УДК 69.05

Г.М. Тонкачеєв,
докт. техн. наук, професор
проректор з навчально-методичної роботи
ORCID: 0000-0002-6589-8822
І.М. Руднєва,
канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0000-0002-9711-042X
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЇВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ

Аналіз та узагальнення попередніх досліджень показало, що комплексне вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель, реконструкції та модернізації будівель і споруд з урахуванням сталого підходу відсутнє. Після завершення будівництва каркас будівлі безперервно і неухильно змінюється та зношується, в результаті потребуючи підвищення експлуатаційної надійності, а ці процеси пов'язані з правильним прийняттям рішень по зміні несучої здатності конструкцій та з технології та організації виконання відповідних робіт. Щоб вирішити цю задачу необхідне створення загальної методології системи моделювання конструктивно-технологічних рішень. Методологія системи призначена для зменшення витрат при підвищенні надійності роботи конструкцій каркасів, врахування соціальної культури, оптимального впливу на суспільство, ефективному використанні ресурсів і екологічних принципах. Особливо гостро стоїть проблема впровадження інноваційних та ефективних організаційних та конструктивно-технологічних рішень для забезпечення необхідної продуктивності і функціональності з мінімальним негативним впливом на навколишнє середовище, одночасно враховуючи поліпшення економічних, соціальних, культурних аспектів на місцевому, регіональному і глобальному рівнях. Крім того, необхідними критеріями є підвищення несучої здатності, зниження деформативності та відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій. У статті досліджено комплексне вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель при реконструкції та модернізації будівель та споруд. Виявлені внутрішні та зовнішні факторів змін, а також основні критерії підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель. Розгляд цих чинників, як сукупності функцій дозволяє прогнозувати довгострокові потреби та поведінку каркасу будівлі протягом всього життєвого циклу враховуючи деградацію компонентів будівлі й необхідність у відновленні або підсиленні елементів каркасів будівель Після збору і аналізу інформації по виявленим факторам запропонована система технологічних рішень, яка враховує сталий підхід до реконструкції та такі категорії, як організаційно-технологічні рішення, конструкції, матеріали, економіка, менеджмент, екологія, соціальна культура, зокрема вплив на суспільство і навколишнє середовище.

Ключові слова: експлуатаційна надійність, каркас будівлі, система підвищення надійності каркасу будівлі, вплив на суспільство, навколишнє середовище, життєвий цикл будівлі, реконструкція, підсилення, втрати.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз наукових праць [4, 5, 9] та узагальнення попередніх досліджень показало, що комплексне вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель, реконструкції та модернізації будівель та споруд з урахуванням сталого підходу відсутнє. Це стосується теоретичних та методологічних підходів до підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель, а також їх реконструкції та модернізації у наступних категоріях, а саме:

- організаційно-технологічні рішення,
- конструкції,
- матеріали,
- економіка,
- менеджмент,
- екологія,
- соціальна культура, зокрема вплив на суспільство і навколишнє середовище.

Особливо гостро стоїть проблема впровадження інноваційних та ефективних організаційних та конструктивно-технологічних рішень для забезпечення необхідної продуктивності і функціональності з мінімальним негативним впливом на навколишнє середовище, одночасно враховуючи поліпшення економічних, соціальних, культурних аспектів на місцевому, регіональному і глобальному рівнях (відповідно ISO 15392, 2019 [1]), а також підвищення несучої здатності, зниження деформативності та відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій.

Після завершення будівництва каркас будівлі безперервно і неухильно змінюється та зношується, в результаті потребуючи підвищення експлуатаційної надійності, а ці процеси пов’язані з правильним прийняттям рішень по зміні несучої здатності конструкцій та з технології та організації виконання відповідних робіт. Щоб вирішити цю задачу необхідне створення загальної методики моделювання конструктивно-технологічних рішень. Методика призначена для зменшення витрат при підвищенні надійності роботи конструкцій каркасів, врахування соціальної культури, оптимального впливу на суспільство, ефективному використанні ресурсів і екологічних принципах.

