

НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

науково-технічний журнал



№ 46/2025



Представлено обрані залізобетонні ребристі плит покриті цілком карбуванням перерізу додатковими залізобетонними шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді дилатувальної затиски с. 3

Проблематика модернізації багатопверхової житлової забудови: пошук альтернативних шляхів та підручних для можливостей с. 38

Організація будівельного виробництва та будівельного комплексу будівель комерційного призначення с. 40



Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 2604 від 29.08.2024. Ідентифікатор медіа: R30-04499

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Балицького» (просп. Лобановського, буд. 51, м. Київ, 03110, e-mail: ndibv_post@ukr.net, Ruthen64@ukr.net).

Внесено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі технічних наук зі спеціальностей G17 «Архітектура та містобудування», G19 «Будівництво та цивільна інженерія» на підставі Наказу МОН України від 17.03.2020 р. № 409 та С1 «Економіка», D3 «Менеджмент», D6 «Секретарська та офісна справа» на підставі Наказу МОН України від 02.07.2020 р. № 886.

Науково-технічний журнал заснований у січні 2001 року.

Видається Науково-дослідним інститутом будівельного виробництва імені В.С. Балицького два рази на рік.

Мови видання: українська, англійська.

Для співробітників науково-дослідних та проектних інститутів, спеціалістів будівельних організацій, викладачів і студентів вищих навчальних закладів.

Редакційна колегія:

Григоровський П. Є., головний редактор, д.т.н., с.н.с.;

Басанський В. О., заступник головного редактора, к.т.н.;

Барабаш М. С., д.т.н., с.н.с.;

Белєнкова О. Ю., к.е.н., доцент;

Шумаков І. В., д.т.н. професор;

Данченко Ю. М., к.т.н., проф.;

Менейлюк О. І., д.т.н., проф.;

Радкевич А. В., д.т.н., проф.;

Рижакова Г. М., д.е.н., проф.;

Стеценко С. П., д.е.н., проф.;

Тугай О. А., д.т.н., проф.;

Вахович І. В., к.е.н.

Зарубіжні члени редколегії:

Дзвігол Хенрік, проф. Сілезька політехніка. Глівіце, Польща;

Котовіч Януш, проф. Сілезька політехніка. Глівіце, Польща;

Кузьор Олександра, проф. Сілезька політехніка. Глівіце, Польща.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща).

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату
за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

www.ntinbuilding.ndibv.org.ua; editor@ntinbuilding.ndibv.org.ua; тел. +38 (066) 642 61 92

Літературний редактор Н.В. Славогородська

Технічний редактор І.В. Азанова

Художнє оформлення А.С. Юдашкіна

Комп'ютерна верстка та графіка М.С. Михальченко

Затверджено до друку Вченою радою інституту, протокол № 1 від 07.05.2025 р.

Редакція не несе відповідальності за достовірність наведеної в статтях інформації

Адреса редколегії журналу:

03110, Київ, МСП, пр. В. Лобановського, 51

УДК 624.012.35:69.059.32:624.016

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2025.46.1>**Азізова А.Г.**

аспірантка кафедри будівництва та цивільної інженерії Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава
ORCID: 0000-0001-6282-5460

Овсій О.М.

провідний фахівець відділу аналізу інноваційної діяльності та інтелектуальної власності,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава
ORCID: 0000-0001-5833-4757

Овсій Д.М.

Ph.D, старший викладач кафедри будівництва та цивільної інженерії Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава
ORCID: 0000-0001-7007-1857

Стрюк Р.І.

аспірант кафедри будівництва та цивільної інженерії Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава
ORCID: 0009-0005-2674-8177

ПІДСИЛЕННЯ ЗБІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РЕБРИСТИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ШЛЯХОМ НАРОЩУВАННЯ ПЕРЕРІЗУ ДОДАТКОВИМИ ЗАЛІЗОБЕТОННИМ ШАРОМ В СТИСНУТІЙ ЗОНІ ТА АРМУВАННЯМ В РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ У ВИГЛЯДІ ШПРЕНГЕЛЬНОЇ ЗАТЯЖКИ

Анотація. При підсиленні балкових і плитних залізобетонних елементів шляхом нарощування перерізу одночасно в розтягнутій і стиснутій зонах виникають ряд труднощів, які пов'язані із визначенням в їх комбінованих перерізах оптимальних параметрів компонентів підсилення (розмірів перерізу при визначених характеристиках матеріалів), кількість яких становить $n \geq 3$. Визначення розмірів компонентів підсилення можливе лише при поетапному прийнятті величини одного із компонентів, що призводить до додаткових трудовитрат при розрахунку і безлічі рішень, які не завжди є технологічно і економічно ефективними. Викладено аналітичний метод послідовності розрахунку перерізів елементів армування при підсиленні збірних залізобетонних ребристих плит перекриттів шляхом одночасного нарощування їх перерізів в стиснутій і розтягнутій зонах, який дозволяє враховувати їх несучу здатність на згин і зріз: наявне армування перерізів в прогоні і на приопорних ділянках. Наведено послідовність розрахунку і проектування конструктивних елементів при підсиленні збірних залізобетонних ребристих плит перекриття марок ИП1-2 і ИП3-1 за серією ИИ24-1/70 розмірами у плані $5,6 \times 1,5$ м та $5,6 \times 0,75$ м, висотою перерізу $h=400$ мм шляхом нарощування їх перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки при реконструкції підвального приміщення в приміщення подвійного призначення під укриття IV-го класу, яке повинне сприймати квазістатичне еквівалентне навантаження величиною $\Delta P_{ex} = P_1 = 100$ кПа згідно вимог п. 14.1.2.2 ДБН В.2.2-5:2023 [1]. Запропонований методичний підхід з підсилення збірних залізобетонних ребристих плит може бути використаний при

розрахунку і проектуванні конструктивних елементів (компонентів) підсилення збірних залізобетонних багатопустотних плит та балкових елементів монолітних залізобетонних перекриттів будівель і споруд при їх реконструкції, ревіталізації чи відновленні при пошкодженні.

Ключові слова: збірні залізобетонні ребристі плити перекриття, підсилення шляхом нарощування перерізу одночасно в стисненій і розтягнутій зонах, додатковий армований шар набетонування згори, шпренгельна затяжка, методика розрахунку і проектування.

Постановка проблеми. При реконструкції, ревіталізації підвальних приміщень існуючих будівель і споруд під приміщення подвійного призначення для захисту людей при вимушеній евакуації під час виникнення зовнішньої небезпеки (загрози) необхідно виконати комплекс об'ємно-планувальних, конструктивних і організаційних заходів, одним із яких є підсилення збірних залізобетонних плит перекриття підвальної частини об'єктів. Типові перекриття підвальних приміщень існуючих виробничих будівель (споруд) улаштовані у більшості випадків із збірних залізобетонних ребристих плит і плоских плит суцільного перерізу чи перерізу із круглими чи іншої конфігурації пустотами залежно від призначення і конструктивного вирішення їх несучих системи (каркасної, безкаркасної, з неповним каркасом, комбінованої і ін.) та вертикальних конструктивних елементів категорії відповідальності А1, А і Б (стін цегляних, із збірних блоків чи із стінових панельних елементів; конструктивних елементів каркасу (неповної каркасної системи): колон (стійок) залізобетонних чи металевих із зовнішнім стіновим огороженням у вигляді стінових бетонних, залізобетонних панелей чи тришарових сандвіч-панелей; стовпів цегляних; залізобетонних ригелів таврового чи прямокутного перерізу). Згідно альбому II серії ТКП-73 (тема 525-1-72) перекриття підвальних приміщень виробничих будівель з повним несучим каркасом улаштовуються із збірних залізобетонних попередньо-напружених ребристих плит розмірами $5,6 \times 1,5$ м та $5,6 \times 0,75$ м, висотою перерізу $h=400$ мм (марок П1 і П2) та $h=600$ мм (марок П3 і П4), які виготовлені із важкого бетону марок М300 і М400. Плити перекриття марки П1 запроектовані на повні розрахункові навантаження $q=3,6$ т/м², марки П2 – на $q=6,5...7,65$ т/м², а марок П3 і П4 – на $q=7,5...20,0$ т/м². Плити перекриття марки П1 за розмірами і армуванням відповідають плитам марки ИП1-6 за серією ИИ24-1/70. Залізобетонні ребристі плити перекриття за серією

ИИ24-1/70 в існуючих виробничих будівлях (спорудах) з повним чи частковим несучим каркасом безпосередньо обпираються на полиці ригелів таврового перерізу і мають розміри $5,6 \times 1,5$ м та $5,6 \times 0,75$ м ($5,1 \times 1,5$ м та $5,1 \times 0,75$ м), висоту перерізу $h=400$ мм, виготовлені із важкого бетону марок М200 і М300. Плити перекриття марок ИП1, ИП2 за серією ИИ24-1/70 запроектовані на повні розрахункові навантаження на поздовжні ребра $q=1,2; 1,8; 2,4; 3,0; 3,6$ т/м², а марок ИП3 і ИП4 – на $q=1,33; 1,93; 2,53; 3,13; 3,73$ т/м², на полицю – $q=1,61; 2,21; 2,81; 3,41$ т/м².

Згідно положень пп. 6.4.1, 6.4.2 діючих норм ДБН Б В.3.1-2:2016 [2] підсилення залізобетонних балкових і плитних прогінних елементів виконується шляхом: збільшення перерізу за допомогою улаштування в стисненій, розтягнутій зонах і з боків в зоні зрізу залізобетонного шару нарощування, або залізобетонної «сорочки», які армують поздовжніми і похилими у вигляді відгинів стержнями; улаштуванням напружених шпренгельних затяжок; встановленням (підведенням) додаткових (розвантажувальних) сталевих балкових елементів із прокатних профілів у стиснутій і розтягнутій зонах при недостатній їх несучій здатності чи послабленні. При підсиленні залізобетонних ребристих плит перекриття виробничих будівель і споруд з повним чи неповним несучим каркасом, які виготовлені за серією ИИ24-1/70, виникають ряд труднощів, які безпосередньо пов'язані з їх конструктивним вирішенням, а саме: наявність опорного поперечного ребра на всю висоту плити, що не дозволяє виконати їх підсилення шляхом підведення під їх поздовжні і поперечні ребра балкових елементів із прокатних профілів і безпосередньо їх обпирання на полиці ригелів каркасу, яке найбільш широко застосовується при їх підсиленні. Для здійснення підсилення плит вище зазначеним способом необхідно додатково виконати роботи по улаштуванню ніш в опорному ребрі плит, що призведе до локального його руйну-

вання і збільшення додаткових витрат на їх підсилення. Тому необхідно розробити нові конструктивні рішення з підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття існуючих виробничих будівель (споруд) з повним чи неповним несучим каркасом, які будуть ефективні з технологічної і економічної точки зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковцями в роботах [3–6] був проведений детальний аналіз існуючих наукових досліджень з підсилення залізобетонних балок шляхом нарощування їх перерізу одним із способів при бетонуванні однієї, двох чи трьох бічних граней (див. рис. 1), тобто: тільки нижньої грані (розтягнутої зони перерізу) (рис. 1,б) чи верхньої грані (стиснутої зони перерізу) (рис. 1,а); тільки бокових граней (рис. 1,в); тільки бокових і нижньої граней (рис. 1,г).

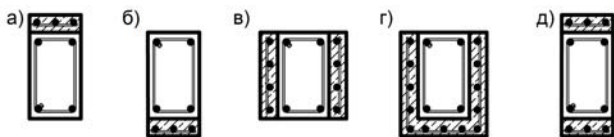


Рис. 1 Способи підсилення перерізу балкового залізобетонного елемента шляхом нарощування його перерізу додатковим шаром збоку однієї, двох чи трьох його граней: а) тільки збоку верхньої грані (стисненої зони перерізу); б) тільки збоку нижньої грані (розтягнутої зони перерізу); в) тільки збоку бічних граней перерізу; г) одночасно збоку трьох граней перерізу: нижньої і двох бічних; д) одночасно відносно верхньої і нижньої граней перерізу (в стиснутій і розтягнутій зонах)

В результаті аналізу проведених наукових досліджень [3–6] науковцями були обґрунтовані висновки щодо факторів впливу на міцність і тріщиностійкість залізобетонних балкових елементів, підсиленних шляхом нарощування різними способами їх перерізу, а саме:

- різні способи (конфігурації) з підсилення (модернізації) перерізів мають значний вплив на момент тріщиностійкості елементів порівняно з максимальним моментом у випадку їх зміцнення на вигин;

- співвідношення відстані від опори до зосередженого навантаження (a) і ефективної висоти перерізу елемента (d) (прогону зсуву $\lambda = a/d$) та товщина шару нарощування їх перерізу (додаткового підсилення шляхом

бетонування) (Δd) мають значний вплив на їх міцність на зсув та характер їх руйнування;

- різні методи зчеплення між шаром підсилення і перерізом елемента мають незначний вплив на їх міцність при зсуві, але позитивно впливають на їх міцність при згині;

- тристороннє підсилення перерізу елемента в порівнянні з іншими способами має вищий діапазон приросту міцності на вигин (максимум приросту міцності 81%–120%; підвищення тріщиностійкості на 300%–500%), так і на зсув (максимум приросту міцності 51%–80%; підвищення тріщиностійкості на 121%–180%).

З огляду літератури [3–6] було встановлено, що при наявності чисельних наукових робіт одночасному підсиленню залізобетонних балкових елементів шляхом нарощування їх перерізів у нижній і верхній зонах (див. рис. 1,д) присвячено недостатню кількість досліджень. Тому для широкого запровадження в практику проектування способу підсиленню залізобетонних елементів, що згинаються, шляхом одночасного нарощування перерізів в стисненій і розтягнутій зонах необхідно розробити методику їх розрахунку з визначення ефективних параметрів оптимального армування (величин коефіцієнтів армування перерізів елемента при згині і зрізі) і товщини шару нарощування (Δd) залежно від висоти перерізу елемента (d), його прогону (L) і існуючих величин армування залізобетонного елемента, що підсилюється на згин і зріз.

Авторами статті в тезах доповідей на наукових конференціях [7–11] також були проаналізовані переваги і недоліки різних варіантів і способів підсилення балкових і плитних залізобетонних прогонних елементів. При підсиленні залізобетонних елементів окремими способами за допомогою сталевих прокатних профілів їх перерізи стають сталезалізобетонними, багатошаровими, комбінованими, тому для широкого їх використання і запровадження в практику будівництва необхідні розробки відповідних нових ефективних методів їх розрахунку і проектування.

Мета роботи: розробка методики розрахунку і проектування конструктивного рішення з підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки.

Результати досліджень. Розрахунок і проектування конструктивних компонентів (елементів) підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки виконуємо в такій послідовності:

- визначення величин розрахункових навантажень; прийняття узагальненої розрахункової схеми та формування приведеного комбінованого розрахункового перерізу напружено-деформованого стану поздовжніх ребер збірних плит перекриття, що підсилюються, при забезпеченні умов міцності на згин (див. рис. 2 і рис. 3); визначення та внутрішніх зусиль в розрахункових комбінованих перерізах поздовжніх ребер і плитних ділянок збірних залізобетонних плит перекриття, що підсилюються;

- визначення площі перерізів армування горизонтального і похилого елементів шпренгельної затяжки при визначеній (заданій) товщині (d) додаткового залізобетонного шару набетонування збірних ребристих плит перекриття, що підсилені, при забезпеченні умов міцності на згин в розрахункових перерізах їх поздовжніх ребер;

- визначення зусилля зсуву між верхньою площиною збірної залізобетонної плити перекриття і нижньою площиною додаткового залізобетонного шару набетонування залежно

від випадку напружено-деформованого стану в її розрахунковому перерізі на згин;

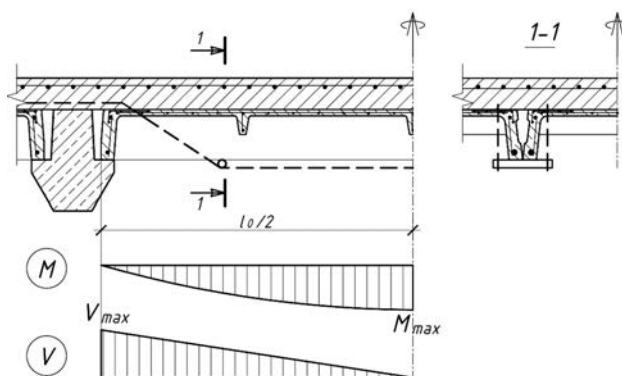


Рис. 2. Розрахункова схема поздовжніх ребер збірної залізобетонної плити перекриття, що підсилюється шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки та епюри внутрішніх зусиль при дії на них повного розрахункового навантаження

- визначення площі перерізів елементів армування плитних ділянок збірних ребристих плит перекриття, що підсилені;

- перевірка дотриманні вимог міцності на зріз в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних ребристих плит перекриття, що підсилені, та визначення площі перерізів еле-

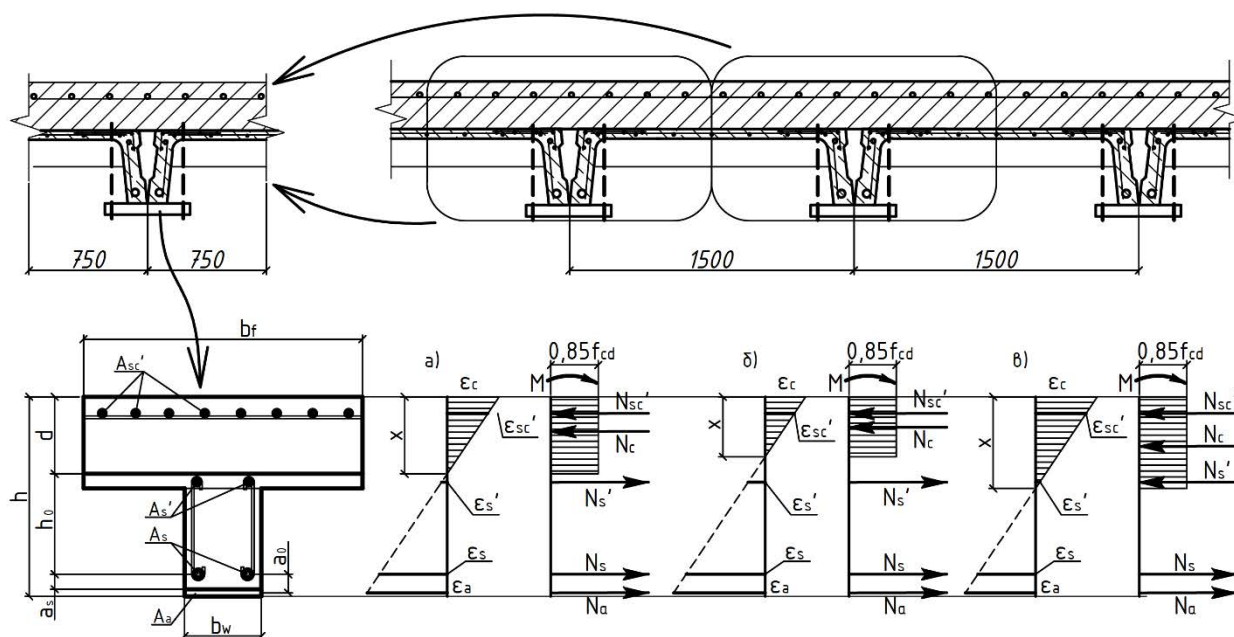


Рис. 3 Випадки напружено-деформованого стану приведеного комбінованого перерізу поздовжніх ребер збірних залізобетонних плит перекриття, що підсилюються шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки

ментів додаткового їх армування у разі недостатньої їх несучої здатності;

– конструювання компонентів (елементів) підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття.

