

Валерій ОЛІЙНИК,

аспірант

ORCID: 0009-0009-0056-8425

Владислав ЖЕЛЕЗНЯК,

аспірант

ORCID: 0009-0009-7831-9066

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЦИКЛОМ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЄКТІВ ВІДБУДОВИ В СКЛАДНИХ УМОВАХ

Розробка та обґрунтування організаційно-технологічного інструментарію, спрямованого на скорочення тривалості відновлення об'єктів реконструкції, що зазнали руйнувань внаслідок військових дій. Метою є створення комплексної моделі, що інтегрує етапи робіт від оцінки пошкоджень до введення в експлуатацію з урахуванням специфічних ризиків та обмежень.

Дослідження базується на методах системного аналізу для декомпозиції складної задачі відбудови. Для оптимізації тривалості та ресурсного планування використовуються методи сітьового моделювання (CPM, PERT) та теорії графів. Для оцінки ефективності різних сценаріїв відновлення застосовується імітаційне моделювання, що дозволяє враховувати стохастичний характер зовнішніх факторів (безпека, постачання, фінансування).

Запропоновано структурований організаційно-технологічний інструментарій, що складається з п'яти послідовних етапів: 1) безпековий аудит та розмінування; 2) технічний "тріаж" та протиаварійні роботи; 3) пріоритезація та планування (за принципом "Build Back Better"); 4) активна фаза реконструкції; 5) введення в експлуатацію та соціальна реінтеграція. Розроблено сітьову модель, що дозволяє визначати критичний шлях проєкту відновлення та виявляти резерви для скорочення загальної тривалості робіт.

Вперше розроблено комплексний інструментарій, який системно пов'язує організаційні етапи післявоєнної відбудови з конкретними технологічними рішеннями та методами оптимізації тривалості. На відміну від класичних підходів до управління будівельними проєктами, запропонована модель інтегрує специфічні фактори ризику, характерні для відновлення об'єктів після військових дій.

Застосування розробленого інструментарію дозволить органам державної влади та будівельним організаціям приймати обґрунтовані управлінські рішення, більш точно прогнозувати тривалість та вартість відбудови, оптимізувати розподіл обмежених ресурсів та підвищити ефективність проєктів реконструкції в умовах післявоєнного відновлення.

Ключові слова: *організаційно-технологічний інструментарій, відновлення об'єктів, військові дії, тривалість реконструкції, об'єкти реконструкції, сітьове моделювання, оптимізація.*

Вступ. Відновлення будівельних об'єктів, зруйнованих внаслідок військових дій, є завданням надзвичайної актуальності та складності. Воно вимагає

комплексного підходу, що поєднує організаційно-технологічні рішення, сучасну методологію управління та інноваційні цифрові технології. Правильно підібраний інструментарій дозволяє не лише скоротити тривалість робіт та забезпечити економічну ефективність, але і якісно оновити інфраструктуру за принципом "Відбудувати краще" (Build Back Better).

Аналіз останніх досліджень. Наявні підходи до управління будівельними проєктами, описані в науковій літературі [1-13], зосереджені на оптимізації рішень для досягнення мінімальних витрат часу та коштів в умовах ринкової невизначеності.

Однак ці класичні методи є недостатньо ефективними для післявоєнної відбудови через наявність унікальних ризиків:

- **Заміновані території.** Цей ризик змінює початковий етап проєкту, вимагаючи спеціалізованих безпекових аудитів та робіт з розмінування.

- **Логістичні збої.** Руйнування інфраструктури унеможливорює стабільне постачання будівельних матеріалів і техніки.

- **Непередбачуваність фінансування.** Залежність від багатьох джерел (державний бюджет, міжнародна допомога, репарації) створює високу невизначеність у надходженні коштів.

Таким чином, стандартний інструментарій [1-4, 8-13] потребує суттєвої адаптації для умов, де головними факторами стають фізична безпека, зруйнована логістика та стохастичний характер фінансування.

Мета статті – розробка та обґрунтування комплексного організаційно-технологічного інструментарію (Концепції), спрямованого на скорочення загальної тривалості відновлення пошкоджених об'єктів шляхом застосування методів сітьового моделювання та впровадження інноваційних технологій.