Постановка завдання. Розробка наукоємної системи з метою підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель на основі моделювання конструктивно-технологічних рішень, заснованих на мінімізації витрат праці, скороченні циклу відновлення з урахуванням ефективного використання ресурсів, екологічних принципів проектування, враховуючи розстановку пріоритетів, в залежності від найвагоміших факторів впливу.

Основний зміст і результати досліджень. Будівлі починають змінюватися відразу після вводу в експлуатацію. Отже, будівля повинна бути побудована з урахуванням змін, що означає, що архітектор повинен враховувати короткострокові та довгострокові потреби, а також зменшення втрат, зокрема витрат, при підвищенні надійності роботи конструкцій каркасів.

Проект реконструкції часто починається з розробки стратегії по мінімізації операційних витрат при експлуатації будівлі. Однак для досягнення оптимального рівня надійності каркасу будівлі необхідно враховувати широкий спектр аспектів, в тому числі, слід брати до уваги соціальну, культурну, економічну та екологічну цінність. Відповідно, підходи до реконструкції повинні відрізнятися для кожного проекту, в залежності, не тільки від стану несучих конструкцій самої будівлі, а й від місцевих умов, включаючи розташування, навколишнє середовище, історичні фактори, нормативні вимоги й потреби органів місцевого самоврядування. Крім того, особливі умови проекту, наприклад, бюджет, тривалість й учасники проекту, грають важливу роль у визначенні критеріїв вибору ступеня та методів підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівлі.

Підхід до підвищення експлуатаційної надійності каркасів застосовується в залежності від мети проекту. Він може фокусуватись на реалізації планування максимального терміну експлуатації та вищого рівня міцності, жорсткості, стійкості, на бізнес-орієнтованій перспективі або на точці зору кінцевого користувача. Далі підхід фокусується на різних етапах життєвого циклу будівлі:

$\boldsymbol{S_1}$ – планування;

$\boldsymbol{S_2}$ – проектування;

$\boldsymbol{S_3}$ – виробництво;

$\boldsymbol{S_4}$ – будівництво;

$\boldsymbol{S_5}$ – обслуговування;

$\boldsymbol{S_6}$ – знесення будинку.

На кожному етапі тимчасових рамок слід враховувати різні аспекти, що стосуються надійності каркасу будівлі, ефективності обраних матеріалів з точки зору, не тільки трудомісткості та вартості будівельно-монтажних робіт, мінімізації втрат трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів, підвищення рівня продуктивності праці та ефективності організаційно-технологічних процесів, але й використання енергії та води, внутрішнього середовища з урахуванням здоров'я та благополуччя користувачів, забруднення, транспорту, матеріалів, відходів, екології та процесів управління.

Звісно, що на етапах планування та проектування передбачено найбільше можливостей для здійснення впливу на вартість життєвого циклу після завершення будівництва, оскільки можливість впливати на процеси проектування та зведення будівлі стає щодалі більш обмеженою [13]. Проте, важко прогнозувати довгострокові потреби, оскільки поведінку каркасу будівлі протягом всього життєвого циклу будівлі неможливо точно передбачити, оскільки зміни відбуваються в будівлі в залежності як внутрішніх, так і зовнішніх факторів, таких як деградація компонентів будівлі або необхідність у відновленні або підсиленні елементів каркасу будівлі внаслідок тривалої експлуатації, без своєчасного технічного обслуговування та капітальних ремонтів, недостатньої міцності матеріалів конструкцій, в результаті зносу, конструктивних дефектів, для збільшення несучої здатності в результаті зміни погодних умов та діючих нормативних документів, підвищення надійності, продовження експлуатації, тобто коли необхідним є підвищення експлуатаційної надійності каркасу будівлі.

Внутрішніми факторами змін є:

$\mathbf{C_1}$ **–** знос та заміна інженерних комунікацій. Здебільшого від цього фактору залежить вибір геометричної форми та матеріалу підсилюючої конструкції;

$\mathbf{C_2}$ **–** погіршення стану каркасу будівлі;

C_3 – інтенсивна експлуатація будівлі або споруди;
C_4 – заміна внутрішнього оздоблення;
C_6 – заміна зовнішнього оздоблення;
C_5 – об'ємно-планувальні параметри споруд. Комерційний простір може змінюватися кожні три роки; звичайні будівлі можуть залишатися без змін протягом тридцяти років.

