності каркасів будівель з урахуванням життєвого циклу та умов реконструкції.

13. Тонкачєєв Г.М., Руднева І.М. Особливості впливу факторів типу робочих місць на вибір підмостей для здійснення процесів підсилення будівельних конструкцій при реконструкції. *Містобудування та територіальне планування*, 2021, № 78, с. 493–507. Київ: КНУБА. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.78.493-507>. Особистий внесок:

систематизація факторів робочих місць та формалізація їх впливу на вибір підмостей і формування ОТР при підсиленні конструкцій.

14. Тонкачєєв Г.М., Руднєва І.М. Дослідження факторів, що впливають на вибір підмостей для здійснення процесів підсилення будівельних конструкцій при реконструкції. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 2021, № 48, с. 3–12. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.48\(1\).3-12](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.48(1).3-12). Особистий внесок: дослідження та систематизація факторів, що впливають на вибір підмостей, і обґрунтування їх урахування при формуванні ОТР підсилення.

15. Руднєва І.М., Глонь І.В., Грабовська Т.О., Пузіна К.І. Збереження архітектурної спадщини України шляхом реконструкції історичних будівель, як чинник розвитку ідентичності нації. *Містобудування та територіальне планування*, 2021, № 77, с. 398-409. Київ: КНУБА. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.77.56-64>. Особистий внесок: обґрунтування ролі збереження архітектурної спадщини та її впливу на формування ефективних підходів до відновлення будівель.

16. Руднєва І.М., Прядко Ю.М., Прядко М.В., Тонкачєєв Г.М. Особливості та перспективи використання технологій підсилення будівельних конструкцій композиційними матеріалами при реконструкції споруд. *Building Structures. Theory and Practice*, 2020, No. 7, pp. 12–22. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.12-22>. Особистий внесок: узагальнення та аналіз методів підсилення будівельних конструкцій фіброармованими системами, оцінювання їх ефективності та обґрунтування перспектив застосування при реконструкції.

17. Руднева И.Н., Прядко Ю.Н. Сравнительный анализ Еврокодов и национальных стандартов Украины, в том числе частных коэффициентов надежности и учета фактора времени, при проектировании конструкций. *Промислове будівництво та інженерні споруди*, 2020, № 1, с. 39–45. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pbis_2020_1_10. Особистий внесок: порівняльний аналіз положень Єврокодів і ДБН щодо коефіцієнтів надійності та врахування фактора часу, з обґрунтуванням їх впливу на проектування конструкцій.

18. Руднєва І., Прядко Ю., Прядко М. Аналіз причин обвалення покрівель виробничих будівель *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 2020, № 6, pp. 85–93. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.85-93>. Особистий внесок: аналіз причин обвалення покрівель виробничих будівель та обґрунтування факторів, що впливають на їх надійність при реконструкції.

19. Руднєва І.М. Управління інвестиційними ризиками та енергоефективність, з урахуванням капітальних і операційних витрат, в промисловому девелопменті *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 2020, № 46, с. 56–64. <https://doi.org/10.32347/2707-501x.2020.46.56-64>. Особистий внесок: розроблення підходів до управління інвестиційними ризиками з урахуванням життєвого циклу об'єкта, обґрунтування впливу капітальних і експлуатаційних витрат на ефективність проєктних рішень.

20. Прядко Н., Шамрина Г., Прядко Ю., Руднева И. Усиление конструкций фундаментов жилого дома. *Проблеми розвитку міського середовища*, 2014, вип. 12, с. 14–22. Особистий внесок: участь в обстеженні технічного стану конструкцій, аналіз дефектів і пошкоджень фундаментів та обґрунтування рішень їх підсилення.

21. Прядко Н., Прядко Ю., Руднева И. Рациональный угол наклона мансардного окна при реконструкции жилых домов. *Проблеми розвитку міського середовища*, 2014, вип. 12, с. 39–45. Особистий внесок: аналіз конструктивних параметрів мансардних вікон та обґрунтування їх впливу на ефективність рішень при реконструкції будівель.

22. Руднева І.М. Методика расчета и проектирования большепролетной висячей оболочки, учитывающая эксплуатационную надежность ограждающих конструкций, выполненных из углепластиков. *Металлические конструкции*, 2006, т. 9, № 1, с. 5–17. Особистий внесок: розроблення методики розрахунку великопрольотних висячих оболонок з урахуванням експлуатаційної надійності огорожувальних конструкцій та аналіз впливу деформацій на їх надійність.