Об'єкт дослідження - процес організації та управління відновленням будівельних об'єктів (житлових будинків, шкіл, критичної інфраструктури), що зазнали пошкоджень та руйнувань внаслідок військових дій.

Предмет дослідження – моделі та організаційно-технологічні рішення, що складають інструментарій для аналізу, планування та оптимізації тривалості проєктів післявоєнного відновлення та реконструкції.

Основна частина. Комплексний підхід, що поєднує організаційно-технологічні рішення, сучасну методологію управління та інноваційні технології, є ключовим для успішної реконструкції та відновлення будівельних об'єктів. Ця синергія дозволяє не просто відремонтувати будівлю, а і реконструювати її, підвищити її функціональність, безпеку та енергоефективність. Організаційно-технологічні рішення це основа будь-якого будівельного проєкту, що визначає "як" і "в якій послідовності" будуть виконуватися роботи. Для реконструкції це особливо важливо через непередбачуваність, пов'язану з існуючими конструкціями [8, 11, 13].

Ключові етапи:

1. *Детальне технічне обстеження.* Перший і найважливіший крок. Використання сучасних методів, таких як лазерне сканування та неруйнівний контроль, дозволяє створити точну цифрову модель існуючої будівлі (as-built model) та виявити приховані дефекти.

2. *Проектно-технологічна документація (ПТД):* Розробка чітких проєктів виконання робіт (ПВР) та технологічних карт, що враховують специфіку робіт в умовах діючого об'єкта або щільної міської забудови.

3. *Потокові методи організації робіт*: Оптимізація послідовності операцій для мінімізації простоїв та забезпечення безперервності процесу.

Ефективне управління об'єднує всі процеси в єдину систему, забезпечуючи контроль над термінами, бюджетом та якістю.

Методологія Lean Construction (Ощадливе будівництво) спрямована на максимальне усунення втрат (часу, матеріалів, ресурсів). Основні інструменти – це система "Last Planner", що покращує планування, та принципи "Just-in-Time" для постачання матеріалів.

Комплексна реалізація проєкту Integrated Project Delivery (IPD), що передбачає тісну співпрацю замовника, генпроектувальника та генпідрядника на передпроектній стадії і до моменту введення об'єкта в експлуатацію. Це сприяє ухваленню більш виважених рішень та зменшує кількість конфліктів. Принципи реалізації складного будівельного проєкту закріплюються в спеціальних договірних відносинах між усіма учасниками будівництва [1-4, 9-13].

Впровадження нових технологій напругу впливає на швидкість, точність та безпеку робіт [11].

Таким чином, поєднання ретельного планування (організаційно-технологічні рішення), прозорого та гнучкого управління (сучасні методології) та передових інструментів (інноваційні технології) перетворює реконструкцію з на якісне оновлення об'єкта. Такий підхід не лише скорочує терміни та оптимізує витрати, але й створює сучасний, безпечний та довговічний простір, готовий до викликів майбутнього.

Структура організаційно-технологічного інструментарію реконструкції об'єктів (рис. 1) показує, як три основні блоки – Управління, Організація та Технології – взаємодіють для досягнення головних цілей проєкту – Ефективності, Якості та Безпеки.

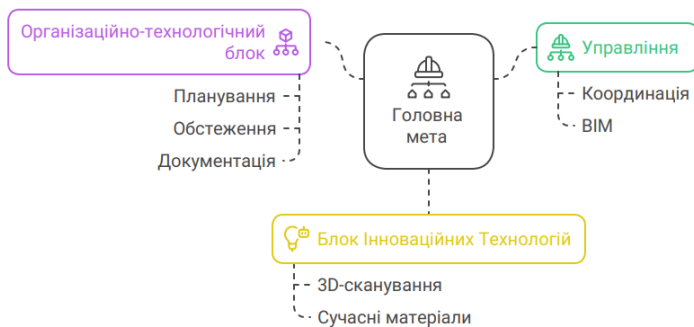


Рис. 1. Структура організаційно-технологічного інструментарію реконструкції об'єктів

Порівняння ключових елементів проєкту реконструкції представлено на рис. 2. Пояснення схеми:

Головна мета – вгорі знаходяться ключові цілі будь-якого проєкту з реконструкції. Це не просто виконання робіт, а досягнення конкретних показників

ефективності (дотримання бюджету та термінів), якості (надійність та довговічність) і безпеки (як під час робіт, так і в подальшій експлуатації).