Визначення площі перерізу армування горизонтального елементу шпренгельної затяжки при визначеній (заданій) товщині (d) додаткового залізобетонного шару набетонування збірних ребристих плит перекриття, що підсилені. Умова рівноваги при забезпеченні умов міцності на згин в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних плит перекриття, що підсилені одночасно нарощуванням стиснутої і розтягнутої зон перерізу, відносно рівнодіючої осі стисненої зони бетону буде мати вигляд:

$$M = f_s A_s \times (h_0 + d - 0,5x) + f_{sd} A_{sd} \times (h_0 + d \pm a_0 - 0,5x) + f'_s A'_s \times (0,5x - a_s). \quad (1)$$

де M – згинальний момент в розрахунковому перерізі збірної залізобетонної плити від дії зовнішніх навантажень;

d – товщина додаткового залізобетонного шару набетонування при підсиленні збірних ребристих плит шляхом нарощування їх перерізів;

h_0 – робоча висота перерізу збірної залізобетонної плити, що підсилюється;

f_s – розрахунковий опір на розтяг поздовжньої арматури відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу, якою армована нижня розтягнута зона поздовжніх ребер збірних плит перекриття;

f'_s – розрахунковий опір на стиск поздовжньої арматури відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу, якою армована верхня стиснута зона додаткового залізобетонного шару набетонування, яких здійснюється підсилення збірних плит перекриття;

f_{sd} – розрахунковий опір на розтяг горизонтального елементу шпренгельної затяжки відповідно норм [13];

a_0 – відстань між геометричними горизонтальними осями існуючої поздовжньої арматури і горизонтальним елементом шпренгельної затяжки (A_{sd}), яка приймається в рівнянні зі знаком «+» при $h_0 + a_0 \geq h_0$ та зі «-» знаком при $h_0 - a_0 < h_0$;

A_s – сумарна площа перерізу поздовжніх арматурних стержнів, які встановлені в розтягнутій зоні перерізу збірної залізобетонної плити, що підсилюється;

A_{sd} – сумарна площа перерізу поздовжніх горизонтальних елементів шпренгельної

затяжки (A_d), якими додатково здійснюється армування збірної залізобетонної плити, що підсилюється в розтягнутій зоні перерізу;

A'_s – сумарна площа перерізу поздовжніх арматурних стержнів, котрими здійснюється армування додаткового залізобетонного шару набетонування в стиснутій зоні перерізу збірної залізобетонної плити, що підсилюється;

x – висота стиснутої зони бетону в розрахунковому комбінованому перерізі на ділянці плити, що сприймає навантаження від згинального моменту (M), яка визначається за залежністю:

$$x = (f_s A_s + f_{sd} A_{sd} + f'_s A'_s) / (f_{ct} b), \quad (2)$$

де f_{ct} – розрахунковий опір на стиск важкого бетону відповідно п. 3.1 норм [12] залежно від його класу, із якого буде виготовлений (улаштований) додатковий залізобетонний шар набетонування при підсиленні збірної залізобетонної плити;

b – розрахункова ширина комбінованого перерізу підсилення збірної залізобетонної плитного чи балкового конструктивного елементу, яка при розрахунковому тавровому приведеному перерізі дорівнює $b = b_f$.

В умові рівноваги (1) невідомими є величини d, A_{sd}, x, A'_s , що ускладнює розрахунок оптимальних (ефективних) їх параметрів при визначених (заданих, прийнятих) величинах зовнішнього навантаження і міцносних характеристиках матеріалів плити і компонентів підсилення. Із рівняння рівноваги (1) при $A'_s = 0$ і прийнятті однієї із невідомих величин його складових: товщини додаткового залізобетонного шару набетонування (d) чи площі поперечного перерізу поздовжнього елементу шпренгельної затяжки (A_{sd}), шляхом перетворень можемо отримати наступні залежності, за допомогою яких можемо визначити одну із невідомих величин d чи A_{sd} :

$$A_{sd} = \frac{f_c b}{f_{sd}} \times (-2M + f_s A_s \times (h_0 + d - 0,5x_n) - (h_0 + d \pm a_0 - 0,5x_n) \times (1 \pm d \pm a_0 - 0,5x_n)); \quad (3)$$

$$d = \frac{M \pm f_{sd} A_{sd} \cdot a_0}{f_s A_s + f_{sd} A_{sd}} - h_0 - \frac{f_s A_s + f_{sd} A_{sd}}{2f_c b}, \quad (4)$$

де x_n – висота стиснутої зони бетону в розрахунковому комбінованому перерізі на ділянці плити, що сприймає навантаження від згинального моменту (M), при армуванні його тільки існуючими арматурними стержнями в розтягнутій зоні плити загальною площею A_s , яка визначається за залежністю:

$$x_n = (f_s A_s) / (f_c b). \quad (5)$$

Розрахунок величин d, A_{sd} відповідно за залежністю (3) чи (4) не завжди буде оптимальний (ефективний з економічної точки зору), тому що в окремих випадках при нарощуванні перерізу шляхом набетонування встановлення додаткового армування в розтягнутій зоні перерізу може бути непотрібне, бо буде достатньо вже існуючої в ній площі армування (A_s). Тому для удосконалення методики розрахунку компонентів підсилення був запропонований додатковий коефіцієнт (n), який буде враховувати відношення площ армування A_{sd} до A_s .

$$n = A_{sd} / A_s. \quad (6)$$

Величину коефіцієнта n визначаємо за залежностями (7)–(9):

$$0,5x_n \cdot n^2 + (h_0 + d \pm a_0 + x_n) \cdot n + (h_0 + d + 0,5x_n - \frac{M}{f_s A_s}) = 0; \quad (7)$$

$$D = (h_0 + d \pm a_0 + x_n)^2 - 4 \times 0,5x_n \times (h_0 + d + 0,5x_n - \frac{M}{f_s A_s}); \quad (8)$$

$$n_{1,2} = \frac{-(h_0 + d \pm a_0 + x_n) \pm \sqrt{D}}{x_n}. \quad (9)$$

При $n \leq 0$ підсилення залізобетонної балкового елемента одночасно шляхом нарощування перерізу в стиснутій і розтягнутій зонах непотрібне, буде достатньо виконати підсилення елемента тільки в стисненій його зоні шляхом улаштування додаткового залізобетонного шару набетонування.

При $n \leq 0$ площа перерізу поздовжнього елемента зтяжки буде становити:

$$A_{sd} = (n + 0,1) \times A_s. \quad (10)$$

Визначаємо величину необхідної площі армування (A'_s) залізобетонного шару набетонування в комбінованому перерізі плитного чи балкового елемента за умови рівноваги при забезпеченні умов міцності на згин відносно рівнодіючої вісі поздовжнього армування в його розтягнутій зоні:

$$A'_s = \frac{M - f_c b x \times (h_0 + d - 0,5x)}{f_s \times (h_0 + d - a')}; \quad (11)$$

При величині площі армування верхньої стиснутої зони менше нуля ($A'_s \leq 0$), армування виконуємо конструктивно. При $A'_s > 0$ виконуємо корегування величини площі перерізу поздовжнього елемента зтяжки з урахуванням величин розрахункових опорів на розтяг існуючих арматурних стержнів (f_s) і поздовжнього елемента шпренгельної зтяжки (f_{sd}), що проектується, за залежністю:

$$A_{sd} = f_s / f_{sd} \times (A_s \times (n + 0,1) + A'_s). \quad (12)$$

Виконуємо перевірку несучої здатності перерізу підсиленої плити при забезпеченні умови міцності на згин в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних плит перекриття, що підсилені, відносно рівнодіючої вісі стисненої зони бетону за залежністю:

$$M \leq f_s A_s \times (h_0 + d - 0,5x) + f_{sd} A_{sd} \times (h_0 + d \pm a_0 - 0,5x) + f_s A'_s \times (0,5x - a'_s), \quad (13)$$

Визначення площі перерізу армування похилого елемента шпренгельної зтяжки при визначенні площі її горизонтального елемента. Площу перерізу похилого елемента ($A_{s,inc}$) шпренгельної зтяжки визначаємо за залежністю з урахуванням кута (α) його нахилу до горизонтальної площини і величин розрахункових опорів на розтяг поздовжнього (f_{sd}) і похилого ($f_{s,inc}$) елементів шпренгельної зтяжки, що проектується:

$$A_{s,inc} = f_{sd} / f_{s,inc} \times A_{sd} / \cos \alpha, \quad (14)$$

де $f_{s,inc}$ – розрахунковий опір на розтяг похилої арматури (відгину) $A_{s,inc}$ відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу, яка є похилим елементом шпренгельної зтяжки і додатковим армуванням – ребра збірних плит перекриття, що підсилюються, на приопорних їх ділянках;

α – кут нахилу похилого елемента ($A_{s,inc}$) шпренгельної зтяжки відносно горизонтальної площини.

Визначення зусилля зсуву (V_{hv}) між верхньою площиною зірної залізобетонної плити перекриття і нижньою площиною додаткового залізобетонного шару надбетонування залежно від випадку напружено-деформованого стану (НДС) в її розрахунковому перерізі на згин. Величина сумарного зусилля зсуву (V_{hv}) буде становити:

$$V_{hv} = f_{c1} b_f x + f_s A'_s = f_s A_s + f_{sd} A_{sd}, \text{ при } x \leq d; \quad (15)$$

$$V_{hv} = f_{c1} b_f d + f_s A'_s < f_s A_s + f_{sd} A_{sd}, \text{ при } x > d; \quad (16)$$

Сумарне зусилля зсуву, яке виникає на межі стикування різних конструктивних компонентів у збірно-монолітних елементах, повинно бути менше міцності на зсув компонентів з'єднувальних елементів:

$$V_{hv} \leq P_{Rd}, \quad (17)$$

де P_{Rd} – несуча здатність на зсув різної конструктивної форми компонента з'єднувального елемента, яка визначається згідно норм [14].

Якщо умова (17) задовольняється, то виконують конструювання і розміщення компонентів з'єднувальних елементів по довжині стикування додаткового залізобетонного шару набетонування з полицею збірної залізобетонної ребристої плити залежно від його НДС в розрахунковому перерізі.

Визначення площі перерізів елементів армування плитних ділянок збірних ребристих плит перекриття, що підсилені. В граничному стані зусилля від дії опорних (M_{on}) і прогінних (M_{np}) моментів від зовнішнього навантаження сприймаються поздовжньою і поперечною арматурою, яка розташовується в розтягнутій зоні розрахункових комбінованих перерізів плитних ділянок збірних плит перекриття. Для визначення армування в перерізі додаткового шару набетонування задаємося величинами захисного шару бетону a_{s1} і a_{s2} відповідно від верхньої і нижньої його граней. Визначаємо площу перерізу армування A_{s1} на 1 м ширини плити у верхній зоні додаткового шару набетонування її розрахункового комбінованого перерізу від дії опорного згинального моменту:

$$A_{s1} = M_{on} / (z_1 \times f_{s1}), \quad (18)$$

де M_{on} – найбільший за величиною із згинальних моментів в опорних комбінованих перерізах плитних ділянок збірних ребристих плит;

f_{s1} – розрахунковий опір на розтяг поздовжньої арматури відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу;

z_1 – величина відстані від геометричної осі поздовжньої арматури A_{s1} до точки рівноваги в стиснутій зоні розрахункового комбінованого перерізу, яку визначаємо за формулою:

$$z_1 = 0,5t + d - a_{s1}, \quad (19)$$

де t – товщина полиці збірної залізобетонної плити перекриття;

a_{s2} – величина відстані від геометричної осі поздовжньої арматури у верхній зоні додаткового залізобетонного шару набетонування до його верхньої грані.

Визначаємо площу перерізу армування (A_{s2}) на 1 м ширини плити у нижній зоні додаткового шару набетонування її розрахункового комбінованого перерізу від дії прогінного згинального моменту:

$$A_{s2} = (M_{np} - f_{s3} \times A_{s3} \times z_1) / (z_2 \times f_{s2}), \quad (20)$$

де M_{np} – найбільший за величиною із згинальних моментів в прогінних комбінованих

перерізах плитних ділянок збірних ребристих плит;

f_{s2} – розрахунковий опір на розтяг поздовжньої арматури A_{s2} відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу;

A_{s3} – площа перерізу армування верхньої полиці збірної залізобетонної плити, що підсилюється, шириною $b=1$ м;

f_{s3} – розрахунковий опір на розтяг поздовжньої арматури A_{s3} відповідно п. 3.2 норм [12] залежно від її класу, якою армована верхня полиця збірної залізобетонної плити, що підсилюється, шириною $b=1$ м;

z_2 – величина відстані від геометричної осі поздовжньої арматури A_{s2} до точки рівноваги в стиснутій зоні розрахункового комбінованого перерізу, яку визначаємо за формулою:

$$z_2 = d - a_{s1} - a_{s2}, \quad (21)$$

де A_{s2} – величина відстані від геометричної осі поздовжньої арматури A_{s2} у нижній зоні додаткового залізобетонного шару набетонування до його нижньої грані.

Перевірка дотриманні вимог міцності на зріз в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних ребристих плит перекриття, що підсилені, та визначення площі перерізів елементів додаткового їх армування у разі недостатньої їх несучої здатності.

Міцність на зріз в розрахункових перерізах поздовжніх ребер збірних залізобетонних плит перекриття при дії максимального поперечного зусилля V_{max} буде задовольнятися при дотриманні умови:

$$V_{max} \leq V_c + V_{sw} + V_{s,inc}, \quad (22)$$

де V_{max} – максимальне поперечне зусилля, яке виникає в поздовжніх ребрах збірних плит перекриття на ділянках поблизу опор;

$V_c, V_{sw}, V_{s,inc}$ – поперечні внутрішні зусилля, які сприймаються відповідно бетоном, арматурними поперечними (вертикальними) і похилими (відгинами) стержнями, які визначаємо за наступними залежностями:

$$V_c = (1 + \varphi_f) \times 2\sqrt{f_{c2}} b_w h_0 + 2\sqrt{f_{c1}} b_f d; \quad (23)$$

$$V_{sw} = \frac{A_{sw1} f_{sw1} h_0}{s}; \quad (24)$$

$$V_{s,inc} = f_{s,inc} \times A_{s,inc} \times \sin \alpha, \quad (25)$$

де f_{c2} – розрахунковий опір на стиск важкого бетону відповідно п.3.1 норм [12] залежно від його класу, із якого виготовлена (улаштована) збірна залізобетонна плита, що підсилюється;

b_w – ширина ребра приведенного розрахункового комбінованого перерізу збірної плити перекриття, що підсилюється;

b_f – ширина полиці приведеного розрахункового комбінованого перерізу збірної плити перекриття, що підсилюється;

$A_{sw1}; s$ – площа перерізу (A_{sw1}) вертикальних (поперечних) стержнів (хомутів) і їх крок (s) на приопорних ділянках поздовжніх ребер збірних плит перекриття, що підсилюються;

f_{sw1} – розрахунковий опір на розтяг поперечної (вертикальної) арматури A_{sw1} відповідно п.3.2 норм [12] залежно від її класу, якою армоване поздовжнє ребро збірних плит перекриття, що підсилюються, на приопорних їх ділянках;

ϕ_f – коефіцієнт, який враховує вплив стиснених полиць в таврових елементах:

$$\phi_f = 0,75 - \frac{(b'_f - b_w) \times t}{b_w h_0} \leq 0,5,$$

$$\text{де} \quad b'_f \leq b_w + 3t. \quad (26)$$

Якщо умова (22) не задовольняється, то визначаємо необхідну величину площі додаткових поперечних (вертикальних) елементів (A_{sw2}), за допомогою яких буде забезпечуватися несуча здатність на зріз поздовжніх ребер плит перекриття, що підсилені на приопорних ділянках:

$$A_{sw2} = \frac{V_{\max} - V_c - V_{sw} - V_{s,inc}}{f_{sw2}}, \quad (27)$$

де f_{sw2} – розрахунковий опір на розтяг додаткового елемента поперечного (вертикального) армування A_{sw2} відповідно п. 3.2 норм [12] чи [13] залежно від її класу чи марки сталі.