Першим операційним блоком алгоритму методики є збір і аналіз інформації по запропонованим внутрішнім факторам змін та формування відповідної матриці:

$$C = \left(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 \ldots Cr\right) \quad (1)$$

Зовнішніми факторами є:
E_1 – культурні та естетичні
E_2 – стан ринку, економічний, вартість землі
E_3 – матеріали, технологія, обладнання
E_4 – нормативно-правові акти, пожежні вимоги
E_5 – оподаткування, політичні
E_6 – інфраструктура, транспорт,
E_7 – погода/клімат, навколишнє середовище.
E_8 – історичне значення місця розташування будівлі або споруди,
E_9 – стейкхолдери. Це мешканці, люди, які користуються будівлею або прилегло територією, організації, уряд, місцева влада. Тип проекту, тривалість, бюджет і тип використовуваної технології визначаються уподобаннями та очікуваннями зацікавлених сторін шляхом проведення багатосторонніх переговорів між всіма зацікавленими сторонами (територіальною громадою, громадськими організаціями, інвесторами, девелоперами, місцевою владою тощо);

Другим операційним блоком алгоритму методики є збір і аналіз інформації по запропонованим зовнішнім факторам змін та формування відповідної матриці:

$$E = \left(E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6 \ldots Ek\right) \quad (2)$$

На наступному етапі виконано призначення **критеріїв підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель** (відбір чинників, які впливають на їх вибір):

R_1 – визначення оптимальних конструктивної схеми будівлі і матеріалів, а також терміну планового періоду експлуатації [14] для кожного конструктивного елемента розрахунку, кількісті та періодичність проведення капітальних ремонтів тощо. Для підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель або продовження життєвого циклу будівлі, зокрема досягнення початкового проектного терміну служби, необхідні архітектурні втручання. Ці втручання варіюються від технічного обслуговування, ремонту до реконструкції, проведеної в кінці життєвого циклу кожного елемента будівлі.

R_2 – мінімізація капітальних витрат. Показником критерію вважається:
R_{21} – вартість проектування,
R_{22} – вартість матеріалів каркасу,
R_{23} – трудомісткість будівельно-монтажних робіт при зведенні каркасу будівлі,
R_{24} – вартість обладнання, інструменту та інвентару,
R_{25} – вартість інших робіт в загальному обсязі капітальних вкладень.

R_3 – мінімізація експлуатаційних витрат, раціональне використання природних ресурсів при підвищенні експлуатаційної надійності каркасів, методи зниження фінансових витрат на утримання будівель. Показником критерію вважається вартість експлуатації, обслуговування і ремонту, для чого необхідна оцінка реальної вартості проекту, враховуючи експлуатаційні затрати протягом життєвого циклу будівлі, а також питання оптимізації, як капітальних витрат Інвестора, так і операційних (експлуатаційних) затрат, що в результаті дозволяє отримати значну економію загальної вартості проекту.

R_4 – надійність, міцність, стійкість, жорсткість та довговічність каркасів будівлі або споруди. Показниками критерію є термін експлуатації каркасу будівлі, індекс надійності β (або «індекс безпеки») та клас наслідків об'єкта будівництва (незначні СС1, середні СС2 або значні СС3 наслідки) [16, 17].

R_5 – ефективне використання ресурсів й екологічні принципи, зокрема найменший вплив на навколишнє середовище. Необхідність заходів по скороченню викидів вуглецю за допомогою використання інноваційних будівельних технологій та матеріалів з меншим використанням енергії.

R_6 – врахування соціальної культури, оптимального впливу на суспільство.

R_7 – повторне використання і рециклінг не менш ніж 70% придатних до цього матеріалів і виробів [15].