Рис. 2. Порівняння ключових елементів проекту реконструкції

Блок Управління (📁): Відповідає на питання "Хто і як керує?". Це методологічна основа, що забезпечує координацію всіх учасників та процесів. BIM тут виступає як центральна інформаційна платформа.

Організаційно-технологічний блок (@!): Відповідає на питання "Що і в якій послідовності робити?" Це практична реалізація проекту, що включає детальне планування, обстеження та всю необхідну документацію (ПВР, технологічні карти).

Блок Інноваційних Технологій (💡): Відповідає на питання "За допомогою чого?". Це набір сучасних інструментів, матеріалів та рішень, які дозволяють виконувати роботи швидше, точніше та з кращою якістю.

Взаємозв'язок: Стрілки показують, що кожен блок інструментарію безпосередньо впливає на досягнення кінцевих цілей. Наприклад, використання 3D-сканування (технологія) спрощує створення проєктної документації (організація), що, у свою чергу, дозволяє точніше керувати бюджетом через BIM-модель (управління) і в результаті підвищує загальну ефективність.

Ця схема демонструє, що успішна реконструкція є результатом синергії між правильним управлінням, чіткою організацією та застосуванням сучасних технологій.

Проведені дослідження дозволять сформулювати підходи до цифрового та організаційно-технологічного інструментарію для управління циклом будівельних проєктів відбудови через Концепцію організаційно-технологічного інструментарію відбудови. Для цього представимо повний цикл управління проєктом відбудови (рис. 3).

1. Концепція організаційно-технологічного інструментарію відбудови, як запропонований інструментарій, – це комплексна система управління, адаптована до умов масштабних руйнувань, що базується на трьох ключових принципах:

1. Безпека передусім. Абсолютний пріоритет віддається розмінуванню, розчищенню територій та стабілізації небезпечних конструкцій.



Рис. 3. Повний цикл управління проектом відбудови

2. **"Відбудувати краще" (Build Back Better).** Мета полягає не в простому відтворенні зруйнованого, а в модернізації об'єктів — підвищенні їхньої енергоефективності, безпеки, інклюзії та функціональності.

3. **Людиноцентричність.** Процеси планування та пріоритетизації відбуваються із залученням громади для відповідності реальним потребам людей.

Процес відновлення структурований у п'ять послідовних етапів, на кожному з яких застосовуються відповідні організаційно-технологічні та цифрові рішення.

Алгоритм управління циклом проекту відбудови представлено на рис. 4.



Рис.4. Алгоритм управління циклом проекту відбудови

Поступова організація робіт:

● **Етап 0: Безпека та Доступ.** Основні задачі – розмінування та первинна оцінка ризику обвалів.

● **Етап 1: Оцінка та Невідкладні дії.** Проводиться "будівельний тріаж" – швидка класифікація пошкоджень. Виконуються протиаварійні роботи для стабілізації будівель та демонтаж небезпечних руїн.

○ *Технології: Дрони та 3D-лазерні сканери* для швидкого та безпечного створення цифрових моделей руйнувань.

● **Етап 2: Планування та Пріоритезація.** Визначається черговість відбудови (спочатку критична інфраструктура, потім житло). Розробляються проєкти реконструкції.

○ *Технології: Геоінформаційні системи (ГІС)* для картографування збитків; **ВІМ-моделювання** для комплексного планування та точного розрахунку ресурсів.

● **Етап 3: Реконструкція.** Залучення фінансування, закупівлі та безпосередньо будівельно-монтажні роботи.

○ *Технології: Модульні та збірні конструкції* для прискорення робіт; сучасні енергоефективні та довговічні матеріали.

● **Етап 4: Завершення та Реінтеграція.** Введення об'єкта в експлуатацію та його повернення у використання громадою.

2. Моделювання тривалості процесу відновлення

Для оптимізації тривалості проєкту в умовах значної невизначеності обґрунтовано використання методів сітьового моделювання (CPM та PERT). Вони дозволяють структурувати складність проєкту, визначити **критичний шлях** (найдовшу послідовність робіт, що визначає мінімальну тривалість) та управляти ризиками за допомогою імовірнісних оцінок.