Конструювання компонентів (елементів) підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття. Проектування конструктивних елементів підсилення було виконане для реконструкції перекриття підвального приміщення складської будівлі з неповним несучим каркасом (див. рис. 4) в приміщення подвійного призначення під укріття ІV-го класу, яке повинне сприймати квазістатичне еквівалентне навантаження величиною $\Delta P_{ex} = P_1 = 100$ кПа згідно вимог п. 14.1.2.2 ДБН В.2.2-5:2023 [1]. Перекриття підвалу улаштоване із збірних залізобетонних ребристих плит за серією ИИ24-1/70 розмірами у плані $L \times B = 5,6 \times 1,5$ м (марок ИП1-2...ИП1-6) та $L \times B = 5,6 \times 0,75$ м (марок ИП3-1...ИП3-5), висотою перерізу $h = 400$ мм та ригелів таврового перерізу. Товщина полиці плит становить $h_{\delta} = 50$ мм, висота поперечних ребер, які встановлені з кроком $s = 1,5$ м в прогоні плит марок

ИП1-2...ИП1-6, – $h_{\delta} = 200$ мм, а крайніх опорних поперечних ребер – $h_{\delta} = 400$ мм. Плити перекриття за серією ИИ24-1/70 виготовлені із бетону марок М200 і М300, армування поздовжніх ребер виконане із плоских арматурних каркасів, які улаштовані в розтягненій зоні – із арматурних стержнів діаметрами $\varnothing 18... \varnothing 28$ мм класу А-ІІІ (А400 С), в стисненій зоні – із арматурних стержнів діаметрами $\varnothing 8, \varnothing 10$ мм класу А-ІІІ (А400 С), поперечне армування на ділянках поблизу опор – із арматурних стержнів діаметрами $\varnothing 8$ і $\varnothing 10$ мм класу А-ІІІ (А400 С), які встановлені з кроком $s = 150$ мм. Армування полиць плит улаштоване плоскими сітками із арматурних стержнів $\varnothing 4$ і $\varnothing 5$ мм класу Вр-І, які встановлені з кроком $s = 200$ мм у поздовжньому і поперечному напрямках плит. В результаті інструментального обстеження неруйнівним методом була встановлена міцність бетону на стиск в плитах перекриття підвального приміщення, яка відповідає марці бетону М250 (клас бетону В20; С16/20; $f_{cd} = f_{c2} = 11,5$ МПа). Також в результаті інструментального обстеження була встановлена товщина захисного шару бетону ($t = 30$ мм) між нижньою площиною ребра плити і зовнішньою гранню нижнього поздовжнього арматурного стержня, який виготовлений діаметром $\varnothing 20$ мм, класу А-ІІІ ($A_s = 3,14$ см²), що відповідає марці плити ИП1-2, яка запроектована на розрахункове повне навантаження $q = 1,2$ т/м³, і встановлена величина між його поздовжньою віссю і нижньою площиною ребра плити: $a = 40$ мм, тоді робоча висота перерізу поздовжнього ребра при його армуванні в розтягненій зоні одним поздовжнім стержнем $\varnothing 20$ мм, класу А-ІІІ становить $h_0 = h - a - \varnothing / 2 = 360$ мм. Поперечне армування поздовжніх ребер плит марки ИП1-2 улаштоване із стержнів діаметром $\varnothing 8$ мм ($A_{sw} = 0,503$ см²) класу А-ІІІ (А400 С), які встановлені на приопорних ділянках з кроком $s = 150$ мм. Армування полиць плит перекриття марки ИП1-2 улаштоване плоскими сітками із арматурних стержнів $\varnothing 4$ мм класу Вр-І, які встановлені з кроком $s = 200$ мм у поздовжньому і поперечному напрямках плит.

Конструктивні компоненти (елементи) підсилення збірних залізобетонних плит перекриття шляхом нарощування їх перерізу улаштовані: додатковий залізобетонний шар набетонування товщиною $d = 300$ мм із бетону класу С25/30 (В30) $f_{cd} = f_{c1} = 17,0$ МПа, арму-

вання – із стержнів арматурної сталі класу А400С; горизонтальний елемент затяжки – із прокатного гарячекатаного фасонного і листового металу марки сталі С245; похилий елемент і додаткові вертикальні елементи шпренгельної затяжки – із прокату гарячекатаного круглого марки сталі С355.

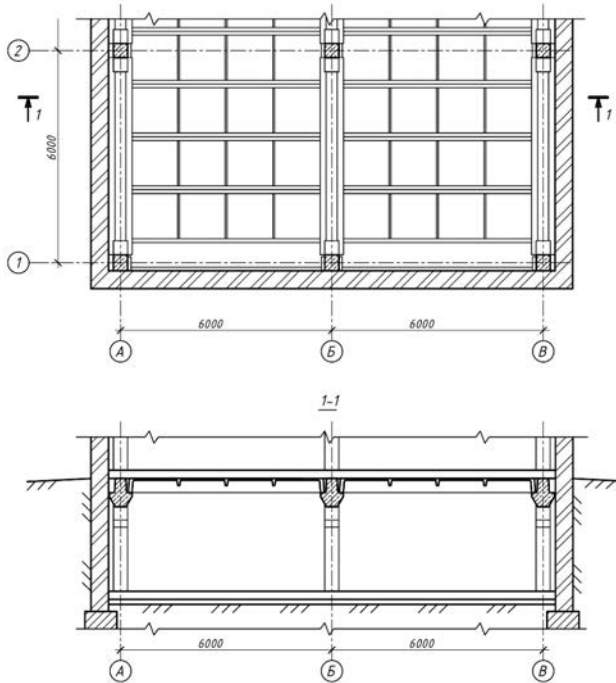


Рис. 4. Фрагмент плану перекриття будівлі (вигляд знизу) та її розріз на рівні підвального поверху

Розрахункове погонне навантаження на поздовжнє ребро плити становило:

$q = (q_n + p) \times B / 2 = (13,06 + 120) \times 15 / 2 = 99,795 \text{ кН / м}$
 де $q_n = 3,25 + 0,3 \times 25 \times 1,1 + 0,05 \times 24 \times 1,3 = 13,06 \text{ кПа}$
 постійне сумарне розрахункове навантаження від ваги: збірної ребристої плити перекриття на поздовжнє ребро $q_{nl} = 3,25 \text{ кН / м}^2$ за серією ИИ24-01/70; додаткового залізобетонного шару набетонування щільністю $\gamma_{зб} = 25 \text{ кН / м}^3$, мінімальною товщиною $d = 300 \text{ мм}$ (згідно вимог п. 14.2.3.4 норм [11]); конструкції мозаїчної бетонної підлоги з середньою щільністю $\gamma_n = 24 \text{ кН / м}^3$, товщиною $h_n \geq 50 \text{ мм}$; $p = P_1 \times k_0 = 100 \times 1,2 = 120 \text{ кПа}$ – розрахункове квазістатичного еквівалентного навантаження на 1 м^2 від дії надмірного тиску повітряної ударної хвилі згідно вимог п. 14.1.1.1 і даних табл. А1 в додатку А норм [1].

Визначаємо величини внутрішніх зусиль в розрахункових комбінованих перерізах поздовжнього ребра і плитних ділянках збірної залізобетонної плити перекриття, що під-

силюється, яка має розрахунковий прогін $l_0 = 5,55 \text{ м}$ (див. рис. 5):

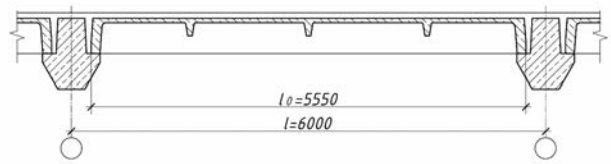


Рис. 5. Розрахунковий прогін збірної залізобетонної плити перекриття

$$M_{\max} = q \times l_0^2 / 8 = 99,795 \times 5,55^2 / 8 = 384,24 \text{ кНм}$$

$$V_{\max} = q \times l_0 / 2 = 99,795 \times 5,55 / 2 = 276,93 \text{ кНм}$$

$$M_{np} = \alpha \times q_{nl} \times l_1 \times l_2 = 0,0179 \times 131,185 \times 1,245 \times 1,25 = 3,654 \text{ кНм}$$

$$M_{on} = \beta \times q_{nl} \times l_1 \times l_2 = 0,0417 \times 131,185 \times 1,245 \times 1,25 = 8,513 \text{ кНм}$$

де $l_1 = 1,245 \text{ м}$ – розрахунковий прогін плитної ділянки збірної залізобетонної плити перекриття у поперечному її напрямку;

$l_2 = 1,25 \text{ м}$ – розрахунковий прогін плитної ділянки збірної залізобетонної плити перекриття у поздовжньому її напрямку;

α, β – емпіричні коефіцієнти, які враховують відношення сторін плитної ділянки збірної плити l_2 / l_1 і тип її обпирання, були прийняті для випадку защемлення її усіх чотирьох сторін, коли $l_2 / l_1 = 1$;

$q_{nl} = (0,05 + 0,3) \times 25 \times 1,1 + 0,05 \times 24 \times 1,3 + 100 \times 1,2 = 131,185 \text{ кПа}$ – сумарне повне розрахункове навантаження, яке діє на плитні ділянки збірних плит перекриття, що підсилюються.

В результаті розрахунків за вище викладеними залежностями (5–12), (14), (18–21) були отримані значення величин: коефіцієнта $n = 3,655$; площ горизонтального елемента затяжки $A_{sd} = 13,4 \text{ см}^2$ (при $f_s = 365 \text{ МПа}$), $A_{sd} = 22,64 \text{ см}^2$ (при $f_s = 216 \text{ МПа}$) і похилого елемента затяжки $A_{s,inc} = 19,0 \text{ см}^2$ (при $f_s = 365 \text{ МПа}$); площ армування верхньої зони додаткового залізобетонного шару набетонування у поздовжньому напрямку плити $A'_s = 1,6 \text{ см}^2$; площ армування верхньої і нижньої зон додаткового залізобетонного шару набетонування у поперечному напрямку плити відповідно $A_{s1} = 0,79 \text{ см}^2$, $A_{s2} < 0$ (армування комбінованого перерізу арматурою 5Ø4 мм, класу Вр-І плитної ділянки збірної плити перекриття марки ИП1-2 в її прогоні є достатнім).

Конструктивні рішення щодо проектування компонентів (елементів) комбінованих розрахункових перерізів при підсиленні поздовжніх ребер двох сумісних збірних залі-

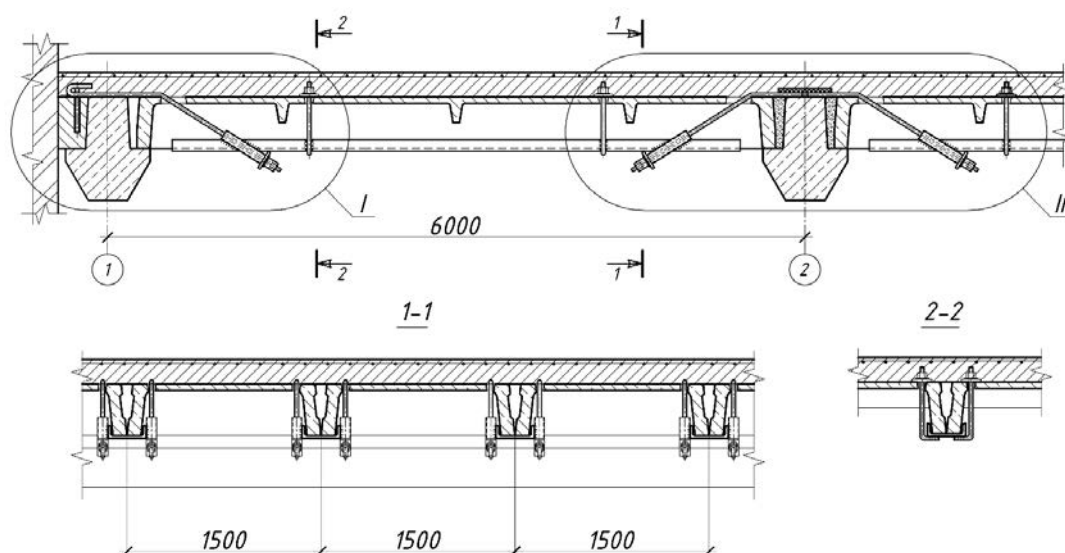


Рис. 6. Загальний вигляд конструктивного рішення підсилення збірних ребристих плит перекриття шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної зтяжки; вузли I і II приведені на рис. 7 і рис. 8

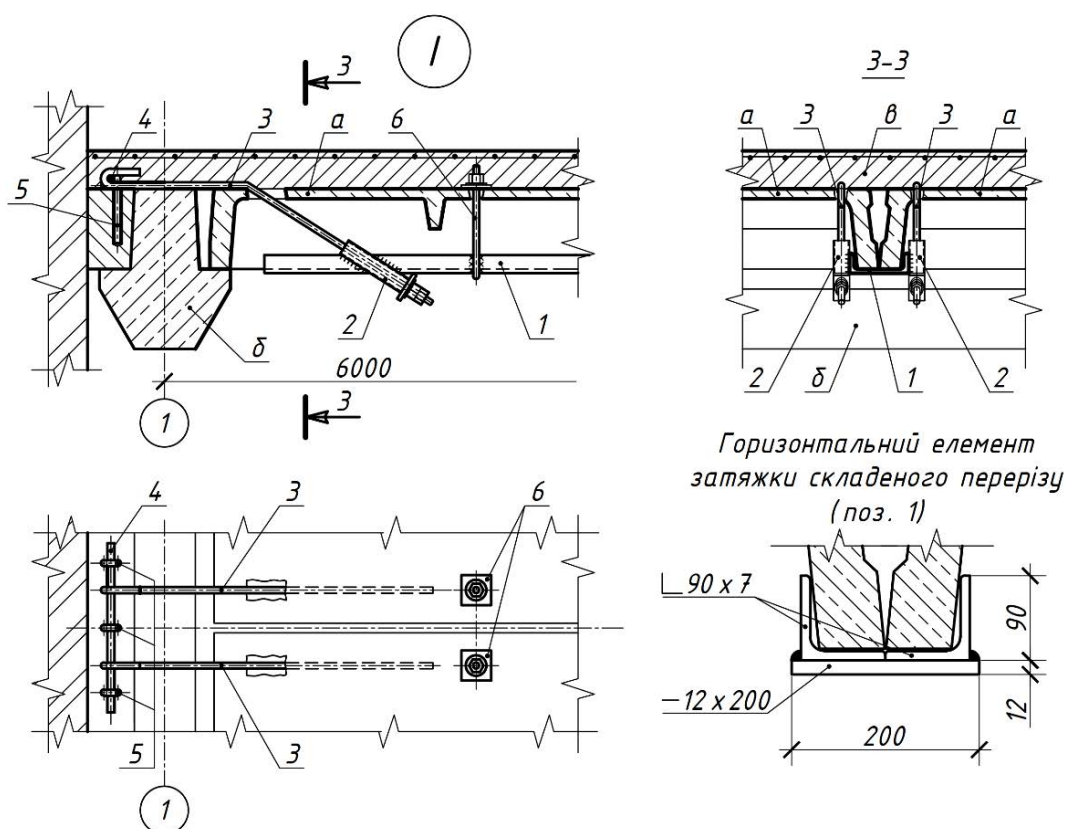


Рис. 7. Конструктивне рішення підсилення ребристих плит перекриття поблизу крайньої опори плит на збірні залізобетонні ригелі таврового перерізу: 1 – горизонтальний елемент зтяжки (швелер № 33 або складеного перерізу); 2 – вузол кріплення похилого елемента до горизонтального елемента зтяжки (труба 80x80x7 мм; полоса – 12x100x100 мм); 3 – похилий елемент зтяжки (стержень Ø56 мм); 4 – горизонтальний елемент кріплення похилих елементів зтяжки до анкерних елементів (стержень Ø32 мм); 5 – анкерний елемент кріплення зтяжки на крайній опорі перекриття; 6 – вертикальний Г-подібний елемент кріплення горизонтального елемента зтяжки (стержень Ø20 мм); а – існуюча ребриста плита перекриття; б – ригель; в – монолітний залізобетонний шар набетонування, що влаштовується зверху плити для її підсилення