R_8 – управління співвідношенням капітальних та експлуатаційних витрат **CAPEX/OPEX** [3]. Оптимальним вважається рішення, яке з тих чи інших обставин є найкращим за всі інші. Дуже доцільним став Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про будівельні норми» щодо удосконалення нормування у будівництві» [12], у відповідності з яким параметричний метод нормування в будівництві [11] було визначено пріоритетним. Таким чином, параметричні норми передбачають варіантне проектування, що дозволяє на основі варіабельності дотримання допоміжних нормативних вимог виходити на ефективний варіант проектного рішення, зокрема приймати найприйнятніший термін експлуатації, а не той, що вказаний для відповідної споруди в ДБН [10], та варіювати надійністю каркасу будівлі та її вартістю. Наприклад, для оцінки вибору найбільш ефективного методу підсилення конструкцій, це може бути визначено шляхом оцінки вартості капітальних витрат **(CAPEX)** – матеріалів, механізмів, трудових витрат, та операційних витрат **(OPEX)** – витрат на обслуговування елементів каркасу будівлі або окремої конструкції протягом життєвого циклу будівлі, ремонтів і можливої заміни конструктивних елементів протягом інвестиційного періоду, з використанням даних, наданих виробниками. В результаті буде знайдена точка беззбитковості **(Break Even point).**

R_9 – врахування повної вартості життєвого циклу каркасу будівлі [13].

Для цього пропонується використовувати наступний алгоритм розрахунку [3]:

1 етап. Визначення конструктивної схеми каркасу будівлі і матеріалів, плановий період експлуатації каркасу будівлі, термін планового періоду експлуатації для кожного конструктивного елемента каркасу, кількість і періодичність проведення капітальних ремонтів тощо.

2 етап. Визначення капітальних витрат, зокрема на передінвестиційну фазу, проектування, будівельно-монтажні роботи, матеріали тощо (C_{capex}).

3 етап. Визначення витрат на експлуатацію конструктивних елементів будівлі або витрат на експлуатацію каркасу будівлі в цілому, наприклад, фарбування,

ремонт, підсилення або можлива заміна конструктивних елементів каркасу (C_{opex}).

4 етап. Розрахунок підсумкової вартості життєвого циклу надійного каркасу будівлі шляхом додавання суми одноразових і періодичних витрат з урахуванням коригувального коефіцієнта *k*.

Для розрахунку повної вартості життєвого циклу будівлі C_{total} слід використовувати наступну формулу [3]:

$$C_{total} = \sum_{i=1}^{n} C_{capex\,i} + k \cdot \sum_{j=1}^{m} C_{opex\,j}, \quad (3)$$

де C_{capex}– капітальні витрати; C_{opex} – операційні витрати; k – коригувальний коефіцієнт, який залежить від різних факторів, зокрема різкого зростання цін (наприклад, на матеріали підсилення), зміни валют, макроекономічного впливу, що стане проблемою і великими витратами в майбутньому.

$\boldsymbol{R_{10}}$ – накладення обмежень на заплановане устарівання [15].

$\boldsymbol{R_{11}}$ – використання BIM на протязі всього життєвого циклу, зокрема експлуатації, каркасу будівлі.

$\boldsymbol{R_{12}}$ – пріоритет реконструкції і капітального ремонту [15] з метою підвищення експлуатаційної надійності каркасу, а не знесення та нове будівництво.

$\boldsymbol{R_{13}}$ – захисні властивості та стійкість до атмосферних впливів.

$\boldsymbol{R_{14}}$ – мінімізація втрат трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів й підвищення рівня продуктивності праці та ефективності організаційно-технологічних процесів. Слід виявляти і ліквідувати фактори зайвих ресурсів: де і чому споживаються трудові ресурси, зайві сировина і матеріали, зайве обладнання тощо. Факторами втрат є [2]:

- Неповні вихідні дані та/або технічне завдання.
- Відсутність системного аналізу та обгрунтування оптимального рішення в результаті проробки різних варіантів.
- Залучення виробників матеріалів на останніх етапах проектування.
- Відсутність взаємодії постачальників матеріалів та технологій з усіма учасниками проекту.
- Відсутність прорахунку підсумкової вартості життєвого циклу будівлі, що будується або реконструюється.
- Дефекти та переробки.
- Відсутні чи невідповідні матеріали попередніх проектувань і обстежень, вишукувань при реконструкції.
- Недостатня взаємодія між учасниками реалізації проекту, міждисциплінарної координації та взагалі всіма стейкхолдерами (інвесторів, замовників, проектувальників, підрядників, постачальників тощо). Неузгоджені дії призводять до затягування і зриву термінів будівництва і введення в експлуатацію об'єктів нерухомості, зниження якості робіт, здорожчання будівництва. Отже, конкурентоспроможність будівельної продукції безпосередньо залежить від ефективної взаємодії основних учасників проекту. Погана координація роботи субпідрядників між собою або підрядника і проектувальника. Ці втрати можуть становити до 80%.
- Зміна проектної організації в процесі проектування.
- Не підтримка BIM усіма учасниками проекту.
- Незбереження електронної версії проекту.