Таким чином, стандартний інструментарій, розрахований на економічну динамічність ринку, потребує суттєвої адаптації для умов, де головними факторами стають фізична безпека, зруйнована логістика та стохастичний характер фінансування.

Для моделювання тривалості процесу відновлення об'єктів після військових дій, особливо в умовах значної невизначеності, необхідно застосовувати методи, що дозволяють структурувати складні процеси та оптимізувати їх виконання.

Обґрунтування вибору методів сітьового моделювання

Вибір методів сітьового моделювання, таких як метод критичного шляху (CPM) та метод оцінки та аналізу проєктів (PERT), є обґрунтованим для завдань післявоєнної відбудови з кількох ключових причин:

● **Структурування складності.** Процес відновлення є багоступовим проєктом з великою кількістю взаємопов'язаних робіт. Сітьові моделі дозволяють візуалізувати цю складну структуру, чітко визначити послідовність операцій та їх залежності, що є критично важливим для уникнення хаосу та простоті.

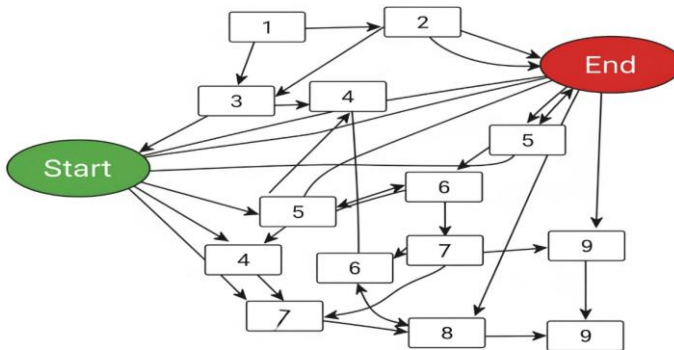
● **Визначення критичного шляху.** Моделювання дозволяє ідентифікувати **критичний шлях** — найдовшу послідовність робіт, яка визначає мінімально можливу загальну тривалість проєкту. Це дає змогу керівникам проєктів сконцентрувати ресурси та увагу саме на тих завданнях, затримка яких безпосередньо вплине на фінальні терміни.

- **Управління невизначеністю.** Метод PERT спеціально розроблений для умов, де тривалість окремих робіт неможливо визначити точно. Використовуючи три часові оцінки (оптимістичну, найбільш імовірну та песимістичну), він дозволяє розрахувати очікувану тривалість та ймовірність завершення проєкту в заданий термін, що є вкрай актуальним для непередбачуваного середовища післявоєнної відбудови.

- **Оптимізація ресурсів.** Сітвові моделі є основою для ефективного розподілу обмежених ресурсів (робочої сили, техніки, фінансів). Вони дозволяють аналізувати, як перерозподіл ресурсів з некритичних робіт на критичні може скоротити загальну тривалість проєкту.

Побудова узагальненої сіткової моделі (графа робіт)

Узагальнена сіткова модель для процесу відновлення об'єкта відображає послідовність та взаємозв'язок основних етапів та робіт. Кожен вузол графа представляє ключову подію (завершення етапу), а стрілки – роботи, що мають певну тривалість.



2. Підписи для сіткового графіка

- Start ● → Старт
- 1. Розмінування та оцінка безпеки
- 2. Протипаварійні та стабілізаційні роботи
- 3. Детальне технічне обстеження (ДТО)
- 4. Розробка проєкту відбудови ("Build Back Better")
- 5. Залучення фінансування
- 6. Отримання дозволів та закупівлі
- 7. Основні будівельні роботи
- 8. Введення об'єкта в експлуатацію
- 9. Соціальна реінтеграція об'єкта
- End ● → Фініш

Опис моделі:

- **Послідовні етапи:** Роботи на етапах "Безпека та Оцінка" та "Планування" виконуються суворо послідовно, оскільки кожен наступний крок залежить від результатів попереднього.

- **Паралельні роботи:** На етапі 3 ("Реконструкція") деякі процеси, як-от залучення фінансування та отримання дозволів, можуть виконуватися

паралельно. **Основні будівельні роботи (М)** можуть розпочатися лише після завершення **закупівлі матеріалів (К)** та **підготовчих робіт (L)**.

- **Критичний шлях** у такій моделі, ймовірно, пройде через усі основні роботи, оскільки вони мають найменший резерв часу.