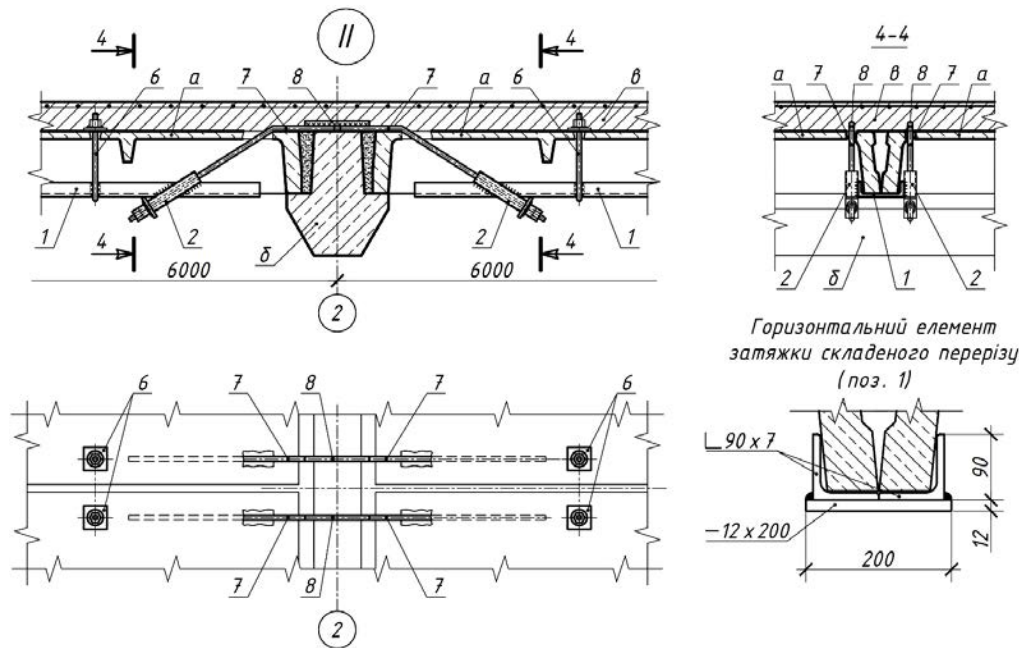


Рис. 8 Конструктивне рішення підсилення ребристих плит перекриття на проміжній опорі:
 1 – горизонтальний елемент зтяжки; 2 – вузол кріплення похилого елемента до горизонтального елемента зтяжки; 6 – вертикальний Г-подібний елемент кріплення горизонтального елемента зтяжки (стержень $\varnothing 20$ мм); 7 – похилий елемент зтяжки (стержень $\varnothing 56$ мм); 8 – елемент з'єднання похилих елементів зтяжки (стержень $\varnothing 56$ мм); а – існуюча ребриста плита перекриття; б – ригель; в – монолітний залізобетонний шар набетонування, що влаштовується зверху плити для її підсилення.

зобетонних плит перекриття підвального приміщення будівлі (див. рис. 6, рис. 7 і рис. 8): переріз горизонтального елемента зтяжки приймаємо із прокатного швелера № 33 ($A_a = 46,5 \text{ см}^2$) або складеного перерізу із двох кутиків $\angle 90 \times 90 \times 7$ мм і прокатної полоси перерізом $t \times b = 12 \times 200$ мм ($\Sigma A_a = 48,6 \text{ см}^2$), які з'єднуємо між собою по довжині у С-подібний профіль (див. рис. 7 і рис. 8); похилі елементи зтяжки приймаємо із одного стержня перерізом із прокату круглого діаметром $\varnothing 56$ ($A = 24,63 \text{ см}^2$) під метричну різьбу М56 (внутрішній діаметр $\varnothing 50,05$ мм, $A = 19,64 \text{ см}^2$) (див. рис. 7 і рис. 8) або двох стержнів діаметром $2\varnothing 42$ ($\Sigma A = 27,7 \text{ см}^2$) під метричну різьбу М42 (внутрішній діаметр $\varnothing 37,13$ мм, $\Sigma A = 10,8 \times 2 = 21,9 \text{ см}^2$). Для закріплення до верхньої полиці збірних плит горизонтального елемента зтяжки і фіксації його в проектному положенні додатково встановлюються вертикальні елементи, які улаштовують із прокату гарячекатаного круглого діаметром $\varnothing 20$ мм під метричну різьбу М20 (див. рис. 7 і рис. 8). Армування верхньої зони додаткового залізобетонного шару набетонування здійснюємо арматурною сіткою із стержнів діаметром $\varnothing 5$ мм, класу Вр-I, які встановлю-

ємо у поперечному напрямку плити з кроком $s=200$ мм ($5\varnothing 5$ мм на 1 м.п., $\Sigma A = 0,982 \text{ см}^2$) та в поздовжньому напрямку плити – з кроком $s=175$ мм ($9\varnothing 5$ мм на ширині плити $B=1$, $\Sigma A = 1,7 \text{ см}^2$). Армування нижньої зони додаткового залізобетонного шару набетонування здійснюємо конструктивно арматурною сіткою із стержнів діаметром $\varnothing 3$ мм, класу Вр-I, які встановлюємо у поперечному і поздовжньому напрямках плити з кроком $s=200$ мм.

Несуча здатність комбінованого перерізу збірної плити перекриття, яка підсилена шляхом нарощування перерізу, становить при перевірці умов (13) і (22): на згин – $M=436,98 \text{ кНм}$, що більше на 13,7% від $M_{\max} = 384,24 \text{ кНм}$; на зріз – $V=720,24 \text{ кН}$, що більше в 2,6 рази від $V_{\max} = 276,93 \text{ кН}$.

Висновки. Запропонована методика розрахунку і проектування конструктивного рішення з підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної зтяжки дозволяє: враховувати наявне армування поздовжніх ребер і плитних ділянок збірних плит; забезпечити міцність розрахункових перерізів підсилених збірних плит

перекриття на ділянках згину і зрізу; удосконалити технологічні рішення і послідовність монтажу (улаштування) з мінімальними витрати конструктивних елементів (компонентів) підси-

лення плит перекриття типу (марок) ІП1-ІП4 за серією ІІІІ24-1/70, які безпосередньо обпираються на збірні залізобетонні ригелі несучого каркасу будівель (споруд).

Література

1. ДБН В.2.2-5:2023 зі Зміною №1. Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний від 2023-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінінфраструктури України, 2023. 121 с.
2. ДБН Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2017. 72 с.
3. Flexural and Shear Strengthening of Reinforced-Concrete Beams with Ultra-High-Performance Concrete (UHPC) / F. B. Ahmed et al. *Construction Materials*. 2024. Vol. 4, no. 2. P. 468–492. URL: <https://doi.org/10.3390/constrmater4020025>
4. Abbas H. M., Kadhim M. M. A. Review of Behavior Flexural Strengthened RC Beams Using Ultra-High Performance Concrete. *Salud, Ciencia y Tecnología – Serie de Conferencias*. 2024. Vol. 3. P. 854. URL: <https://doi.org/10.56294/sctconf2024854>
5. Mand, K.A., Ali, F.H., Yaman, S.S.A., “Flexural and shear strengthening of reinforced concrete beams using FRP composites: a state of the art”, *Case Studies in Construction Materials*, v. 17, pp. e01189, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01189>
6. Askar M. K., Hassan A. F., Al-Kamaki Y. S. S. Flexural and shear strengthening of reinforced concrete beams using FRP composites: A state of the art. *Case Studies in Construction Materials*. 2022. P. e01189. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01189>
7. Азізова А.Г. Підсилення залізобетонних балок шляхом нарощування перерізу розтягнутої зони / А.Г. Азізова, Д.М. Овсій. Тези 76-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 14 травня – 23 травня 2024 р.). – Полтава: Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2024. – Т.1.– С. 194-195.
8. Аналіз факторів впливу на напружено-деформований стан залізобетонний балок, які підсилені шляхом нарощування поздовжньої арматури / А.Г. Азізова, Д.М. Овсій, О.М. Овсій. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті*: тези доповідей 10-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (20-22 листопада 2024 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2024. – С. 138-140.
9. Галінська Т.А. Підсилення збірних залізобетонних перекриттів приміщень сховищ в будівлях і спорудах закладів освіти / Т.А. Галінська, Д.М. Овсій, О.М. Овсій. Тези 75-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Том 1. (Полтава, 2-25 травня 2023 р.). – Полтава: НУПІ імені Юрія Кондратюка, 2023. – С. 187-189.
10. Галінська Т.А. Проектування оптимального (раціонального) армування сталезалізобетонних плитних і балкових елементів перекриттів для захисних споруд укриття / Т.А. Галінська, Д.М. Овсій. Тези IV-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції" (26-27 квітня 2023 року, м. Київ) – К.; КНУБА, 2023. – С. 73-74.
11. Галінська Т. Удосконалення методики розрахунку міцності на згин сталезалізобетонних балкових елементів / Т. Галінська, Д. Овсій. *Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану (CSCS-2022)*. Зб. наук. пр. за матеріалами XIV Міжнародної науково-технічної конференції. (Полтава, 20-22 червня 2022 р.). – Полтава: НУПІ імені Юрія Кондратюка, 2022. – С. 11-14.
12. ДБН В.2.6-98:2009 зі Зміною №1. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2020-06-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку та територій України, 2020. 71 с.
13. ДБН В.2.6-198:2014 зі Зміною №1. Сталеві конструкції. Норми проектування. [Чинний від 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінірегіон України, 2014. 205 с.
14. ДСТУ Б В.2.6-216:2016 Розрахунок і конструювання з'єднувальних елементів сталезалізобетонних конструкцій. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінірегіон України, 2016. 46 с.

References

1. Mininfrastruktury Ukrainy. (2023) DBN V.2.2-5:2023 zi Zminoio №1. Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu [Civil Protection Shelters].
2. DP «UkrNDNTs». (2016) DBN B V.3.1-2:2016 Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhuvalnykh budivelnnykh konstrukttsii ta osnov budivel i sporud. [Repair and Strengthening of Load-Bearing and Enclosing Building Structures and Foundations of Buildings and Structures].
3. Ahmed, F. B., Biswas, R. K., Sen, D., & Tasnim, S. (2024). Flexural and Shear Strengthening of Reinforced-Concrete Beams with Ultra-High-Performance Concrete (UHPC). *Construction Materials*, 4(2), 468–492. <https://doi.org/10.3390/constrmater4020025>
4. Abbas, H. M., & Kadhim, M. M. A. (2024). Review of Behavior Flexural Strengthened RC Beams Using Ultra-High Performance Concrete. *Salud, Ciencia y Tecnología – Serie de Conferencias*, 3, 854. <https://doi.org/10.56294/sctconf2024854>
5. Mand, K.A., Ali, F.H., Yaman, S.S.A., “Flexural and shear strengthening of reinforced concrete beams using FRP composites: a state of the art”, *Case Studies in Construction Materials*, v. 17, pp. e01189, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01189>
6. Askar, M. K., Hassan, A. F., & Al-Kamaki, Y. S. S. (2022). Flexural and shear strengthening of reinforced concrete beams using FRP composites: A state of the art. *Case Studies in Construction Materials*, Artykul e01189. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01189>
7. Azizova A. G., Ovsii D.M. (2024) Pidsylennia zalizobetonnykh balok shliakhom naroshchuvannia pererizu roztyahnutoi zony. [Strengthening of Reinforced Concrete Beams by Increasing the Cross-Section of the Tensioned Zone]. Tezy 76-yi naukovoï konferentsii profesoriv, vykladachiv, naukovykh pratsivnykiv, aspirantiv ta studentiv universytetu, 1, 194-195.
8. Azizova A.G., Ovsii D.M., Ovsii O.M. (2024) Analiz faktoriv vplyvu na napruzhenno-deformovanyi stan zalizobetonnyi balok, yaki pidsyleni shliakhom naroshchuvannia pozdovzhnoi armatury [Analysis of Factors Influencing the Stress-Strain State of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Longitudinal Reinforcement Enlargement]. Problemy nadinosti ta dovhovichnosti inzhenernykh sporud i budivel na zaliznychnomu transporti: tezy dopovidei 10-yi Mizhnar. nauk.-tekhn. konf, 138-140.
9. Galinska T.A., Ovsii D.M., Ovsii O.M. (2023) Pidsylennia zbirnykh zalizobetonnykh perekryttiv prymishchen skhovyshch v budivliakh i sporudakh zakladiv osvity [Strengthening of Prefabricated Reinforced Concrete Ceilings in Shelter Rooms of Educational Buildings]. Tezy 75-yi naukovoï konferentsii profesoriv, vykladachiv, naukovykh pratsivnykiv, aspirantiv ta studentiv Natsionalnoho universytetu «Poltavska politekhnika imeni Yurii Kondratiuka», 1, 187-189.
10. Galinska T.A., Ovsii D.M. (2023) Proektuvannia optymalnoho (ratsionalnoho) armuvannia stalezalizobetonnykh plytnykh i balkovykh elementiv perekryttiv dlia zakhysnykh sporud ukryttia [Design of Optimal (Rational) Reinforcement for Steel-

- Reinforced Concrete Slab and Beam Elements of Shelter Structures]. Tezy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Budivli ta sporudy spetsialnoho przyznachennia: suchasni materialy ta konstruktsii», 73-74.
11. Galinska T.A., Ovsii D.M. (2022) Udoskonalennia metodyky rozrakhunku mitsnosti na zghyn stalezalizobetonnykh balkovykh elementiv [Improvement of the Methodology for Calculating the Flexural Strength of Steel-Reinforced Concrete Beam Elements]. Kompleksni kompozytni konstruktsii budivel ta sporud v umovakh voiennoho stanu (CSCS-2022). Zb. nauk. pr. za materialamy XIV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 11-14.
12. Ministerstvo rozvytku ta terytorii Ukrainy. (2020) DBN V.2.6-98:2009 zi Zminoiu №1. Betonni i zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. [Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions].
13. Minrehion Ukrainy. (2014) DBN V.2.6-198:2014 zi Zminoiu №1. Stalevi konstruktsii. Normy proektuvannia. [Steel Structures. Design Standards].
14. Minrehion Ukrainy. (2016) DSTU B V.2.6-216:2016 Rozrakhunok i konstruiuvannia ziednuvalnykh elementiv stalezalizobetonnykh konstruktsii. [Calculation and Design of Connecting Elements of Steel-Reinforced Concrete Structures].

STRENGTHENING OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE RIBBED FLOOR SLABS BY INCREASING THE CROSS-SECTION WITH AN ADDITIONAL REINFORCED CONCRETE LAYER IN THE COMPRESSED ZONE AND REINFORCEMENT IN THE TENSIONED ZONE IN THE FORM OF A SPRENGEL TIE

Abstract. *When amplifying beam and slab reinforced concrete elements by increasing the cross-section in both the tensioned and compressed zones, a number of challenges arise. These challenges stem from the need to determine the optimal parameters of the strengthening components — such as cross-sectional dimensions and material properties—within a combined section, where the number of variables is $n \geq 3$. The determination of strengthening component dimensions requires a step-by-step approach, where one component's value is initially set. This leads to additional labor costs in calculations and results in multiple solutions, not all of which are technologically or economically efficient.*

An analytical method for calculating the reinforcement cross-sections of prefabricated reinforced concrete ribbed floor slabs is presented. This method enables simultaneous cross-section enlargement in both the compressed and tensioned zones while accounting for bending and shear load-bearing capacity, including the existing reinforcement in spans and support areas.

The calculation and design sequence for strengthening structural elements of prefabricated reinforced concrete ribbed slabs of types IP1-2 and IP3-1 (series II24-1/70) is provided. These slabs have plan dimensions of 5.6×1.5 m and 5.6×0.75 m, with a cross-sectional height of $h=400$ mm. Strengthening is achieved by adding an extra reinforced concrete layer in the compressed zone and reinforcement in the tensioned zone in the form of a sprengel tie. This approach is applied during the reconstruction of a basement into a dual-purpose shelter (Class IV), designed to withstand a quasi-static equivalent load of 100 kPa, as specified in clause 14.1.2.2 of DBN B.2.2-5:2023 [1].

The proposed methodological approach to strengthening prefabricated reinforced concrete ribbed slabs can also be applied in the calculation and design of structural reinforcement components for precast hollow-core slabs and monolithic reinforced concrete beam-slab systems during building and structure reconstruction, revitalization, or damage restoration.

Key words: *prefabricated reinforced concrete ribbed floor slabs. strengthening by increasing the cross-section simultaneously in the compressed and tensioned zones, additional reinforced concrete layer on top, sprengel tie, calculation and design methodology.*

Azizova A.G.

Postgraduate student at the Department of Construction and Civil Engineering of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava

Ovsii O.M.