- Неповне оформлення виконавчої документації.
- Зміна будівельної організації в процесі будівельних робіт.
- Низька якість робітників або нестача робочої сили.
- Непотрібні переміщення механізмів та матеріалів.
- Непунктуальність субпідрядників та виїзних польових підрядних бригад.
- Технічний або авторський нагляд низького рівня.
- самочинні дії підрядниками на етапі будівельних робіт.
- Надмірні запаси
- Втрати від неякісного проектування (Складні проектні рішення, трудомісткі у виготовленні, транспортуванні або монтажі; некоректно уніфіковані елементи; помилки у розрахунках або кресленнях; невідповідність між розділами проекту; закладення невідповідних або неякісних матеріалів; неякісне оформлення креслень тощо).

Третім операційним блоком алгоритму методики дослідження є збір і аналіз інформації по критеріям та формування відповідної матриці:

$$R = (R_1, R_2, R_3, R_4 , R_5, R_6, R_7, R_8 , R_9, R_{10}, R_{11}, R_{12} , R_{13}, R_{14}) \qquad (4)$$

Після відбору і систематизації функцій визначені всі можливі зв'язки між "елементом каркаса будівлі" та іншими елементами системи та запропонована система підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель (рис. 1).

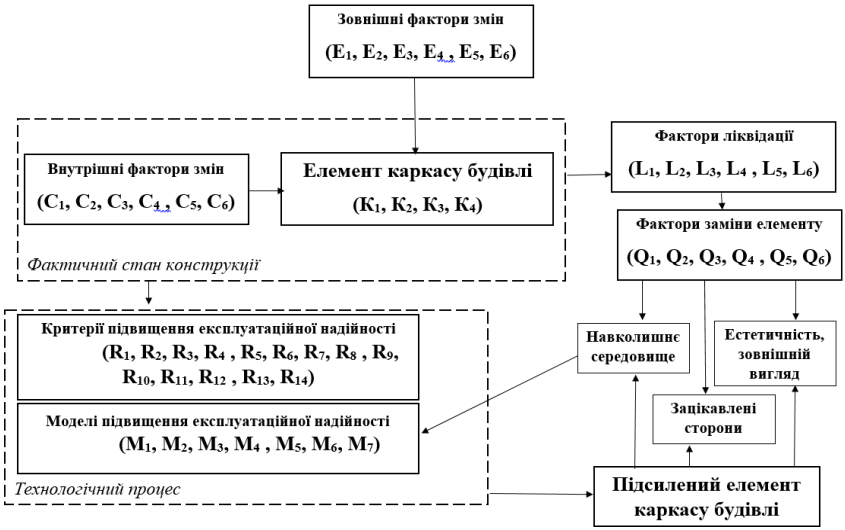

Рис. 1. Система підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель
**Авторська розробка*

Висновки. Виявлені внутрішні та зовнішні факторів змін, а також основні критерії підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель. Розгляд цих чинників, як сукупності функцій дозволяє прогнозувати довгострокові потреби та

поведінку каркасу будівлі протягом всього життєвого циклу враховуючи деградацію компонентів будівлі або необхідність у відновленні або підсиленні елементів каркасів будівель внаслідок тривалої експлуатації, без своєчасного технічного обслуговування та капітальних ремонтів, недостатньої міцності матеріалів конструкцій, в результаті зносу, конструктивних дефектів, для збільшення несучої здатності в результаті зміни погодних умов та діючих нормативних документів, підвищення надійності, продовження експлуатації, тобто коли необхідним є підвищення експлуатаційної надійності каркасу будівлі.