23. Прядко М.В., Прядко И.Н. (Руднева). Опыт реконструкции крупнопанельного жилого дома в г. Макеевке. *Вісник ДонДАБА*, 2001, № 3(28), с. 21–22. Особистий внесок: обстеження та оцінка технічного стану конструкцій, аналіз дефектів і обґрунтування рішень з підсилення під час реконструкції.

24. Прядко М.В., Коровіна А.А., Прядко И.Н. (Руднева). О результатах обследования конструкций жилого дома в г. Макеевке. *Вісник ДонДАБА*, 2001, № 3(28), с. 34. Особистий внесок: аналіз результатів обстеження та оцінка технічного стану конструкцій будівлі.

Матеріали конференцій, де здійснено апробацію роботи

25. Rudnieva I. A multicriteria framework for quality assessment of strengthening systems in structural rehabilitation. *Шістнадцята міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2026»*, Чернігів, 2026, с.194-195. Особистий внесок: розроблення багатокритеріальної системи оцінювання якості підсилення будівельних конструкцій, формалізація критеріїв оцінки та обґрунтування їх впливу на надійність, сталість і ефективність рішень під час реконструкції.

26. Rudnieva I. Quality assurance of sustainable reconstruction: focusing on renovation of buildings in Ukraine from a Circular Economy and climate perspective. *International scientific and technical forum “Architecture, Construction, Design: Technology, Energy, Management – 2024”*, 2024, pp. 102–103. Особистий внесок: формування підходів до забезпечення якості реконструкції з урахуванням принципів Circular Economy, обґрунтування їх впливу на ресурсну ефективність, енергоефективність і зниження викидів.

27. Руднева І.М. Синергія BIM та LEAN-технологій як інструментів технологічного забезпечення ошадливої реконструкції. *Міжнародний науково-технічний форум “Архітектура та Будівництво: нові тенденції і технології. Теорія та практика”*, 17–18 листопада 2022 р., с. 120–121. Особистий внесок:

обґрунтування ефективності інтеграції BIM та Lean-технологій у процесах реконструкції.

28. Руднєва І.М. Основи впровадження Lean-технологій як інноваційного підходу при проектуванні, будівництві та реконструкції будівель і споруд. *I Міжнародна науково-практична онлайн-конференція «Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України»*, 15 березня 2021 р., с. 675–677. Особистий внесок: розробка підходів до впровадження Lean-технологій у будівництві та реконструкції, обґрунтування їх впливу на ефективність організаційно-технологічних процесів і зниження втрат.

29. Руднєва І.М. Дослідження ефективності підсилення висячих металевих конструкцій наскрізного перерізу зовнішнім армуванням методом наклеювання фіброармованих систем. *III Науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції»*, Київ, КНУБА, 22–23 квітня 2021 р., с. 35–36. Особистий внесок: аналітичне дослідження ефективності та надійності підсилення висячих металевих конструкцій FRP-системами та оцінювання його впливу на несучу здатність.

30. Руднєва І.М. Застосування лазерного сканування для моніторингу стану будівель та споруд при реконструкції. *VII International scientific and practical conference “Transfer of Innovative Technologies”*, Kyiv–Dortmund–Nur-Sultan–Jiangsu, 19–20 May 2021, pp. 19–22. Особистий внесок: дослідження застосування лазерного сканування для моніторингу технічного стану конструкцій та обґрунтування його інтеграції в BIM-середовище реконструкції.

31. Руднєва І.М. Підсилення металевих конструкцій зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних фіброармованих систем: аналітичний підхід. *VII International scientific and practical conference “Transfer of Innovative Technologies”*, Kyiv–Dortmund–Nur-Sultan–Jiangsu, 19–20 May 2021, pp. 5–7. Особистий внесок: дослідження ефективності технології підсилення конструкцій FRP-системами та оцінювання впливу підсилення на їх надійність.

32. Руднєва І.М. Дослідження підсилення металевих конструкцій зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних фіброармованих систем. *IV міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні»*, Харків, 20–21 травня 2021 р., с. 291–293. Особистий внесок: дослідження ефективності технологій підсилення металевих конструкцій FRP-системами.