Leading specialist at the Department of analysis of innovative activity and intellectual property, National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava

Ovsii D.M.

Ph.D., Senior Lecturer, Department of Construction and Civil Engineering of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management, National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava

Striuk R.I.

Postgraduate student at the Department of Construction and Civil Engineering of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management, National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava

Басістий В.О.

аспірант факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії,
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця
ORCID: 0009-0001-6626-5859

Андрухов В.М.

кандидат технічних наук, доцент факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії,
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця
ORCID: 0000-0002-4749-8569

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ, МОНІТОРИНГ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ЗА ДОПОМОГОЮ ВІМ

Анотація. *Опрацьовано літературні джерела щодо правил визначення фізичного зносу житлових будинків, методик обстеження будівель і споруд для оцінки їх технічного стану, а також нормативні документи з будівництва, зокрема положення про проведення планово-попереджувальних ремонтів промислових будівель та споруд. Проаналізовано паперову документацію, включаючи технічні звіти з обстеження та паспортні дані будівель. На основі отриманої інформації здійснено детальний аналіз оцінки технічного стану житлових і нежитлових будівель та споруд, розглянуто правила обстеження, основні критерії та методику проведення такого аналізу від початку до кінця. Досліджено структуровані переліки дефектів для різних конструктивних елементів, проаналізовано основні критерії оцінки технічного стану будівель. На основі отриманих даних розроблено методологію для зручного вибору дефектів окремих конструктивних елементів. Також створено специфікацію (таблицю дефектів) з автоматичною оцінкою технічного стану конструктивних елементів будівель за результатами обстеження. Опрацьовано технічний звіт з обстеження будівлі головного навчального корпусу Вінницького національного технічного університету. На базі отриманих даних заповнено таблицю дефектів із внесенням відповідної інформації. Аналіз підтвердив наявність певних закономірностей: у випадках, коли конструктивні елементи є непридатними до подальшої експлуатації, їхній термін нормальної служби давно вичерпався. Це зумовлено втратою основних технічних характеристик елементів, які тривалий час експлуатувалися, часто в неналежних умовах. У разі накопичення критичних дефектів, які не підлягають відновленню, подальша експлуатація конструктивних елементів стає неможливою. У таких випадках необхідна їхня заміна або здійснення відповідних заходів для усунення дефектів.*

Ключові слова: *автоматична таблиця дефектів, математичне моделювання, несуча здатність, ВІМ-модель, фізичний знос, технічний стан, термін експлуатації, напружено-деформований стан.*

Постановка проблеми. Будівлі та споруди є невід'ємною складовою життєвого простору людини, забезпечуючи комфортні умови для проживання, роботи та соціальної взаємодії. Зважаючи на широке різноманіття житлового фонду, громадських і виробничих будівель, а також їх системне ускладнення – підвищеної актуальності набуває питання щодо утримання та обслуговування цього господарства в належному стані. Супровідна документація на кожний будівельний об'єкт має містити наступну документацію, а саме: проект, інвен-

таризаційна справа, виконавча документація, технічний паспорт, звіти з оцінки технічного стану (оновлюються через кожні п'ять років експлуатації), звіт з енергоаудиту тощо. Традиційно, склалось так, що у власника будівлі є лише щось частково з переліченої вище документації. Основна вага за безпеку експлуатації, надійність будівлі покладається в даному переліку на технічний паспорт будівельного об'єкту, звіт з технічного обстеження. Але виготовити цю документацію, без наявного повного комплексу документації,

досить трудомісткий, складний та відповідальний процес.

Мимоволі виникає питання, чи скоріш життєва необхідність деякої оптимізації та цифровізації – особливо з огляду на можливості сучасних інформаційних технологій.

За результатами дослідження, викладеними в даній роботі, пропонується процес експлуатації будівлі організовувати та реалізовувати за допомогою впровадження та використання BIM моделі будівлі. А для нових будівельних об'єктів, безальтернативно, проектно-кошторисну документацію слід розробляти, проектувати в відповідних програмних комплексах, які можуть бути поєднані з BIM-технологіями.

На базі BIM-моделі будівлі може бути організований супровід будівлі на етапі експлуатації на принципово новому рівні, тому що дозволяє:

- Оскільки вона є цифровим двійником будівлі, на базі якої, на сучасному рівні можливо та доцільно реалізовувати контроль та динамічну оцінку технічного стану конструкцій;
- Аналізувати наявні пошкодження, деформації та зношення конструктивних елементів, запустити процес розрахунку для визначення напружено-деформованого стану;
- Планувати ремонтні та відновлювальні роботи;
- Виконати математичне моделювання можливих варіантів руйнувань та такого іншого;
- Інтегрувати датчики моніторингу для автоматичного збору даних.

Робота в даній сфері, на перший погляд, може здатись непомітною, за умови, що даний підхід працює системо, планово, тобто реалізуються інженерно-технічні заходи на упередження, а не авральної ліквідації наслідків. Для реалізації саме такого варіанту життєдіяльності будівельного об'єкту і пропонується варіант супроводу будівлі в процесі експлуатації для забезпечення ефективної, безпечної експлуатації, а одночасно з цим гарантувати довговічність, надійність. Не зважаючи на наявний інженерний досвід та існування безлічі положень, методичних рекомендацій [1], правил щодо проведення заходів із запобігання дефектам і пошкодженням будівель, на

сьогоднішній час не існує дійсно дієвого механізму, практики з гарантованого упередження виходу з ладу елементів будівельної системи. Для контролю рівня безпеки, експлуатаційної надійності розроблено нормативні документи для оцінки технічного стану будівель і споруд [2, 3, 4]. На їх основі здійснюється обстеження об'єктів, за результатами якого складається технічний звіт з оцінкою стану.

Звичайно, для створення технічної документації щодо оцінки стану будівель і споруд залучають спеціалізовані організації чи відповідної кваліфікації фахівців. Це фахівці та експерти, які мають відповідні знання та навички в цій сфері. Проте послуги таких організацій можуть бути дорогими, а результати у деяких випадках – привносити елементи суб'єктивізму чи можуть бути втраченими, непоміченими.

У зв'язку з цим постає питання: чи можуть власники житла або відповідні служби самостійно виконати обстеження та оцінку технічного стану будівлі? Що для цього потрібно? Як можна ефективно застосувати автоматизовану таблицю дефектів для виконання цього завдання?

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній науковій літературі активно розглядаються питання застосування цифрових технологій для оцінки технічного стану будівель і споруд. Зокрема, дослідження демонструють ефективність використання BIM-моделей для інтеграції та обробки великих обсягів інформації, що стосується фізичного стану конструкцій, технічного стану, несучої здатності.

Значна частина нормативних документів, які регулюють оцінку технічного стану будівель, орієнтована на традиційні методи обстеження. В Україні застосовуються такі стандарти [3, 4], які встановлюють основні вимоги до проведення технічного обстеження будівель і споруд.

Однак ці документи не враховують можливості цифрового моделювання для спрощення процесу накопичення інформації, аналізу та візуалізації дефектів. Також досить важливим залишається напружено-деформований стан.

Міжнародні дослідження, зокрема роботи, опубліковані у Science Direct та Springer, свідчать про активне впровадження BIM у будівельній сфері, але в більшості випадків акцент робиться на етапах проектування та будівництва, а не експлуатації.

Розробки у сфері цифрових двійників (Digital Twins) відкривають перспективи для моніторингу стану конструкцій у режимі реального часу, але їхня інтеграція у BIM-середовище все ще залишається викликом. Загалом це пов'язано із проблемою динамічного відслідковування технічного стану будівельного об'єкту.

Отже, ключовою проблемою залишається недостатня інтеграція BIM для вирішення завдань технічного моніторингу та експлуатації будівель. Відсутність стандартизованих методик оцінювання та автоматизованих алгоритмів обробки дефектологічних даних у BIM-моделях гальмує впровадження цих технологій у практику будівельного обстеження.

Мета та задачі дослідження. Є визначення потенціалу застосування BIM-технологій у процесах оцінки технічного стану, моніторингу та експлуатації будівель і споруд, а також розробка методологічних підходів для інтеграції BIM у процеси обстеження та аналізу дефектів конструктивних елементів.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- Провести аналіз сучасних нормативних документів та літературних джерел щодо оцінки технічного стану будівель.

- Дослідити можливості застосування BIM-моделей для структуризації даних про стан конструкцій.

- Запропонувати методику автоматизованого обліку дефектів будівель на основі BIM та цифрових таблиць.

- Розробити концепцію інтеграції даних обстеження у BIM-середовище для подальшого моніторингу стану об'єктів.

Очікується, що результати дослідження дозволять підвищити точність та швидкість оцінки технічного стану конструкцій, а також покращать процес управління експлуатацією будівель завдяки використанню BIM-технологій.

Результати досліджень. Особливості використання BIM для оцінки та моніторингу.

BIM-технології надають широкі можливості для систематизації та аналізу даних про технічний стан будівельних конструкцій. Основні переваги їх використання у сфері моніторингу та оцінки стану будівель включають:

- Створення цифрових двійників будівель – повноцінні 3D-моделі, що містять дані про матеріали, геометрію та стан конструктивних елементів.

- Автоматизований облік дефектів – внесення інформації про пошкодження та їх характеристику безпосередньо у BIM-модель.

- Аналіз динаміки змін – відстеження процесів старіння конструкцій на основі порівняння даних обстежень за різні періоди.

- Прогнозування залишкового терміну експлуатації – визначення рівня фізичного зносу та визначення граничного терміну експлуатації для прогнозування ремонтних робіт.

- Інтеграція з сенсорними системами – підключення IoT-датчиків, що дозволяють контролювати деформації, вологість, температурні зміни та інші показники в режимі реального часу.

Для ефективного застосування BIM у сфері моніторингу будівель необхідно розробити стандартизовані методики внесення та обробки дефектологічних даних, а також механізми інтеграції цих даних з цифровими таблицями оцінки стану конструкцій.

Що представляє автоматична таблиця дефектів.

Автоматична таблиця дефектів технічного стану конструкцій будівель може містити різноманітну інформацію про виявлені проблеми, їхні характеристики та вплив на будівлю. По суті, ця таблиця створена для систематизації інформації щодо дефектів будівлі та способів їх усунення, та основною її задачею є створення динамічної бази даних. Вона є зручною для перегляду, а її інформативність дозволяє розширювати базу даних та використовувати її для подальшого аналізу.

Специфікація дефектів зазвичай формується як узагальнення результатів обстеження та слугує основою для висновків у технічному звіті.

Вона наповнюється інформацією зі звіту та включає такі ключові компоненти:

- Класифікацію конструктивних елементів (стіни, перекриття, покрівля, фундаменти тощо).

- Дані про дефекти та пошкодження – вид, ступінь пошкодження, геометричні характеристики.

- Фотофіксацію – зображення виявлених дефектів.

- Висновки щодо усунення дефекту – запропоновані заходи ремонту або заміни.

- Оцінку технічного стану [4] – визначення рівня фізичного зносу конструкції [3].

- Визначення граничних термінів експлуатації конструктивних елементів.

– Можливість внесення приміток щодо усунення дефектів та пошкоджень.

Автоматична специфікація дефектів дозволяє суттєво спростити процедуру аналізу технічного стану будівель, адже містить усю необхідну інформацію в одному місці.

До прикладу уявімо, що технічний звіт формується безпосередньо на основі цієї таблиці – у такому разі більшість текстових описів стають менш потрібними, оскільки всі дані вже представлені в структурованому вигляді.

В таблиці розрахунок фізичного зносу визначається автоматично на основі зазначених дефектів. Після внесення вихідних даних щодо будівлі всі заходи та оцінки формуються одним натисканням кнопки.

Більшість дефектів [3] для кожного конструктивного елемента будівлі внесена в систему. Користувач який працюватиме із файлом Microsoft Excel вибирає потрібний дефект зі списку, що усуває проблеми з його формулюванням та описом.

На (Рис. 1) наведена частина таблиці з прикладом опису дефектів.

Для опису дефектів у таблиці використовується два стовпці. Це зроблено для зручного групування всіх дефектів.

Один стовпець призначений для вибору дефектів (Рис. 2). Завдяки впливаючому списку, користувач може переглянути всі можливі варіанти та вибрати необхідний. Після вибору потрібно натиснути кнопку «Додати дефект», і він автоматично з'явиться

у другому стовпці, що містить перелік уже внесених дефектів.

Усі зафіксовані дефекти консолідуються, що дозволяє отримати єдине значення фізичного зносу, яке розраховується на основі введених даних.

Після фіксування дефектів конструкцій будівлі, виявлених під час технічного обстеження, заходи щодо усунення формуються автоматично на основі отриманої інформації з попередніх стовпців. На (Рис. 3) показано сформований висновок щодо усунення пошкоджень конструкцій будівлі.

Оскільки щодо конструктивного елемента в таблиці можуть бути кілька дефектів, способи їх усунення для кожного фіксуються індивідуально. В примітках дозволено вести записи про результати ремонтних робіт, що дає змогу фіксувати всі зміни, також можна описувати додаткову інформацію яка стосується причин, що унеможливають виконання або таке інше.

Додатково для наглядності в таблицю додається фотофіксація, яка дає змогу візуально переглянути дефекти. Для економії пам'яті та зменшення навантаження на Microsoft Excel в таблицю фотографії не вставляються безпосередньо. Натомість використовується система посилань та гіперпосилань, що дозволяє переходити до збережених фотографій. Рациональним рішенням являється збереження фотографій у хмарному сховищі (Рис. 4), що дає чимало переваг:

По-перше, накопичувачі ПК не засмічуються зайвими файлами, а для перегляду

Всі зафіксовані дефекти	Вибір поточного дефекту	Додати дефект	Фізичний знос	Способи усунення
Незначні пошкодження окремі сколи	Незначні пошкодження окремі сколи		2%	Може експлуатуватися без додаткових заходів
Тріщини до 1мм	Тріщини до 1мм		5%	Встановлення маркера
Пошкодження фасаду 5-10% площі	Пошкодження фасаду 5-10% площі		17%	Замазування вибоїв та тріщин, ремонт фактурного шару
Незначні пошкодження	Незначні пошкодження		1%	Може експлуатуватися без додаткових заходів
Тріщини у швах між плитами до 2мм	Тріщини у швах між плитами до 2мм		6%	Замазування тріщин
Тріщини у швах між плитами до 2мм, Незначні пошкодження поперечні плит 1-2% площі	Незначні пошкодження поперечні плит 1-2% площі	Кнопка 6	12%	Замазування тріщин. Замазування поодиноких або усадкових тріщин

Рис. 1. Фрагмент автоматичної таблиці дефектів

зображень достатньо надати доступ до хмарного сховища. Це також усуває необхідність у переносних носіях пам'яті або додаткових переміщеннях файлів.

Ще однією перевагою є те, що під час передачі файлів іншим особам посилання та гіперпосилання не втрачають своєї працездатності та ведуть до потрібних фотографій. Крім того, доцільно фіксувати на фотографіях результати усунення дефектів, що дозволяє оцінити виконану роботу та зрозуміти, які саме заходи були проведені.

Окрім фотофіксації, до таблиці можна додавати акти дефектації, розрахункові матеріали, статистичні дані та інші документи, що підтверджують наявність дефектів. Для зручності перегляду рекомендовано зберігати ці файли у форматі PDF.

У стовпці «Строк нормальної експлуатації» (Рис. 5), розраховується граничний термін експлуатації який дозволяє оцінити, скільки часу ще може прослужити конструктивний елемент будівлі. Даний показник залежить від декількох факторів: «Експлуатаційний термін служби» та «Фізичний знос». Нормативні показники експлуатації [3] для кожного конструктивного елемента різні, тому їх необхідно визначати індивідуально. Важливо, що фактичний та нормативний терміни служби можуть відрізнятися як у більшу, так і у меншу сторону. На цей фактор впливають умови експлуатації та відсоток зношення конструкції, який визначається за допомогою фізичного зносу. Також важливими є періодичність обслуговування та проведення поточних чи капітальних ремонтів.

У разі заміни конструкції, наприклад, покриття покрівлі, термін експлуатації може відраховуватися від моменту заміни. Загалом, термін служби починається з моменту введення будівлі в експлуатацію, коли будівля вважається новою та неушкодженою.

В таблиці розрахунок періоду, до якого конструктивний елемент може нормально експлуатуватися, здійснюється від періоду обстеження, оскільки на момент обстеження характеристики елементів відрізняються від початкових. Нормативний термін служби визначається з урахуванням фактичного періоду, що залишився з моменту введення будівлі в експлуатацію до моменту проведення обстеження.

Використання BIM-моделі для наповнення та аналітичного розрахунку дозволяє створювати динамічну базу даних. Наприклад, у програмному комплексі Autodesk REVIT є можливість співпраці з форматами Microsoft, проте дана співпраця реалізується за допомогою плагінів. Проте не зважаючи на це з'являється змога конвертувати необхідну інформацію у зручний формат і підв'язувати до моделі готову інформацію. Якщо налаштувати правильно систему, відразу в моделі можна буде інтерактивно натискаючи на конструктивний елемент проглянути інформацію із таблиці дефектів.