За результатами проведеного дослідження запропонована методологія системи підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель, яка дозволяє комплексне вирішення проблеми, враховуючи різні аспекти, які впливають на підвищення надійності каркасу будівлі, ефективності обраних матеріалів, трудомісткості та вартості будівельно-монтажних робіт, мінімізації втрат трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів, підвищення рівня продуктивності праці та ефективності організаційно-технологічних процесів, використання енергії та води, внутрішнього середовища з урахуванням здоров'я і благополуччя користувачів, забруднення, транспорту, матеріалів, відходів, екології та процесів управління.

Метою наступних досліджень є моделювання технологічних рішень з метою підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель, враховуючи розстановку пріоритетів, в залежності від найвагоміших факторів впливу на каркас будівлі та, саме підсиленого, каркасу на навколишнє середовище, його естетичність та на всі зацікавлені сторони.

Список літератури:

1. ISO 15392:2019. Sustainability in buildings and civil engineering works – General principles. Pages 24. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.iso.org/standard/69947.html

2. Руднєва І.М. Механізми впровадження Lean – технологій, як інноваційного підходу при моделюванні структури визначення норми часу на виконання будівельних процесів [Текст] / І.М. Руднєва // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2021. – № 47. – С. 26-36.

3. Руднєва І.М. Управління інвестиційними ризиками та енергоефективність, з урахуванням капітальних і операційних витрат, в промисловому девелопменті [Текст] / І.М. Руднєва // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. –2020. – № 46. – С.56-64.

4. Молодід О.С. Система формування конструктивно-технологічних рішень відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій. Дис. … докт. техн. наук: 05.23.08 / КНУБА, Київ, 2021. – 453 с. – укр.

5. І. Руднєва, Ю. Прядко, М. Прядко, Г. Тонкачеєв. Особливості та перспективи використання технологій підсилення будівельних конструкцій композиційними матеріалами при реконструкції споруд. Збірник наукових праць "БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ. ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА". № 7 (2020), С. 12-22. DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.12-22

6. ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008. (EN 1990:2002, IDN). Система надійності та безпеки у будівництві. Настанова. Основи проектування конструкцій. Київ, Мінрегіонбуд України., 2009. – 81с.

7. Eurocode 0: ENV 1990:2002+A1. Basic of structural design. CEN, Brussels, 2002. 116 pages.

8. ISO 13822:2010. Bases for design of structures – Assessment of existing structures. ISO 2010. Pages 44.

9. Тонкачеєв Г.М. Функціонально-модульна система формування комплектів будівельної оснастки: дис. ... докт. техн. наук : 05.23.08 / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ, 2012. 360 с. – рус.

10. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. / Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2018.

11. Барзилович Д., Лагунова І., Бардасова І., Буравченко С., Нечепорук А., Медведчук О., Марушева О., Колесник В. Зелена книга. Системний перегляд ефективності державного регулювання. Параметричне нормування у будівництві. [Електронний ресурс]. – Київ: 2020. – 91 с. – Режим доступу: https://cdn.regulation.gov.ua/c6/ba/18/d2/regulation.gov.ua_Parametrychne-normuvannia-Construction.pdf

12. ЗАКОН УКРАЇНИ Про внесення змін до Закону України "Про будівельні норми" щодо удосконалення нормування у будівництві (Відомості Верховної Ради (ВВР) від 15.11.2019 – 2019, № 46, ст.304). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/156-20#Text

13. ДСТУ ISO 15686_5:2021. Будівлі та об’єкти нерухомого майна. Планування строку експлуатації. Частина 5. Оцінювання вартості життєвого циклу. Pages 101. https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/bim/dstu-ISO-15686_5.pdf

14. ISO 15686-1:2021. Будівлі та об’єкти нерухомого майна. Планування строку експлуатації. Частина 1. Основні принципи та методологія. Pages 64. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/bim/dstu-ISO-15686_1.pdf

15. ДСТУ XXX:202_ Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд (проект). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/DSTU%20Nastanova%20shchodo%20zabezpechennya%20zbalansovanoho%20vykorystannya%20pryrodnykh%20resursiv%20pry%20proektuvanni%20sporud.pdf

16. ISO 2394:2015. International standard. General principles on reliability for structures. Pages 112. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.iso.org/standard/58036.html

17. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.