Формалізація задачі оптимізації

Задачу оптимізації тривалості проєкту відновлення можна формалізувати наступним чином.

Узагальнена сітьова модель (граф робіт) відображає послідовність основних етапів.

Критерієм оптимізації є мінімізація загальної тривалості проєкту (Т), яка дорівнює довжині критичного шляху:

$$T = TK_{III} \rightarrow \min \quad (1)$$

де Т – тривалість проєкту; TK_{III} – тривалість критичного шляху.

Обмеження:

1. Ресурси (R): Кількість залучених ресурсів у будь-який момент часу t не повинна перевищувати наявну.

$$i \in A(t) \sum r_i, \quad (2)$$

$$k \leq R_k(t) \quad (3)$$

де $\sum$ (Сигма) – це знак суми. Він означає, що потрібно скласти всі значення, які йдуть після нього; $i \in A(t)$ – це умова підсумовування. Вона читається так: "для кожної роботи i , що входить до множини $A(t)$ "; t – конкретний момент часу (наприклад, сьогоднішній день); $A(t)$ – це множина всіх робіт, які активно виконуються в момент часу t ; i – це окрема робота або завдання з цієї множини (наприклад, монтаж вікон); $r_{i,k}$ – це кількість ресурсу k -го типу, необхідна для виконання роботи i ; k – це тип ресурсу (наприклад, $k=1$ – це робітники, $k=2$ – це вантажівки, $k=3$ – це цемент); $R_k(t)$ – це загальна кількість ресурсу k -го типу, яка є у вас в наявності в момент часу t .

Ця формула гарантує, що ви не використовуєте більше ресурсів, ніж у вас є в наявності.

Простими словами – сума всіх робітників (ресурс k), залучених до всіх активних робіт ($A(t)$) в даний момент (t), не може бути більшою за загальну кількість робітників ($R_k(t)$), яка є у вас в розпорядженні.

2. Фінансування (F): Сукупна вартість робіт не може перевищувати обсяг виділених коштів.

$$i \in A(t) \sum C_i \leq F(t) \quad (4)$$

де $\sum$ та $i \in A(t)$ – мають те ж значення, що й у попередній формулі: "сума для всіх активних робіт у період t "; C_i – це вартість виконання конкретної роботи i ; $F(t)$ – це загальний обсяг фінансування (бюджет), доступний на період t

Загальна вартість усіх робіт, які виконуються в певний період (наприклад, цього місяця), не повинна перевищувати бюджет, виділений на цей місяць. Ця формула забезпечує дотримання бюджету.

3. Безпека (S): Роботи виконуються лише за умови дотримання необхідного рівня безпеки.

$$S_{actual} \geq S_{req} \quad (5)$$

де S_{actual} — це фактичний (actual) рівень безпеки на об'єкті, визначений за результатами перевірки чи аудиту; S_{req} — це необхідний (required) рівень безпеки,

встановлений нормами, стандартами або правилами проекту; $\geq$ — більше або дорівнює.

Роботи можна виконувати лише тоді, коли фактичний рівень безпеки на майданчику відповідає мінімально допустимим вимогам або перевищує їх.

Ця формула гарантує, що роботи ведуться тільки за безпечних умов.

4. Логічне обмеження ("так/ні") є унікальним для проєктів відбудови і може зупинити виконання робіт на невизначений термін.

5. Безпечові обмеження можуть суттєво вплинути на тривалість проєкту і мають найвищий пріоритет при плануванні.

Модель наочно демонструє, що цілеспрямоване впровадження сучасних технологій на етапах критичного шляху дозволяє суттєво і прогнозовано скоротити загальну тривалість відновлення об'єкта.

Висновки

1. Розроблено комплексний організаційно-технологічний інструментарій для післявоєнної відбудови, що системно поєднує п'ятиетапну модель організації робіт з сучасними цифровими технологіями та принципами "Build Back Better".

2. Запропоновано сітьову модель для аналізу та оптимізації тривалості проєктів відновлення, яка враховує специфічні ризики (безпечові, логістичні, фінансові), характерні для післявоєнних умов.

Напрямки подальших досліджень включають інтеграцію в модель економічних показників для оптимізації не лише термінів, а і вартості, а також розробку програмного забезпечення для автоматизації розрахунків та сценарного моделювання.