Загалом, спільна робота BIM-моделі та таблиці дефектів утворює свого роду базу даних з усією супутньою інформацією та інструментом для динамічного моніторингу технічного стану будівель та споруд на певний період. Дана специфікація у цьому контексті

Всі зафіксовані дефекти	Вибір поточного дефекту	Додати дефект	Фізичний знос	Способи усунення
і пошкодження окремі сколи	Незначні пошкодження окремі сколи		2%	Може експлуатуватися без додаткових заходів
до 1мм	Незначні пошкодження окремі сколи Відпадання штукатурки до 10% площі Відпадання штукатурки 10-30% площі Масове відпадання штукатурки 30-50% площі Вивітрювання розчину зі швів до 1см на 10% Вивітрювання розчину зі швів до 2см на 30% Вивітрювання розчину зі швів до 4см на 50% Сколювання цегли 1-5% площі Тріщини до 1мм		5%	Встановлення маркера
ження фасаду 5-10% площі	Пошкодження фасаду 5-10% площі		17%	Замазування вибоїв та тріщин, ремонт фактур

Рис. 2. Як виглядає вибірка дефектів

Додати дефект	Фізичний знос	Способи усунення	фотофіксація
	5%	Встановлення маркера	https://drive.google.com/file/d/19Yf7LnIiv021GRphZgJarrhiBRuK8AXI/view?usp=drive_link
	5%	Встановлення маркера	https://drive.google.com/file/d/19Yf7LnIiv021GRphZgJarrhiBRuK8AXI/view?usp=drive_link
	18%	Розширення тріщин та замазування . Дрібний ремонт штукатурки	https://drive.google.com/file/d/1NXvncsiLmt8IFIAI21MIYBN1ZLpt1ccl/view?usp=drive_link
	38%	Герметизація швів, замазування тріщин з відновленням опоряджувального покриття. Відновлення захисного шару, герметизація швів, замазування тріщин, утеплення частини стиків	https://drive.google.com/drive/folders/1JgiyshbQ1K7vLmJKa8_EaOeKpcYISG5J

Рис. 3. Фрагмент таблиці дефектів із описом їх усунення



Рис. 4. Перегляд фото у браузері

фотофіксація	Строк нормальної експлуатації	Проведені ремонти
https://drive.google.com/file/d/19Yf7LnIiv021GRphZgJarrhiBRuK8AXI/view?usp=drive_link	2102	
https://drive.google.com/file/d/19Yf7LnIiv021GRphZgJarrhiBRuK8AXI/view?usp=drive_link	2104	
https://drive.google.com/file/d/1NXvncsiLmt8IFIAI21MIYBN1ZLpt1ccl/view?usp=drive_link	2090	
https://drive.google.com/drive/folders/1JgiyshbQ1K7vLmJKa8_EaOeKpcYISG5J	2069	

Рис. 5. Фрагмент таблиці дефектів із розрахунком терміну служби

служує доповненням до моделі, зберігаючи дані обстеження будівель та описуючи їх експлуатаційний стан.

Все це сприяє для можливості періодичного оновлення даних, що дозволяє:

- Відстежувати, які дефекти з'явилися, а які були усунені.
- Аналізувати тенденції зношення конструкцій.
- Оцінювати ефективність проведених ремонтних заходів.
- Планувати майбутні роботи з експлуатації та ремонту будівлі.

Таким чином, автоматична таблиця дефектів є ефективним інструментом оцінки технічного стану будівель. Її інтеграція з BIM-моделями дозволяє суттєво покращити процеси моніторингу, планування, ремонту та експлуатації будівельних конструкцій.

Подальше вдосконалення цього підходу може включати використання штучного інтелекту для автоматичного аналізу критичних пошкоджень та прогнозування термінів їхнього усунення.

Висновки. Результати дослідження підтверджують значний потенціал застосування BIM-технологій у сфері оцінки технічного стану, моніторингу та експлуатації будівель і споруд. Використання BIM-моделей для інтеграції даних про дефекти, автоматизова-

ної обробки інформації та формування цифрових двійників сприяє підвищенню ефективності обстеження та управління будівлями.

Основні висновки дослідження:

- BIM-моделі дозволяють централізувати інформацію про технічний стан будівельних конструкцій, що спрощує процес їхнього моніторингу та експлуатації.
- Автоматична таблиця дефектів спрощує аналіз даних та мінімізує ризики суб'єктивних помилок під час оцінки технічного стану.
- Інтеграція BIM із сенсорними системами моніторингу дозволяє отримувати актуальні дані про стан будівлі в режимі реального часу.
- Використання цифрових технологій у процесі оцінки стану будівель дозволяє суттєво скоротити витрати на обстеження та підвищити точність прогнозування необхідності ремонтних робіт.

Попри очевидні переваги, впровадження BIM у процеси оцінки технічного стану будівель стикається з такими викликами:

- Відсутність уніфікованих методик інтеграції дефектологічних даних у BIM-моделі.
- Необхідність адаптації нормативних документів під цифрові технології.
- Обмеженість застосування автоматизованих алгоритмів аналізу технічного стану конструкцій.

Література

1. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: ДБН В.1.2-14:2018 – [Чинний від 2018–08–02]. – К. : Держспоживстандарт України, 2018. – , 30 с. – (Національний стандарт України).
2. Барашиков А. Я., Малишев О. М. Оцінювання технічного стану будівель та інженерних споруд/ Навч. пос.– К.: Основа, 2008.– 320 с
3. СОУ ЖКГ 75.11-35077234.0015:2009. Правила визначення фізичного зносу житлових будинків. Наказ від 03.02.2009 № 21. Київ 2009р.
4. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість – [Чинний від 2024–01–09]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2024. – , 78 с.

References

1. System for ensuring the reliability and safety of construction sites. General principles for ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures (2018). DBN V.1.2-14:2018 from 02 August 2018. Kyiv: (National Standard of Ukraine).
2. Barashikov A., Malyshev O. Assessment (2008) Of the technical condition of buildings and engineering structures. Kyiv: KNUBA [in Ukrainian].
3. SOU housing and communal services 75.11-35077234.0015:2009. "Rules for determining physical wear and tear of residential buildings" (2009, February) retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=24889
4. DSTU 9273:2024 "Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Mechanical resistance and stability." (2024, September) obtained from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106902

**ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION, MONITORING OF BUILDINGS
AND STRUCTURES USING BIM**

Abstract. *Literary sources on the rules for determining the physical deterioration of residential buildings, methods for inspecting buildings and structures to assess their technical condition, as well as regulatory documents on construction, in particular, provisions on carrying out planned and preventive repairs of industrial buildings and structures were analyzed. Paper documentation was analyzed, including technical inspection reports and passport data of buildings. Based on the information received, a detailed analysis of the assessment of the technical condition of residential and non-residential buildings and structures was carried out, the inspection rules, main criteria and the methodology for conducting such an analysis from beginning to end were considered. Structured lists of defects for various structural elements were studied, the main criteria for assessing the technical condition of buildings were analyzed. Based on the data received, a methodology was developed for convenient selection of defects of individual structural elements. A specification (defect table) was also created with an automatic assessment of the technical condition of structural elements of buildings based on the inspection results. A technical report on the inspection of the building of the main educational building of Vinnytsia National Technical University was processed. Based on the data received, a table of defects was filled in with the relevant information. The analysis confirmed the presence of certain patterns: in cases where structural elements are unsuitable for further operation, their normal service life has long expired. This is due to the loss of the main technical characteristics of the elements that have been operated for a long time, often in inappropriate conditions. In the event of the accumulation of critical defects that cannot be restored, further operation of the structural elements becomes impossible. In such cases, it is necessary to replace them or take appropriate measures to eliminate the defects.*

Key words: *automatic defect table, mathematical modeling, bearing capacity, BIM model, physical wear, technical condition, service life, stress-strain state.*

Basistyi V.O.

Postgraduate student, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering,
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Andrukhov V.M.

PhD, Associate Professor, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering,
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Деркач С.І.

аспірант кафедри теорії, історії архітектури та синтезу мистецтв,
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0009-0006-4380-4924

ПРОБЛЕМАТИКА МОДЕРНІЗАЦІЇ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ: ПОШУК АЛЬТЕРНАТИВНИХ ШЛЯХІВ ТА ПІДГРУНТТЯ ДЛЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЇЇ РЕАКЦІЇ

Анотація. Відновлення старого житлового фонду має велике значення, адже це шлях розвитку міст. З точки зору сталого розвитку, модернізація житла є одним з кроків досягнення сталого міського розвитку. Нажаль, модернізація, на сьогоднішній день переважним чином, розглядається з позиції енергоефективності. Без уваги залишається відновлення технічного стану житлових будинків, а також інклюзивність. Програми фінансування проектів енергомодернізації покриваються фондами та потребують співфінансування співвласниками житла. Стала модернізація, як відновлення технічного стану будинку, енергоефективність та інклюзивна перебудова і поліпшення будинку та прибудинкової території в Україні не розглядається та не існує програм для реалізації таких проектів. Тому виникла необхідність проаналізувати світову практику та, на підставі результатів, сформулювати тенденції та підґрунття для модернізації старої панельної житлової забудови на засадах сталого розвитку. Основним, найскладнішим питанням є фінансування. Тому залучення та зацікавленість приватного сектора є ключовим аспектом. Результатом дослідження є запропонована модель економічної зацікавленості будівельного сектора розглядати сталу модернізацію на противагу новому будівництву. Спільна праця держави та приватного сектора дозволить створити та реалізувати проекти комплексного відновлення старого житла і, як результат, відновлення міст і покращення економічного добробуту держави. Будівельний сектор має отримати фінансову вигоду від реалізації проектів модернізації, яка б була не менш вигідною ніж нове будівництво. Зацікавленість приватного сектора до фінансування проектів комплексного відновлення старого житлового фонду зможе вирішити питання інвестування в цей важливий процес відновлення старих житлових кварталів і приведення їх до відповідних сучасних вимог.

Ключові слова: стала модернізація, модернізація житлової забудови, сталий міський розвиток, фінансування сталої модернізації, відновлення старого житлового фонду, архітектура, багатоповерхова житлова забудова.

Постановка проблеми. Модернізація застарілої житлової забудови є важливим механізмом не лише покращення якості житла і розвитку міста в цілому, а й досягнення сталого міського розвитку, яке тісно пов'язано з досягненням інших цілей визначених в Порядку денному для Сталого розвитку на період до 2030 року [1]. Головний виконавчий комітет для координації програми ООН (організація об'єднаних націй) по населеним пунктам ООН-Хабітат висвітлив загальносистемну стратегію сталого міського розвитку ООН [2]. Україна, як і багато інших країн світу підтримує Порядок денний та керується зазначеною стратегією у досягненні поставлених цілей та завдань. В зв'язку з цим перед світом постає

завдання зменшити негативний вплив викидів вуглецю в атмосферу. В частині сталого міського розвитку – це програми модернізації енергоефективності будинків. Данні програми санації, які широко підтримуються та співфінансуються урядами всіх країн, що підтримують даний напрямок, ставлять на меті зменшення споживання первинної енергії, що в свою чергу зменшить об'єм викидів CO₂ в атмосферу та дасть можливість заощадження на комунальних послугах. Також деякі країни на рівні місцевих державних організацій та їх бюджетів пропонують модернізацію, як поліпшення стану будинку задля покращення якості житла, що в свою чергу робить житловий будинок більш привабливим для проживання.

Шляхом такої модернізації підвищується вартість квадратного метру житла та сприяє економічному розвитку міста, а також запобігає деградації кварталів та мікрорайонів зі стаю житловою забудовою.

На жаль, в Україні не існує програм та шляхів фінансування повної модернізації житлового будинку, яка б змогла покрити в комплексі питання енергоефективності, інклюзивності та капітальних ремонтних робіт, які необхідні для всієї старої житлової забудови. Адже це не лише шлях досягнення цілий сталого міського розвитку, а й пряма необхідність для відновлення стану старих будівель, що з часу свого будівництва повністю чи частково втратили експлуатаційні характеристики та переважно мають закінчений експлуатаційний строк. При цьому термін служби таких будинків ще не закінчено і вони є перспективними з точки зору модернізації. Стара масова панельна житлова забудова складає значну частину житлового фонду України, а також пост-радянських країн та країн Європи, з житловим фондом післявоєнних років Другої Світової війни. Масове соціальне житло не минуло не лише країни східної, а й західної Європи та інші країни світу. Тому комплексна модернізація старої житлової забудови є актуальною темою не лише для України, а й для багатьох країн світу. В зв'язку з цим необхідно знайти теоретичні механізми пошуку фінансування таких проектів модернізації, які згодом можуть бути використані для реалізації майбутніх програм. Старі житлові будинки втратили свої фізичні властивості та не відповідають сучасним вимогам комфорту. Це також стосується прибудинкової території та інженерних і комунальних вузлів і мереж, які обслуговують будинки. Як правило соціальне масове житло будувалось цілими кварталами та житловими масивами. Це дає змогу розробити один підхід, як механізм для повної модернізації, який може бути використано для всього застарілого житлового фонду, та проєкт для певних категорій житлової забудови.

Аналіз останніх досліджень. Переважним чином розглядається фінансування модернізації енергоефективності. В своїх дослідженнях автори відмічають поточне фінансування, як недостатнє чи суперечливе. Крім фінансових перешкод також відмічаються юридичні, соціальні та технічні. Що є закономірним, адже наміри та реалізація прямим чином залежить від фінансової спроможності та вирішення соціального аспекту, який є невід'єм-

ною частиною при модернізації. Відмічається небажання, неготовність та відсутність фінансової можливості співвласників співфінансувати проєкти [3, 4]. Бажання жити в комфортніших умовах не є пріоритетом в порівнянні з необхідністю витратити на це значні кошти.

Слід звернути увагу на дослідження вчених, що провели аналіз небажання співфінансування співвласниками багатоквартирних будинків Німеччини проєкти модернізації енергоефективності [5]. Науковцями відмічено, що витрати значно перевищують вигоди. Навіть при умові підняття видатку на викиди вуглецю, які значно вищі в енергонеефективних будинках та перевищують норму, і отриманні бонусної екологічної премії в разі модернізації, не викликає великого бажання приймати участь у проєкті. Існують економічні і організаційні бар'єри, що виражаються в недостатній державній фінансовій підтримці, з точки зору співвласників житла, та небажанні брати кредити через низький дохід. Це в свою чергу стає перешкодою реалізації програми модернізації [6]. До подібних висновків дійшов С. Кіріс, який розглядав зацікавленість в енергоефективності. Він відмітив, що, недостатня реалізація програм в Україні викликана фінансовою неспроможністю співвласників. [7].

Без значного розгляду залишається питання фінансування комплексної модернізації старої житлової забудови, адже не існує подібних програм, які б фінансувались державою чи іншими зацікавленими компаніями і організаціями.

Хоча необхідність відновлення житлової забудови, спираючись на засади сталого розвитку, широко обговорюється. Трансформації потребують будинки, що мають низьку привабливість і комфортність, а також незадовільний технічний стан. Потребу у відновленні, як врахування сучасних вимог до житла і вирішення задач сталого розвитку для житлових будинків, розглядають польські науковці у своєму дослідженні на загальному підході і прикладах трансформації соціалістичного жилого будівництва в сучасне стійке житлове середовище [8].

Дослідниками також відмічається, що повільні темпи регенерації багатоквартирних будинків прямим чином впливають на темпи досягнення цілей сталого розвитку. Науковці з різних країн у своєму спільному дослідженні визначають та підкреслюють наявність тех-

нічних, соціальних та, особливо, фінансових перепон при капітальному ремонті будинків [9]. При цьому все ж таки пропонується глибока реновація. На підтвердження того, що доступ до капіталу – фінансування є одним з основних перепон до глибокої реконструкції, є робота авторів, які пропонують певні фінансові технології для власників будинків і будівельних компаній з точки зору фінансування [10].

Міське відновлення постійно розглядається. Успішне відродження міст – результат спільної роботи між урядом, девелоперами, архітекторами, забудовниками та громадою та всіма зацікавленими сторонами, залученими до проектування, реалізації, управління та обслуговування [11].

Мета роботи. Метою роботи є, на підставі попереднього аналізу поточною ситуації фінансування та раніше отриманим даним, в тому числі статистичним, представити теоретичний підхід шляхів фінансування модернізації старої панельної житлової забудови, переважно періоду проектів 70–80-хх років 20 століття. Описовим та пояснювальним методом, представити погляд, який би надав підґрунтя для розгляду підходів фінансування модернізації старої житлової забудови. Методом узагальнення світового досвіду модернізації визначити можливий варіант фінансування зацікавленими сторонами, особливо девелоперською компанією. Визначити фактори, які б могли сприяти зацікавленості девелоперських компаній проектувати та розміщати замовлення саме на модернізацію існуючих старих будинків на противагу новому будівництву.

Попередній кількісний та якісний аналіз існуючих програм модернізації надав підґрунтя висвітлити описовим та пояснювальним методом необхідність пошуку альтернативних шляхів фінансування та важливості створення і реалізації проектів повної модернізації на противагу новому будівництву.

Основною метою роботи є висвітлення найсуперечливішого питання – фінансування проектів, що є перепорою для комплексної модернізації старої житлової забудови та відновлення міст вцілому, і досягненні сталого міського розвитку.