References:

1. ISO 15392:2019. Sustainability in buildings and civil engineering works – General principles. Pages 24. URL: https://www.iso.org/standard/69947.html

2. Rudnieva, I.M. (2021). Mekhanizmy vprovadzhennia Lean – tekhnolohii, yak innovatsiinoho pidkhodu pry modeliuvanni struktury vyznachennia normy chasu na

vykonannia budivelnykh protsesiv. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*. № 47. P. 26-36.

3. Rudnieva, I.M. (2020). Upravlinnia investytsiinymy ryzykamy ta enerhoefektyvnist, z urakhuvanniam kapitalnykh i operatsiinykh vytrat, v promyslovomu developmenti. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*. № 46. P.56-64.

4. Molodid, O.S. (2021). Systema formuvannia konstruktyvno-tekhnolohichnykh rishen vidnovlennia ekspluatatsiinoi prydatnosti budivelnykh konstruktsii. (Doctor's thesis). Kyiv National University of Construction and Architecture [in Ukrainian]

5. Rudnieva, I., Priadko, Yu., Priadko, M., Tonkacheiev, H. (2020). Osoblyvosti ta perspektyvy vykorystannia tekhnolohii pidsylennia budivelnykh konstruktsii kompozytsiinymy materialamy pry rekonstruktsii sporud. *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*. № 7, P. 12-22. DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.12-22

6. DSTU-N B V.1.2-13:2008. (EN 1990:2002, IDN). (2009). Systema nadiinosti ta bezpeky u budivnytstvi. Nastanova. Osnovy proektuvannia konstruktsii. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy. 81s.

7. Eurocode 0: ENV 1990:2002+A1. Basic of structural design. CEN, Brussels, 2002. 116 pages.

8. ISO 13822:2010. Bases for design of structures – Assessment of existing structures. ISO 2010. Pages 44.

9. Tonkacheiev, H.M. (2012). *Funktsionalno-modulna systema formuvannia komplektiv budivelnoi osnastky*. (Doctor's thesis). Kyiv National University of Construction and Architecture

10. DBN V.1.2-14-2018. Zahalni pryntsypy zabespechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnykh konstruktsii ta osnov. / Minrehionbud Ukrainy. – K.: DP «Ukrarkhbudinform», 2018.

11. Barzylovych D., Lahunova I., Bardasova I., Buravchenko S., Necheporuk A., Medvedchuk O., Marusheva O., Kolesnyk V. (2020). Zelena knyha. Systemnyi perehliad efektyvnosti derzhavnoho rehuliuvannia. Parametrychne normuvannia u budivnytstvi. URL: https://cdn.regulation.gov.ua/c6/ba/18/d2/regulation.gov.ua_Parametrychne-normuvannia-Construction.pdf

12. Law of Ukraine (2019). Pro vnesennia zmin do Zakonu Ukrainy "Pro budivelni normy" shchodo udoskonalennia normuvannia u budivnytstvi (*Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR)*, № 46, st.304). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/156-20#Text

13. DSTU ISO 15686_5:2021. Budivli ta obiekty nerukhomoho maina. Planuvannia stroku ekspluatatsii. Chastyna 5. Otsiniuvannia vartosti zhyttievoho tsyklu. Pages 101. https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/bim/dstu-ISO-15686_5.pdf

14. ISO 15686-1:2021. Budivli ta obiekty nerukhomoho maina. Planuvannia stroku ekspluatatsii. Chastyna 1. Osnovni pryntsypy ta metodolohiia. Pages 64. URL: https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/bim/dstu-ISO-15686_1.pdf

15. DSTU KhKhKh:202_ Nastanova shchodo zabezpechennia zbalansovanoho vykorystannia pryrodnykh resursiv pry proektuvanni sporud (proekt). URL: https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/DSTU%20Nastanova%20shchodo%20zabezpechennya%20zbalansovanoho%20vykorystannya%20pryrodnykh%20resursiv%20pry%20proektuvanni%20sporud.pdf

16. ISO 2394:2015. International standard. General principles on reliability for structures. Pages 112. URL: https://www.iso.org/standard/58036.html

17. Rzhanitsyn, A.R. (1978). *Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruktsiy na nadezhnost'* [The theory of calculating building structures for reliability]. M.: Stroiyzdat. 239 s.