33. Руднєва І.М. Досвід Італії в збереженні архітектурної, культурної та екологічної спадщини як факторів, що впливають на рівень економіки держави. *Conference “EU Principled Pragmatism – Consequences for the Eastern and South-Eastern Europe: political, economic, legal and communication aspects”*, 21–22 May 2021, Kyiv, pp. 60–62. Особистий внесок: аналіз міжнародного досвіду збереження спадщини та його впливу на ефективність підходів до реконструкції.

34. Молодід О.С., Руднєва І.М., Мусіяка І.В., Богдан С.М. Експериментальне дослідження підсилення металевих конструкцій зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних композитних матеріалів (FRP). *I Міжнародна науково-практична конференція ім. П.М. Коваля «Актуальні*

питання мостового господарства та шляхи його покращення», Запоріжжя, 15–17.09.2021 р., с. 85–88. Особистий внесок: аналіз результатів та кількісне оцінювання ефективності за деформативністю і несучою здатністю конструкцій.

35. Руднева І.М. BIM як основний інструмент впровадження Lean-технологій під час будівництва або реконструкції. *Міжнародний науково-технічний форум “Архітектура та Будівництво: нові тенденції і технології. Теорія та практика”*, 26 жовтня 2021 р., с. 315–316. Особистий внесок: обґрунтування застосування BIM як ключового інструменту впровадження Lean-підходів та підвищення ефективності технологічних процесів у реконструкції.

36. Rudnieva I. Technology of building structures strengthening by composite materials during the reconstruction. *International Scientific-Practical Conference of Young Scientists “Build-Master-Class-2020”*, Kyiv, November 2020, pp. 134–135. Особистий внесок: дослідження традиційних і FRP-технологій підсилення конструкцій, їх порівняльний аналіз та оцінювання ефективності.

37. Руднева І.М., Носач А. Професійні комунікації та впровадження BIM-моделювання як основні інструменти підвищення компетенцій студентів-архітекторів. *Всеукраїнська наукова конференція «Сучасна архітектурна освіта»*, КНУБА, 25 листопада 2021, р. 137-139. Особистий внесок: аналіз ролі BIM та професійних комунікацій у формуванні ефективних компетенцій фахівців.

38. Rudnieva I.N. Influence of temperature effects on the stress-strain state of suspension system formed by the systems of the bending-rigid threads. *International Scientific and Practical Conference of Young Scientists “Build-Master-Class-2016”*, Kyiv, 16–18 November 2016, р. 146. Особистий внесок: дослідження впливу температурних факторів на НДС та обґрунтування їх урахування.

39. Rudnieva I. Analyze of the methods of strengthening of buildings and structures, such as traditional methods and alternative methods using FRP materials. *International seminar «Economics of the cultural heritage, tourism and modern fortifications in EU»*, Venice (Italy), 2016, р. 248. Особистий внесок: порівняльний аналіз методів підсилення будівельних конструкцій.

40. Руднева И.Н., Прядко Н.В., Шамрина Г.В., Прядко Ю.Н. Обследование и усиление конструкций фундаментов жилого дома в г. Макеевка. *Материалы Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы механики в современном строительстве»*, Пенза, 2013, с. 133–141. Особистий внесок: обстеження та оцінювання технічного стану фундаментів, аналіз дефектів і пошкоджень та обґрунтування рішень з їх підсилення.

41. Horokhov Y., Muschanov V., Rudnieva I., Sivokon Y. Analysis and design of suspended roof shells with large openings. *9th International Conference “Modern Building Materials, Structure and Techniques”*. Vilnius, Lithuania, 2007. P. 584–594. Особистий внесок: дослідження напружено-деформованого стану та експериментальна перевірка роботи великопрольотних висячих оболонок, розробка рекомендацій щодо їх проектування та монтажу.

42. Горохов Є.В., Мушанов В.П., Касимов В.Р., Руднева І.М., Сивоконь Ю.В. Теоретическое и экспериментальное исследование стационарных висячих

покрытий над трибунами реконструируемых стадионов. *Материалы международной конференции «РЕКОНСТРУКЦИЯ-2005»*, Санкт-Петербург, 2005, с. 15–19. Особистий внесок: дослідження НДС покриттів та оцінювання їх роботи за результатами теоретичних і експериментальних досліджень.