Результати дослідження. В Україні на законодавчому рівні закріплена необхідність відновлення застарілого житлового фонду [12]. Створено фонд Енергоефективності задля

забезпечення фінансування існуючих програм санації в частині енергоефективності. Зазначаються програми та умови співфінансування програм співвласниками житла. [13]. Подібні фонди та їх програми існують в різних країнах. В статті розглядається вплив сталого розвитку на модернізацію та огляд існуючих програм деяких пост-радянських та країн Європи з точки зору потреби в співфінансуванні співвласниками житла. Відмічається необхідність нової концепції, як стала модернізація, що зможе покрити потребу старих будинків в енергоефективності, інклюзивності та відновленні. Визначається важливість участі в проєктах всіх зацікавлених сторін [14].

Для прикладу глибоких підходів до важливості модернізації та вирішення задач сталого розвитку, можна відмітити, затверджену схему теплопостачання м. Києва до 2030 року, яка розроблена з метою оптимізації системи централізованого теплопостачання міста з врахуванням перспектив розвитку міста, потреби та можливостей модернізації джерел генерації теплової енергії та теплових мереж [15]. Всі ці ініціативи дають підґрунтя для певних модернізаційних процесів житлових будинків та прибудинкової території. Але фінансується, на загальнодержавному рівні, лише енергоефективність, що в свою чергу, також потребує співфінансування співвласниками житла. Комплексних програм модернізації не існує, тому в свою чергу, не існує ані проектів, ані механізмів фінансування. І саме це питання потребує обговорення і пошуку шляхів вирішення.

Комплексна модернізація, на засадах сталого розвитку, передбачає повне відновлення будинку і прибудинкової території і, відповідно до проєкту, потрібна програма фінансування. Саме в цій частині виникає складність. Адже комплексний обсяг робіт ставить за мету модернізацію всіх частин будинку і прибудинкової території лише зі збереженням панельного каркасу будинку. Саме такий підхід дозволяє відновити старі житлові квартали до сучасного рівня. Розраховувати на фінансування співвласниками не має сенсу, адже значна вартість проєкту буде непосильна для пересічного громадянина. Державних програм фінансування не існує. Але існує велика потреба, враховуючи досягнення цілей сталого розвитку та незадовільний технічний стан старих будинків. Тим більше, сучасні міста та сучасні будинки, як їх частина, покращу-

щують економічний добробут міст та держави вцілому. Стала модернізація може запобігти деградації старих районів та розрідненості і поділу міста на старі та нові квартали. Таким чином необхідна мотивація для девелоперських компаній, яким би було цікавіше реалізувати проекти комплексної модернізації у порівнянні з новою забудовою. Звичайно це складний процес, в тому числі, з організаційної точки зору, адже існує питання тимчасового відселення мешканців. Але фінансове питання постає дуже гостро.

Необхідність системного підходу до сталого міського розвитку, для прикладу, відмічає Американська спільнота ландшафтних архітекторів (The American Society of Landscape Architects) [16]. Необхідність – це мотивація, а фінансове забезпечення це база для реалізації проекту. Таким чином, фінансові можливості держави стосовно модернізації прямим чином впливають на досягнення сталої модернізації. В зв'язку з цим необхідно шукати шляхи альтернативного фінансування; відмінного тим, що зараз існують, як покриття витрат фондами та співфінансування співвласниками. Серед зацікавлених сторін, які можуть вплинути та реалізувати проекти, крім держави є архітектори, забудовники та девелоперські компанії. Саме для них потрібна мотивація та економічна вигода.

Для держави економічна вигода виявляється в розвинутих та сучасних і привабливих містах як для туризму, інвестицій так і проживання, що в свою чергу підвищує економічний добробут не лише міст, а й країни вцілому. Для приватного сектору вигода лише в прибутку. Тому, якщо приватний сектор замість нових проектів буде інвестувати в проекти модернізації, йому потрібно отримати з чогось прибуток. Приклади реновації вже випробувані в Сінгапурі, США та Ізраїлі. Хоч вони і не стосуються прямим чином до сталої модернізації, але покривають фінансове питання та зацікавленість забудовника.

Досвід Сінгапуру. Сінгапур – країна, яка відновила житловий фонд, який переважним чином був нетрями, та дуже швидко розвинулася [17]. Розвиток та відновлення Сінгапура був можливий завдяки урядовим реформам. Можливість придбання землі у власність стало підґрунтям для зусиль приватного сектору щодо відновлення міст. Політика переселення, яка планувалась урядом, передбачала формулу компенсації. Зацікавленість та

активна участь приватного сектору і держави сприяло реконструкції міст.

Досвід США. На прикладі міста Нью-Йорк планується перехід до комплексної модернізації та капітального фінансування [18]. Підхід базується на повній регенерації об'єкта та з розглядом варіантів тимчасового відселення мешканців на період реалізації проекту. Це може бути в межах комплексу або в інших комплекси, що є у власності житлового управління. Кожен проект має враховувати соціальну складову та залученість всіх зацікавлених сторін на кожному етапі.

Інноваційний підхід США до модернізації також демонструє певні питання щодо відновлення житла, з урахуванням всіх необхідних інженерних та архітектурних змін.

Досвід Ізраїлю. Концепція, в якій реалізується регенерація, повністю залежить від держави [19]. В певні періоди часу підхід до проектів відновлення змінювався, але основним орієнтиром є залученість держави та зацікавленість приватного сектору. На забудовника покладається питання переселення та надання тимчасового житла на період реалізації проекту. При цьому йому надаються певні пільги. Перебудова, як правило, включає добудови нових поверхів, і забудовник отримує право на продаж нових квартир. Проект, наскільки це можливо, законодавчо створений щоб було отримання вигоди для співвласників, у вигляді поліпшення умов; для забудовника – можливість отримання фінансової вигоди від реалізації квартир. Витрати на модернізацію покриваються реалізацією квартир на добудованих поверхах та додатковою дохідністю. Проект вигідний і державі. Стара неприваблива забудова стає новою і сучасною, поліпшується прибудинкова територія. Інвестори зацікавлені у придбанні квартир в старих будинках задля подальшого їх продажу з більшою ринковою вартістю після модернізації. Забудовник при цьому отримує додаткову зацікавленість з боку інвесторів. Держава майже не інвестує у відновлення старого житлового фонду та комунікацій, але, при цьому, отримує сучасний благоустрій кварталів та відновлення інфраструктури міста.

На підставі вже існуючого зарубіжного досвіду, за підтримки держави необхідно розробити стратегію зацікавленості приватного сектору в інвестуванні проектів сталої модернізації.

Зацікавленість може виражатися:

– в отриманні власності на добудовані квадратні метри чи додаткові збудовані примі-

щення на території житлового кварталу, які шляхом реалізації після модернізації нададуть фінансову вигоду;

- передача землі у власність, на території якої може бути розбудована інфраструктура, яка в свою чергу буде нести економічну вигоду;

- передача відновленого будинку в управління компанії забудовника, який в подальшому може заробляти на обслуговуванні будинку та використовувати добудовані площі на свій розсуд.

Проект сталої модернізації має бути таким же цікавим для приватного сектора, як і будівництво нових житлових будинків, а в подальшому й більш вигідним та пріоритетним.

Сучасне містобудування, на засадах сталого розвитку, узгоджується з державною владою та піддається сильному впливу ринкових сил [20]. Тому задля ефективної сталої модернізації необхідним є широкий фінансовий механізм, який би зацікавив фінансування проєктів приватним сектором та був підтриманий державою і враховував інтереси власників квартир в старих будинках.

Висновки. Модернізація житлової забудови потребує залученості держави, власників житла та всіх зацікавлених сторін залучених до проєкту. Не достатньо розглядати лише енергоефективність, яка в більшій частині фінансується державними фондами.

Основною задачею є пошук механізмів для залучення фінансування та зацікавлено-

сті приватним сектором. Успішність проєкту сталої модернізації, як комплексного відновлення старого житлового фонду, в тому числі прибудинкової території, з урахуванням вимог сталого розвитку, залежить від фінансової спроможності та зацікавленості і підтримки держави.

В зв'язку з цим запропоновано теоретичну концепцію механізму залучення та зацікавленості фінансування проєктів комплексної модернізації на засадах сталого розвитку. Реалізація механізмів дозволить стати протипологом зацікавленості будівельного сектору в будівництві нової житлової забудови та надасть можливість пріоритету у відновленні житлового фонду країни. В свою чергу це стане шляхом до сталого міського відновлення.

Міста – осередки фінансових потоків, тому стала модернізація житлової забудови є одним із шляхів розвитку та забезпечення привабливості міст для всіх соціальних, промислових, економічних та фінансових сфер. Розвиток міст сприяє благополуччю мешканців і держави вцілому.

Відсутність розвитку і відновлення старих районів призведе до їх деградації, просторової диференціації населення та міської неоднорідності. Тому пошук альтернативних механізмів фінансування модернізації та їх реалізація є дуже важливою темою.

Література

1. General Assembly Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development (No.70/1). 2015. UNFPA. URL: https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/Resolution_A_RES_70_1_EN.pdf (дата звернення 10.02.2025).
2. United Nations system Chief Executive Board for Coordination (2019). UN System-Wide Strategy on Sustainable Urban Development. URL: <https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-07/un-system-wide-strategy-on-sustainable-urban-development-1.pdf> (дата звернення 10.02.2025).
3. Stankevičius V., Karbauskaitė J., Burlingis A., Šadauskienė, J., Morkvėnas R. Expanding the possibilities of building modernization: case study of Lithuania. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2014. № 20(6), P. 819-828. <http://doi.org/10.3846/13923730.2014.929599>
4. Napiórkowska-Baryła A., Witkowska-Dąbrowska M., Świdyńska N. Financing of Activities Increasing the Energy Efficiency of Residential Buildings in Poland. *European Research Studies Journal*. 2022. №25(1), P. 690-712. <http://doi.org/10.35808/ersj/2881>
5. Groh A., Kuhlwein H., Bienert S. Does Retrofitting Pay Off? An Analysis of German Multifamily Building Data. *Journal of Sustainable Real Estate*. 2014. № 12(1), P. 95-112. <https://doi.org/10.1080/19498276.2022.2135188>
6. Streimikiene D., Balezentis T. Willingness to Pay for Renovation of Multi-Flat Buildings and to Share the Costs of Renovation. *Energies*. 2020. № 13(11), 2721. <https://doi.org/10.3390/en13112721>
7. Kiris S. Implementation of energy efficient principles in management of an apartment building in Ukraine. *Three Seas Economic Journal*. 2021. № 2(3), P. 6-21. <https://doi.org/10.30525/2661-5150/2021-3-3>

8. Piekarski M., Bajda L., Gotkowska E. Transformation of Socialist Realistic Residential Architecture into a Contemporary Sustainable Housing Habitat—General Approach and the Case Study. *Sustainability*. 2021. № 13(23), 13486. <http://doi.org/10.3390/su132313486>
9. D'Oca S., Ferrante A., & Op't Veld P. Technical, Financial, and Social Barriers and Challenges in Deep Building Renovation: Integration of Lessons Learned from the H2020 Cluster Projects. *Buildings*. 2018. № 8(12), P. 174. <https://doi.org/10.3390/buildings8120174>
10. Cummins M., Lynn T., Rosati P. Financing Building Renovation: Financial Technology as an Alternative Channel to Mobilise Private Financing. In: Lynn T., Rosati P., Kassem M., Krinidis S., Kennedy J. (eds) *Disrupting Buildings. Palgrave Studies in Digital Business & Enabling Technologies*. 2023. Palgrave Macmillan, Cham. P. 153-172. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32309-6_10
11. Lehmann S. The Ten Strategies for an Urban Regeneration. In: Urban Regeneration. *Palgrave Macmillan, Cham*. 2019. P. 133-156 https://doi.org/10.1007/978-3-030-04711-5_5
12. Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду: Закон України від 22 грудня 2006 р., № 525-V. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/525-16#Text> (дата звернення 20.02.2025).
13. Фонд Енергоефективності. URL: <https://eefund.org.ua/> (дата звернення 20.02.2025).
14. Derkach S.I. The impact of sustainable development on new concept of modernisation of residential buildings. *Modern construction and architecture*. 2024. No. 7, P. 19-28. <http://doi.org/10.31650/2786-6696-2024-7-19-28>
15. Департамент житлово-комунальної інфраструктури. URL: <https://dzki.kyivcity.gov.ua/content/zvit-seo-proektu-shemy-teplopostachannya-m-kyieva-do-2030-roku.html> (дата звернення 20.02.2025).
16. The American Society of Landscape Architects. URL: <https://www.asla.org/sustainableurbandevelopment.aspx> (дата звернення 20.02.2025).
17. Urban Redevelopment Authority. A Singapore Government Agency Website. URL: <https://surli.cc/njrilm> (дата звернення 20.02.2025).
18. Comprehensive Modernization Consultation White Paper New York City Housing Authority. 2022. The Official Website of the City of New York. URL: <https://surli.li/nvlrkb> (дата звернення 21.02.2025).
19. Planning Administration. Israel's government services and information website. URL: <https://www.gov.il/en/departments/iplan/govil-landing-page> (дата звернення 21.02.2025).
20. World cities report 2022. Chapter 6, Urban Planning for the Future of Cities. UN-Habitat. URL: https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/07/chapter_6_wcr_2022.pdf (дата звернення 21.02.2025).

References

1. General Assemble (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (No. 70/1). UNFPA. URL: https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/Resolution_A_RES_70_1_EN.pdf
2. United Nations system Chief Executive Board for Coordination (2019). UN System-Wide Strategy on Sustainable Urban Development. URL: <https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-07/un-system-wide-strategy-on-sustainable-urban-development-1.pdf>
3. Stankevičius, V., Karbauskaitė, J., Burlingis, A., Šadauskienė, J., Morkvėnas, R. (2014). Expanding the possibilities of building modernization: case study of Lithuania. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(6), 819-828. <http://doi.org/10.3846/13923730.2014.929599>
4. Napiórkowska-Baryła, A., Witkowska-Dąbrowska, M., Świdyńska, N. (2022). Financing of Activities Increasing the Energy Efficiency of Residential Buildings in Poland. *European Research Studies Journal*, 25(1), 690-712. <http://doi.org/10.35808/ersj/2881>
5. Groh, A., Kuhlwein, H., Bienert, S. (2022). Does Retrofitting Pay Off? An Analysis of German Multifamily Building Data. *Journal of Sustainable Real Estate*, 12(1), 95-112. <https://doi.org/10.1080/19498276.2022.2135188>
6. Streimikiene, D., Balezentis, T. (2020). Willingness to Pay for Renovation of Multi-Flat Buildings and to Share the Costs of Renovation. *Energies*, 13(11), 2721. <https://doi.org/10.3390/en13112721>
7. Kiris, S. (2021). Implementation of energy efficient principles in management of an apartment building in Ukraine. *Three Seas Economic Journal*, 2(3), 6-21. <https://doi.org/10.30525/2661-5150/2021-3-3>

8. Piekarski, M., Bajda, L., Gotkowska, E. (2021). Transformation of Socialist Realistic Residential Architecture into a Contemporary Sustainable Housing Habitat—General Approach and the Case Study. *Sustainability*, 13(23), 13486. <http://doi.org/10.3390/su132313486>
9. D'Oca, S., Ferrante, A., & Op't Veld, P. (2018). Technical, Financial, and Social Barriers and Challenges in Deep Building Renovation: Integration of Lessons Learned from the H2020 Cluster Projects. *Buildings*, 8(12), 174. <https://doi.org/10.3390/buildings8120174>
10. Cummins, M., Lynn, T., Rosati, P. (2023). Financing Building Renovation: Financial Technology as an Alternative Channel to Mobilise Private Financing. In: Lynn, T., Rosati, P., Kassem, M., Krinidis, S., Kennedy, J. (eds) *Disrupting Buildings. Palgrave Studies in Digital Business & Enabling Technologies*. Palgrave Macmillan, Cham, 53-172. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32309-6_10
11. Lehmann, S. (2019). The Ten Strategies for an Urban Regeneration. In: *Urban Regeneration*. Palgrave Macmillan, Cham, 133-156. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04711-5_5
12. Pro kompleksnu rekonstrukciiu kvartaliv (mikroraioniv) zastarilogo zhytlovogo fondu: Zakon Ukrainy. [On the comprehensive reconstruction of quarters (microdistricts) of outdated housing stock: Law of Ukraine], № 525-V, 22.12.2006. Verhovna Rada Ukrainy. Zakonodavstvo Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/525-16#Text>
13. Fond Energoefektyvnosti. [Energy Efficiency Fund]. URL: <https://eefund.org.ua/>
14. Derkach S.I. (2024). The impact of sustainable development on new concept of modernisation of residential buildings. *Modern construction and architecture*, № 7, pp. 19-28. <http://doi.org/10.31650/2786-6696-2024-7-19-28>
15. Departament zhytlovo-komunalnoii infrastruktury. [Department of Housing and Communal Infrastructure]. URL: <https://dzki.kyivcity.gov.ua/content/zvit-seo-proektu-shemy-teplopostachannya-m-kyieva-do-2030-roku.html>
16. The American Society of Landscape Architects. URL: <https://www.asla.org/sustainableurbandevelopment.aspx>
17. Urban Redevelopment Authority. A Singapore Government Agency Website. URL: <https://surli.cc/njrilm>
18. Comprehensive Modernization Consultation White Paper (2022). New York City Housing Authority. *The Official Website of the City of New York*. URL: https://www.nyc.gov/assets/nycha/downloads/pdf/comp-mod/NYCHA_Comp_Mod_Consultation_White_Paper.pdf
19. Planning Administration. *Israel's government services and information website*. URL: <https://www.gov.il/en/departments/iplan/govil-landing-page>
20. World cities report 2022. Chapter 6, Urban Planning for the Future of Cities. UN-Habitat. URL: https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/07/chapter_6_wcr_2022.pdf

PROBLEMS OF MODERNIZATION OF MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDINGS: SEARCH FOR ALTERNATIVE WAYS AND GROUNDS FOR ITS REALIZATION

Abstract. Recovery of the old housing stock is of great importance, because it is the way of urban development. From the point of view of sustainable development, housing modernization is one of the steps towards achieving sustainable urban development. Unfortunately, modernization, today, is predominantly considered from the standpoint of energy efficiency. The recovery of the technical condition of residential buildings, as well as inclusive buildings, remains neglected. Financing programs for energy modernization projects are covered by funds and require co-financing by co-owners of housing. Sustainable modernization, such as recovery of the technical condition of the building, energy efficiency and inclusive reconstruction and improvement of the building and the adjacent territory in Ukraine is not considered and there are no programs for the implementation of such projects. Therefore, it became necessary to analyze world practice and, based on the results, to formulate trends and foundations for the modernization of old panel residential buildings on the basis of sustainable development. The main, most difficult issue is financing. Therefore, the involvement and interest of the private sector is a key aspect. The result of the study is a proposed model of the economic interest of the construction sector to consider sustainable modernization as opposed to new construction. The joint work of the state and the private sector will allow the creation and implementation of projects for the complex modernization of old housing and, as a result, the regeneration of cities and the improvement of the economic well-being of the state. The construction

sector should receive a financial benefit from the implementation of modernization projects, which would be no less profitable than new construction. The interest of the private sector in financing projects for the complex modernization of the old housing stock will be able to solve the issue of investing in this important process of renovating old residential quarters and bringing them to the relevant modern requirements.