Г.Н. Тонкачеев, И.Н. Руднева

Исследование критериев повышения эксплуатационной надежности каркасов зданий

Анализ и обобщение предыдущих исследований показали, что комплексное решение проблемы повышения эксплуатационной надежности каркасов зданий, реконструкции, а также модернизации зданий и сооружений с учетом устойчивого подхода отсутствует. Чтобы решить эту задачу необходимо создание общей методологии системы моделирования конструктивно-технологических решений. Методология системы предназначена для уменьшения затрат при повышении надежности работы конструкций каркасов, учета социальной культуры, оптимального воздействия на общество, эффективного использования ресурсов и экологических принципах. Особенно остро стоит проблема внедрения инновационных и эффективных организационных, а также конструктивно-технологических решений для обеспечения необходимой производительности и функциональности с минимальным негативным воздействием на окружающую среду, одновременно учитывая улучшение экономических, социальных, культурных аспектов на местном, региональном и глобальном уровнях. Кроме того, необходимыми критериями являются повышение несущей способности, снижение деформативности и восстановление эксплуатационной пригодности строительных конструкций. В статье исследовано комплексное решение проблемы повышения эксплуатационной надежности каркасов зданий при реконструкции или модернизации зданий и сооружений. Выявлены внутренние и внешние факторы изменений, а также основные критерии повышения эксплуатационной надежности каркасов зданий. После сбора и анализа информации по выявленным факторам предложена система технологических решений, которая учитывает устойчивый подход к реконструкции и такие категории, как организационно-технологические решения, конструкции, материалы, экономика, менеджмент, экология, социальная культура, в частности влияние на общество и окружающую среду.

Ключевые слова: эксплуатационная надежность, каркас здания, система повышения надежности каркаса здания, влияние на общество, окружающая среда, жизненный цикл здания, реконструкция, усиление, потери.

G. Tonkacheev, I. Rudnieva

Investigation of the criteria for increasing the operational reliability of building frames

Analysis and generalization of previous studies showed that there is no comprehensive solution to the problem of increasing the operational reliability of building frames, reconstruction and modernization of buildings and structures, taking into account a sustainable approach. After the completion of construction, the frame of the building is constantly and steadily changing and wearing out, as a result, requiring an increase in operational reliability, and these processes are associated with the

correct decision-making on changing the bearing capacity of structures and on the technology and organization of the corresponding work. To solve this problem, it is necessary to create a general methodology for a system for modeling constructive and technological solutions. The system's methodology is intended to reduce costs while increasing the reliability of frame structures, taking into account social culture, optimal impact on society, efficient use of resources and environmental principles. Particularly acute is the problem of introducing innovative and effective organizational and constructive-technological solutions to ensure the required performance and functionality with a minimum negative impact on the environment, while taking into account the improvement of economic, social, cultural aspects at the local, regional and global levels. In addition, the necessary criteria are an increase of the bearing capacity, a decrease in deformability and the recovery of the operational suitability of building structures. The article investigates a comprehensive solution to the problem of increasing the operational reliability of building frames during the reconstruction and modernization of buildings and structures. Identified internal and external factors of changes, as well as the main criteria for increasing the operational reliability of building frames. Consideration of these factors as a range of functions makes it possible to predict the long-term needs and behavior of the building frame throughout the entire life cycle, taking into account the degradation of building components and the need to restore or strengthen the elements of the building frames. After collecting and analyzing information on the identified factors, a system of technological solutions is proposed that takes into account a sustainable approach to reconstruction and categories such as organizational and technological solutions, structures, materials, economics, management, ecology, social culture, in particular the impact on society and the environment.

Keywords: operational reliability, building frame, system for increasing the reliability of the building frame, impact on society, environment, building life cycle, reconstruction, strengthening, losses.

Посилання на статтю

APA: Tonkacheev, G. & Rudnieva, I. (2021). Investigation of the criteria for increasing the operational reliability of building frames. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 47 (1), 52-63.

ДСТУ: Тонкачеєв Г.М. Дослідження критеріїв підвищення експлуатаційної надійності каркасів будівель [Текст] / Г.М. Тонкачеєв, І.М. Руднєва // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2021. – № 47 (1). – С. 52-63.