Список літератури:

1. Данкевич Н.О. Підвищення ефективності організаційних рішень у складі проєкту організації будівництва. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2019. № 16. С. 38–43.

2. Данкевич Н.О. Визначення оптимальних фінансово-часових параметрів будівельного проєкту при оцінці тендерної пропозиції. *Eurasian scientific congress: abstracts of the 4th International scientific and practical conference*. Barcelona: Barca Academy Publishing, 2020. Р. 136–140.

3. Данкевич Н.О. Теоретичні аспекти системи управління будівельною організацією в умовах нестійкого ринку. *Public communication in science. Philosophical, cultural, political, economic and it context*. 2020. Р. 109–112.

4. Млодецький В.Р., Ценацевич Т.О. Обґрунтування раціонального рівня організаційно-технологічної надійності у будівельних проєктах. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 9. С. 47–54.

5. Радкевич А.В., Арутюнян Г.А., Данкевич Н.О. Аналіз методів і моделей при обґрунтуванні організаційно-технологічних рішень будівництва об'єктів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2017. № 11. С. 74–80.

6. Радкевич А.В., Данкевич Н.О. Вибір ефективного варіанту організаційно-технологічних рішень будівельного проєкту. *Вісник ХНАМГ «Комунальне господарство міст»*. Серія: Технічні науки та архітектура. 2011. Вип. 101. С. 97–103.

7. Радкевич А.В., Павлов І.Д., Данкевич Н.О. Огляд сучасних методів і методик оцінки впливу організаційно-технологічних рішень на будівельне виробництво. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування*

ринкових відносин. 2018. С. 3–10.

8. Тугай О.А. Система адаптації організації будівництва до євростандартів: автореф. дис. ... д-ра техн. Наук: 05.23.08. Харків, 2008.

9. Організація будівництва: підручник / за ред. С. А. Ушацького. Київ: Кондор, 2007. 521 с.

10. Савйовський В.В. Реконструкція будівель та споруд: навч. посіб. – Київ: Ліра-К, 2018. – 320 с.

11. Bushuyev S., Babayev J., Bushuiev D., Kozyr B (2020). Emotional Infection of Management Innovation INNOVATION Government Projects. *IEEE European technology & engineering management summit*. P. 53-58.

12. Bushuyev, S., Kozyr, B., Zapryvoda, A. (2019), "Nonlinear strategic management of infrastructure programs", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 14–23.

13. Тугай О.А., Малихін М.О., Грабчак Д.В. Розроблення моделей комплексної організаційної підготовки території зосередженого будівництва на основі ГІС-технології. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 40. С. 134–139; dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11969073

Valerii OLIINYK, Vladyslav ZHELEZNIAK

Approach to forming digital and organizational and technological tools for cycle management of construction reconstruction projects

Development and justification of organizational and technological tools aimed at reducing the duration of restoration of reconstruction facilities that have been destroyed as a result of military operations. The goal is to create a comprehensive model that integrates the stages of work from damage assessment to commissioning, taking into account specific risks and limitations.

The study is based on systems analysis methods for the decomposition of a complex reconstruction task. Network modeling methods (CPM, PERT) and graph theory are used to optimize the duration and resource planning. Simulation modeling is used to assess the effectiveness of various restoration scenarios, which allows taking into account the stochastic nature of external factors (safety, supply, financing).

A structured organizational and technological tool is proposed, consisting of five consecutive stages: 1) security audit and demining; 2) technical "triage" and emergency operations; 3) prioritization and planning (according to the "Build Back Better" principle); 4) active phase of reconstruction; 5) commissioning and social reintegration. A network model has been developed that allows determining the critical path of a restoration project and identifying reserves for reducing the total duration of work.

For the first time, a comprehensive toolkit has been developed that systematically links the organizational stages of post-war reconstruction with specific technological solutions and methods for optimizing duration. Unlike classical approaches to construction project management, the proposed model integrates specific risk factors characteristic of the restoration of facilities after military operations.

The use of the developed toolkit will allow state authorities and construction organizations to make informed management decisions, more accurately predict the duration and cost of reconstruction, optimize the allocation of limited resources, and increase the efficiency of reconstruction projects in post-war reconstruction.

Keywords: *organizational and technological toolkit, restoration of facilities, military operations, reconstruction duration, reconstruction facilities, network modeling, optimization.*