43. Прядко И.Н. (Руднєва), Мушанов В.Ф. Влияние последовательности монтажа на изменение напряженно-деформированного состояния пространственных покрытий, образованных жесткими нитями. *Конференція молодих учених КНУБА*, Київ, 2002, стендова доповідь. Особистий внесок: дослідження впливу технології монтажу на роботу конструкцій.

Авторські свідоцтва, дипломи, патенти.

44. Патент України № 149077 U. Спосіб підсилення висячих металевих конструкцій наскрізного перерізу методом наклеювання високоміцних фіброармованих систем. Опубл. 13.10.2021, Бюл. № 41.

45. Патент України № 149335 U. Спосіб підсилення металевих конструкцій методом наклеювання високоміцних фіброармованих систем. Опубл. 10.11.2021, Бюл. № 45.

46. Патент України № 151802 U. Спосіб ремонту та захисту залізобетонних конструкцій з тріщинами герметизуючим розчином шляхом вакуумізації тріщин. Опубл. 14.09.2022, Бюл. № 37.

Інші публікації, що додатково відображають наукові результати докторської дисертації.

47. Іваненко П. О., Григор'єва Л. О., Жупаненко І. В., Корбаков О. Ф., Кошевий О. П., Левківський Д. В., Руднєва І. М., Тробюк О. М., Сович Ю. В., Янсонс М. О. Збірник задач з опору матеріалів : навч. посіб. / за ред. П. О. Іваненка. Київ : Ліра-К, 2021. 400 с.

48. Прядко М. В., Руднєва І. М., Прядко Ю. М. Обстеження та підсилення будівельних конструкцій промислових будівель : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2018. 334 с.

АНОТАЦІЯ

Руднєва І.М. Конструктивно-технологічна система забезпечення якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.08 - технологія та організація промислового та цивільного будівництва. Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, Київ, 2026.

У дисертаційній роботі розв'язано складну науково-прикладну проблему формування КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції. Визначальною інновацією роботи є створення цілісної КТС, яка ґрунтується на системному, життєво-цикловому та багатокритеріальному підходах і забезпечує узгоджене формування КТР та ОТР з урахуванням технічного стану, просторово-планувальних і виробничих обмежень, а також

показників трудомісткості, вартості, надійності та сталості. Це забезпечило перехід від фрагментарного вибору рішень до керованої системи прийняття інженерних рішень на всіх етапах реконструкції. Важливою науковою інновацією є запропоноване трактування якості підсилення як інтегральної характеристики КТР за системою показників N–R–A (надійність, ефективність, сталість), що забезпечило формалізацію оцінювання рішень з урахуванням взаємопов'язаних технічних, організаційних, економічних та екологічних факторів. Це створило методичну основу для їх алгоритмізованого порівняння та вибору. Вперше вирішено задачу багатокритеріального вибору КТР і ОТР шляхом переходу від описового аналізу до формалізованої процедури оцінювання та прийняття рішень.

Вперше сформульовано наукову концепцію КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель, у якій процес підсилення інтерпретується як керована багатокритеріальна система перетворень із формалізованими вхідними параметрами, обмеженнями та цільовими функціями. Розроблено BIM-орієнтовану інформаційно-аналітичну підсистему як цифрове ядро КТС, що забезпечує інтеграцію даних обстеження, моделювання та оцінювання рішень у єдиному середовищі. Запропоновано формалізований механізм узгодження моделей КТР–ОТР на основі логічної матриці відношень і комплексу CRIST, який забезпечує алгоритмізований відбір допустимих альтернатив і перехід до процедур підтримки прийняття рішень. Усі науково-методичні та аналітичні компоненти інтегровано в єдиний цифровий простір, орієнтований на реалізацію принципів Construction 4.0 із використанням елементів цифрового двійника об'єкта. Важливою інновацією є впровадження людиноцентричної моделі реконструкції в межах КТС, що забезпечує формалізоване узгодження інтересів зацікавлених сторін і підвищує обґрунтованість інженерних рішень. Застосування методу АНР забезпечує структуроване визначення вагових коефіцієнтів критеріїв і підвищує достовірність результатів багатокритеріального вибору, тоді як роботизація інтерпретується як системний інструмент підвищення якості процесів підсилення за рахунок зниження трудомісткості, мінімізації помилок, підвищення безпеки та стабільності виробничих систем.

Суттєвою інновацією є розроблення ієрархічної системи базових моделей КТР і формалізованої системи моделей ОТР, що забезпечують узгоджене формування та реалізацію рішень підсилення в межах єдиної КТС. Система реалізує інтегровану модель управління ресурсами, потоками робіт та інформації в BIM-середовищі з використанням принципів ощадливої організації процесів і інтелектуальної підтримки прийняття рішень. Удосконалено методологію оцінювання якості підсилення шляхом переходу до системного багатокритеріального аналізу з урахуванням технологічності, просторових обмежень і виробничих ризиків. Вперше систематизовано фактори недосконалого застосування матеріалів як окрему групу, що формалізовані у складі критеріїв оцінювання та враховуються при виборі КТР.

Розроблено багатофакторну систему нормування трудомісткості процесів підсилення та введено інтегральний коригувальний коефіцієнт, що забезпечує адаптацію нормативних витрат праці до умов реконструкції. Сформовано параметричні моделі умов виконання робіт, які забезпечують кількісне оцінювання впливу просторових і виробничих обмежень на трудомісткість, тривалість і безпеку процесів.

Розроблено методику багатокритеріального ранжування моделей підсилення на основі рангово-бальних шкал і агрегування критеріїв. Оцінювання здійснюється за шістьма критеріями: трудомісткість, вартість, просторові вимоги, тривалість експлуатації, можливість підвищення несучої здатності та сталість. Кожній моделі МКТ присвоюється ранг від 1 до 9 (1 — найкраще значення, 9 — найгірше), що дозволяє сформувати інтегральну оцінку. Для узагальнення результатів введено індекс порівняльної доцільності як відносний інтегральний показник, що забезпечує алгоритмізоване ранжування та вибір раціональних КТР. Це забезпечило перехід від описової класифікації способів підсилення до формалізованої процедури прийняття рішень. Окремою інновацією є розроблення модифікованої КТС із Lean-ядром, у якій ВІМ, цифрові моделі, елементи цифрового двійника та інтелектуальні методи аналізу інтегровані в єдину систему управління якістю підсилення. Запропоновано алгоритм цифровізації прийняття рішень, що поєднує 3D-сканування, ВІМ-моделювання, оцінку технічного стану, імітаційне моделювання та ітераційне коригування моделей КТР і ОТР.

Практичне значення одержаних результатів полягає у доведенні розробленої КТС, методик і моделей до рівня практичного застосування під час реконструкції будівель, зокрема в умовах відновлення інфраструктури України. Їх використання забезпечує підвищення обґрунтованості рішень, зниження трудомісткості, тривалості та вартості робіт, зменшення ризиків і підвищення надійності, довговічності та сталості підсилених конструкцій. Результати апробовано в межах науково-дослідної тематики, впроваджено в освітній процес КНУБА у підготовці здобувачів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», а також використані проектними та експертними організаціями.

Ключові слова: каркасні будівлі, реконструкція, підсилення конструкцій, конструктивно-технологічна система (КТС), система підтримки прийняття рішень, конструктивно-технологічні рішення (КТР), організаційно-технологічні рішення (ОТР), оцінювання якості, формалізація вибору рішень, багатокритеріальний вибір, рангово-бальна оцінка, індекс порівняльної доцільності, ВІМ-моделювання, цифровий двійник, Lean, життєвий цикл, надійність, ефективність, сталість, мікроелементне нормування.

ABSTRACT

Rudnieva I. M. A structural-and-technological system for quality assurance of the reinforcement of frame buildings during reconstruction. – *Qualifying scientific work in the form of a manuscript.*

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.23.08 – technology and organization of industrial and civil construction. – Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2026.

The dissertation addresses a complex scientific and applied problem of developing a structural and technological system (STS) for ensuring the quality of strengthening frame buildings during reconstruction. The key innovation of the study is the creation of an integrated STS based on systemic, life-cycle, and multi-criteria approaches, which ensures the coordinated formation of structural-technological (STR) and organizational-technological solutions (OTR), taking into account the technical condition, spatial and planning constraints, production limitations, as well as labor intensity, cost, reliability, and sustainability indicators. This enabled the transition from a fragmented selection of solutions to a controlled system of engineering decision-making at all stages of reconstruction. An important scientific contribution is the proposed interpretation of strengthening quality as an integral characteristic of STR based on the N–R–A system of indicators (reliability, efficiency, sustainability), which allowed the formalization of decision evaluation considering interrelated technical, organizational, economic, and environmental factors. This provided a methodological basis for their algorithmic comparison and selection. For the first time, the problem of multi-criteria selection of STR and OTR has been solved through the transition from descriptive analysis to a formalized decision-making procedure.

For the first time, a scientific concept of a structural and technological system (STS) for quality assurance of strengthening of frame buildings has been formulated, in which the strengthening process is interpreted as a controlled multi-criteria transformation system with formalized input parameters, constraints, and objective functions. A BIM-oriented information and analytical subsystem has been developed as the digital core of the STS, ensuring the integration of inspection data, modeling, and decision evaluation within a unified environment. A formalized mechanism for coordinating structural and technological (STR) and organizational and technological solutions (OTS) based on a logical relationship matrix and the CRIST complex has been proposed, providing algorithmic selection of feasible alternatives and enabling decision-support procedures. All scientific, methodological, and analytical components are integrated into a unified digital decision-support environment aligned with the Construction 4.0 paradigm and incorporating elements of a digital twin. An important innovation is the implementation of a human-centered reconstruction model within the STS, which ensures formalized alignment of stakeholder interests and improves the validity of engineering decisions. The application of the AHP method enables structured determination of criteria weights and enhances the reliability of multi-criteria decision-making, while robotization is interpreted as a systemic tool for improving process quality by reducing labor intensity, minimizing errors, and increasing safety and operational stability of construction processes.

A significant innovation is the development of a hierarchical system of basic STR models and a formalized system of organizational and technological solution (OTS) models, which ensure the coordinated formation and implementation of strengthening

solutions within a unified structural and technological system (STS). The system implements an integrated model for managing resources, workflows, and information within a BIM environment, incorporating Lean process organization and intelligent decision-support tools. The methodology for evaluating the quality of strengthening has been improved by transitioning to a systemic multi-criteria analysis that accounts for constructability, spatial constraints, and production risks. For the first time, factors of improper application of materials have been systematized as a separate group, formalized within the evaluation criteria, and incorporated into the selection of STR solutions.

A multifactor system for labor intensity standardization of strengthening processes has been developed, and an integral correction coefficient has been introduced to ensure the adaptation of standard labor inputs to reconstruction conditions. Parametric models of working conditions have been developed, enabling quantitative assessment of the impact of spatial and production constraints on labor intensity, duration, and safety of strengthening processes.

A methodology for multi-criteria ranking of strengthening models has been developed based on rank-based scoring scales and criteria aggregation. Evaluation is carried out according to six criteria: labor intensity, cost, spatial requirements, service life, load-bearing capacity improvement potential, and sustainability. Each model is assigned a rank from 1 to 9 (1 being the best, 9 the worst), enabling the formation of an integral assessment. A comparative feasibility index has been introduced as a relative integral indicator, ensuring algorithmic ranking and selection of rational STR. This enabled the transition from descriptive classification of strengthening methods to a formalized decision-making process.

Another innovation is the development of a modified STS with a Lean core, in which BIM, digital models, digital twin elements, and intelligent analytical methods are integrated into a unified quality management system. An algorithm for digital decision-making has been proposed, combining 3D scanning, BIM modeling, technical condition assessment, simulation modeling, and iterative refinement of STR and OTR models.

The practical significance of the obtained results lies in bringing the developed STS, methods, and models to the level of practical application in building reconstruction, particularly in the context of infrastructure recovery in Ukraine. Their implementation ensures improved decision justification, reduced labor intensity, duration, and cost, decreased risks, and enhanced reliability, durability, and sustainability of strengthened structures. The results have been validated within research activities, implemented in the educational process at Kyiv National University of Construction and Architecture, and applied by design and expert organizations.

Keywords: frame buildings, reconstruction, structural strengthening, structural-and-technological system (STS), decision support system, structural-technological solutions (STR), organizational-technological solutions (OTR), quality assessment, decision-making formalization, multi-criteria selection, rank-based evaluation, comparative feasibility index, BIM modeling, digital twin, Lean, life cycle, reliability, efficiency, sustainability, microelement standardization.

Підписано до друку 10.07.2026. Формат 60х90/16

Ум. Друк. Арк. 3. Тираж 50 примірників

Замовлення № 106. Друк ФОП Сучков О.А.

02166, м. Київ, пр-т Лісовий 6.