Key words: sustainable modernization, modernization of residential buildings, sustainable urban development, financing of sustainable modernization, renovation of the old housing stock, architecture, high-rise residential development, multi-storey residential building.

Derkach S.I.

PhD student at the Department of Theory, History of Architecture and Synthesis of Arts,
National Academy of Fine Arts and Architecture, Kyiv

УДК 69:001.89; 69:658

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2025.46.4>

Корнило І.М.

к.е.н., доцент, доцент кафедри організації будівництва та охорони праці,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса
ORCID: 0009-0000-7916-1517

Данелюк В.І.

к.т.н., доцент, доцент кафедри міського будівництва та господарства,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса
ORCID: 0009-0002-9556-4003

Король М.Д.

головний інженер,
ТОВ «Будівельно-монтажне управління 47», м. Одеса
ORCID: 0009-0005-2428-8058

СИСТЕМА ЗАХОДІВ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ НА ОСНОВІ БАГАТОВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ

Анотація. У статті актуалізовано питання формування сучасного цивілізованого ринку та соціально-орієнтованих ринкових відносин, що обумовлено необхідністю залучення інвестицій у будівельну галузь та підвищення їх ефективності. На підставі аналізу теоретичних джерел із проблеми дослідження з'ясовано, що сучасний етап розвитку економіки характеризується тим, що на території України зростає кількість великих інвестиційно-будівельних проєктів, проте їх реалізація виявила проблему відставання сучасної школи проєктування, пов'язану з тим, що у минулому столітті реалізація великих проєктів була практично заморожена. Визначено, що під час моделювання ходу будівельних робіт враховується велика кількість параметрів: фізичні обсяги конструкцій, інженерного обладнання будівлі, особливості технології виробництва та ін. Нині 3D-технології стрімко розвиваються. Такі моделі стають незамінним інструментом не лише у проєктуванні складних об'єктів, що не мають аналогів, але й ефективним інструментом контролю виконаних робіт у системі оперативно-диспетчерського управління, а також зразком для визначення різного роду ризиків та небажаних ситуацій. Результатом системного підходу до вирішення таких завдань може стати побудова реальної ресурсної моделі проєкту.

Слід зазначити, що нині більша частина будівництва великих об'єктів ведеться із залученням державних коштів та коштів вітчизняних підприємців, у зв'язку з цим актуальним питанням є оптимальна ціна. Встановлено, що для подальшого швидкого та ефективного економічного розвитку нашої держави, необхідне залучення значних іноземних коштів, тобто іноземних інвестицій, які мають певні переваги перед вітчизняними інвестиціями та державним фінансуванням. Вони полягають у тому, що, по-перше, іноземні інвестиції – це додатковий капітал залучений у країну для виробництва будівельної продукції, реалізації певних програм, а по-друге, це надходження в державу нових технологій та застосування нових методів управління у проєктуванні. З огляду на це з'являється можливість визначити терміни виконання робіт та умови контрактації. А головне доведено: щоб отримати конкретний інструмент, який можна буде використати для максимізації прибутку за рахунок економії витрат, потрібно створити цілий комплекс організаційно-програмних заходів, який поступово повинен трансформуватися в стандарт.

Ключові слова: інвестиційно-будівельний проєкт, організаційно-технологічне проєктування, багатовимірні моделі проєкту, системотехнічна модель.

Постановка проблеми. Дослідити існуючу практику організаційно-технологічного проектування у будівництві та встановлення тенденцій у її розвитку. Виявити основні фактори, які впливають на вибір організаційно-технологічних рішень будівництва будівель та споруд. Визначити переваги, які отримують учасники реалізації проекту за рахунок застосування візуалізації при проектуванні організаційно-технологічної документації.

Аналіз останніх досліджень. У багатьох дослідженнях [1; 3; 6; 7] зазначається, що одним із актуальних завдань сучасної будівельної галузі є розробка та впровадження інформаційних технологій у практику для досягнення якості будівництва при експлуатації будівель та споруд. Тому застосування ефективних методів інструментальних вимірювань полягає у необхідності теоретичного обґрунтування системи концептуальних і теоретико-методологічних основ збільшення терміну експлуатації, а також оптимізації організаційно-технологічних і техніко-економічних показників будівництва та експлуатації будівель та споруд.

Мета роботи. Метою статті є дослідження проблеми доцільності удосконалення організаційно-технологічного проектування на основі багатовимірних моделей.

Результати досліджень. Організаційно-технологічні рішення – це система заходів, що відповідають на запитання: що, як, у якій послідовності, якими силами і в які терміни робити. Ухвалення рішення є балансом, що враховує важливість і корисність окремих чинників, що впливають на рішення. У будь-якому будівельному проекті потрібна взаємодія фахівців з різних галузей з різними «поглядами на ситуацію», тобто присутній людський фактор, який може вплинути на ухвалення конкретних рішень. Під час роботи зі складними структурами комплексного технологічного процесу знайти рішення вдається не завжди, тому розробка і знання наукових методів ухвалення рішень у технології сучасних методик варіантного проектування набуває першочергового значення.

У багатьох випадках методи календарного планування, діаграма Ганта зокрема, як засоби візуалізації організаційно-технологічних рішень, недостатньо функціональні, щоб оцінити рішення, тому що багатьом спеціалістам необхідно побачити його не тільки в часі, а й у просторі.

Слід виокремити основні завдання сучасного організаційно-технологічного проектування в будівництві, що ляжуть в основу принципів, критеріїв і параметрів формування багатовимірних моделей зведення будівель і споруд:

- формування графіка виконання робіт, пов'язаного з 3-вимірною моделлю об'єкта;
- візуалізація послідовності виконання робіт;
- вибір оптимальних схем використання ресурсів;
- перевірка здійсненності організаційно-технологічних рішень, виявлення колізій.

За необхідності представити будівельний проект не тільки в часі, а й у просторі використовують так звані багатовимірні моделі проекту (4D, 5D тощо), які об'єднуються під більш загальним терміном – Building Information Modeling (BIM), у світі досі немає загальноприйнятої назви, тому в різних джерелах трапляються різні терміни.

Варіанти практичного застосування таких моделей досить різноманітні:

- наочно порівняти між собою різні варіанти реалізації проекту;
- зіставити план і факт, або уточнити технологію будь якого фрагменту;
- виявити просторово-часові колізії;
- покращити координацію робіт підрядників, підрозділів;
- оптимізувати використання конкретних ресурсів, що становлять

найбільшу важливість для проекту.

Багатовимірну модель будівництва будівель та споруд створюють для отримання можливості вже на ранній стадії реалізації проекту проектувати й оптимізувати матеріально-технічне забезпечення проекту, підрядні організації, які у свою чергу, можуть використовувати цю модель для попередньої оцінки об'ємів робіт, координації між організаціями-виконавцями, планування процесів будівництва, виробництва, закупівель та інших функцій.

Використання підрядними організаціями такої моделі об'єкта будівництва для своїх цілей і завдань не завжди можливе. Початкова модель може потребувати значного коригування і насичення інформацією від підрядника. За умови відповідності інформаційної моделі об'єкта вимогам і завданням підрядника її використання принесе ефект у вигляді більш якісно опрацьованої організаційно-тех-

нологічної документації, а це значить менше технічних простоїв, рівні ритми робіт, зниження відсотка незапланованих робіт тощо. Щоб забезпечити ці можливості, модель споруди має бути досить докладною і містити в собі такі види інформації:

1. Детальна інформація про об'єкт будівництва, що міститься в точній тривимірній моделі, яка забезпечує графічні уявлення про компоненти будівлі, з можливістю витягти технічні характеристики окремих елементів моделі;

2. Тимчасові компоненти являють собою обладнання, опалубку та інші тимчасові компоненти, що мають вирішальне значення для планування та реалізації проєкту.

3. Інформація в специфікаціях, яка пов'язана з кожною складовою частиною будівлі, взаємопов'язана з технічними вимогами для кожного компонента. Ця інформація необхідна для придбання, монтажу, пусконаладжувальних робіт і введення в експлуатацію.

4. Аналітичні дані, пов'язані з проєктними вимогами, таким як, структурні навантаження, максимальні очікувані моменти і поперечні навантаження, навантаження систем вентиляції та кондиціювання, рівень необхідної освітленості тощо. Ці дані необхідні для закупівель, виробництва та інженерного проєктування.

5. Статус проєктування та будівництва кожного компонента, щоб відстежити реалізацію проєкту загалом, а також затвердити просування компонентів щодо проєктування, придбання, встановлення та перевірки (за потреби). Ці дані додаються до моделі підрядником.

На сьогоднішній момент жоден інструмент (програмне забезпечення) не задовольняє вимог цього списку. Цей список слугує, щоб ідентифікувати інформаційні потреби під час реалізації багатовимірного інформаційного моделювання в майбутньому.

Нині, більшість інструментів підтримує створення інформації за першим і другим пунктом з цього списку. Навіть у тому випадку, коли проєктні групи сформовані на стадії започаткування проєкту, кожен учасник може використовувати різні інструменти для того, щоб створити свою модель будівлі. З'єднання всієї інформації в цих моделях часто є вкрай трудомістким процесом. Таким чином, наразі створення єдиної моделі для всіх функцій не можливе. Як наслідок, існує необхід-

ність у розробленні методів взаємодії учасників проєкту для створення і роботи з єдиною моделлю будівельного об'єкта.

Якщо розглянути одне із затребуваних завдань на нинішній день – створення моделі для підтримки планування будівництва. Успіх великих організацій, залучених до будівництва масштабних проєктів зі складною інфраструктурою (об'єкти енергетичної та атомної промисловості, великі технологічно складні виробничі лінії), залежать від точності реалізації плану-графіка будівництва та відсутності помилок у процесі будівництва, які значною мірою можуть впливати на вартість реалізації проєкту.

Вирішити таке завдання можна за допомогою використання інструментів багатовимірного проєктування. Використовуючи методи та інструменти тривимірного проєктування, наприклад, в атомній промисловості, будівельні організації розробляють візуальні моделі та інструкції щодо їхнього застосування, унаслідок чого об'єднують кожен візуальну фазу і проміжок часу в проєкті. Такий підхід стає можливим із застосуванням сучасних передових CAD систем з автоматичними зв'язками тривимірної геометрії та дозволив знизити трудовитрати на ручне проєктування в організаціях або групах організацій. Інформаційна модель дає змогу створювати, переглядати і редагувати багатовимірні моделі, що позитивно позначається на якості та надійності календарних планів усіх стадій планування.

Комунікація учасників реалізації проєкту, особливо за їхньої багаточисельності та низького рівня спрацьованості, не менш важливе питання. Інструменти візуалізації в сукупності з системами календарного планування дають змогу підряднику моделювати й оцінювати заплановану послідовність будівельних робіт, а також ділити ці роботи з іншими учасниками проєктної групи.

Щоб у проєктному графіку кожна робота або дія відповідала певному об'єкту візуальної моделі, всі об'єкти в будівельній моделі мають бути згруповані та пов'язані в певній послідовності відповідно до фаз будівництва. Наприклад: якщо в графіку виконання робіт зведення перекриття розділене на три захватки, то на візуальній моделі перекриття повинно бути деталізовано до трьох захваток так, щоб цю послідовність можна було запланувати та ілюструвати. Це стосується

всіх об'єктів і робіт, що реалізуються на цих захватках: опалубка, арматура, бетон тощо. Крім того, земляні роботи і тимчасові будівлі, такі як ліси та склади, мають бути включені в модель. Це – основна причина, чому використання знань підрядника ефективно визначає будівельну модель. Якщо в будівництві моделі бере участь архітектор, конструктор і підрядник, ще до моменту початку будівництва, підрядник може забезпечити швидкий зворотний зв'язок щодо конструктивних та організаційно-технологічних рішень, а також кошторисної вартості будівництва. Рання інтеграція цієї інформації має більше переваг для всіх сторін – учасників реалізації будівельного проєкту, як для проєктувальників і підрядників, так і для замовника.

В даному випадку багатовимірне моделювання працює в основному як засіб комунікації для виявлення потенційних проблем і, як спосіб покращення співпраці. Підрядники можуть розглядати багатовимірне моделювання з метою зробити план виконання робіт якомога ефективним і наближеним до реалій будівельного майданчика.

Перш за все, багатовимірна модель вимагає наявності відповідних зв'язків між візуальною моделлю будівлі та календарним графіком проєкту, що, у свою чергу, забезпечує початкову і кінцеву дату та віхи для кожної роботи.

При дотриманні системності підходу до побудови, а також актуалізації багатовимірної моделі, можна виокремити потенційні фактори – переваги:

- Комунікація: Планувальники можуть візуалізувати запланований будівельний процес для всіх зацікавлених проєктом осіб. Багатовимірна модель охоплює тимчасові та просторові аспекти графіка і робить цей графік ефективнішим за традиційну діаграму Ганта.

- Безліч зацікавлених сторін: багатовимірні моделі часто обговорюються на форумах непрофесіоналами, як проєкт може вплинути на трафік транспорту або інші важливі проблеми суспільства.

- Логістика майданчика: Планувальники можуть керувати складами, доступом до них і місцем розташування великого обладнання, тощо.

- Координація постачання: Планувальники можуть скоординувати очікуваний галузевий потік часу та простору на великій території так само, як і роботи в невеликих просторах.

- Зіставлення графіків і контроль виконання: Менеджери проєктів можуть легко порівняти різні графіки, і вони можуть швидко ідентифікувати, чи відповідає проєкт графіку, чи відстає від нього.

Вищезазначені міркування роблять використання багатовимірної моделі, з метою координації графіка проєкту, відносно дорогим процесом. Використання попереднього досвіду і знань, а також застосування необхідного рівня деталізації дає змогу розробити точний графік, який необхідний для досягнення найбільшої вигоди під час використання інноваційного інструменту.

Скорочення термінів виконання різних робіт у будівництві, зменшення виробничих витрат, поліпшення комунікації між учасниками реалізації процесу будівництва та інші плюси розвитку методів організаційно-технологічного проєктування, зокрема й збільшення прибутку є привабливими для учасників інвестиційно-будівельних проєктів.

Переваги інформаційного моделювання очевидні й доведені багатою світовою практикою, здавалося б, воно повинно впроваджуватися в будівельну галузь швидкими темпами, зокрема й на проєктно-будівельному ринку послуг в нашій країні. За умови, що навіть часткове використання технології інформаційного моделювання будівель призводить до скорочення термінів проєктування і будівництва та зменшення витрат на зведення об'єктів загалом.

Впровадження технології багатовимірного моделювання будівель у проєктно-будівельну практику – процес тривалий, складний і суперечливий. Тому він здебільшого проходить за загальними для таких процесів законами, а отже це питання часу. Однак нашій країні потрібна висока інтенсивність будівництва в сукупності з високим показником реалізації великих інвестиційних проєктів, що свідчить про необхідність впровадження принципів багатомірного проєктування вже негайно, якщо не сказати на вчора. А часу з початку впровадження інформаційного моделювання минуло порівняно небагато – адже ще десять років тому широкі маси проєктувальників навіть не чули терміна «інформаційна модель будівлі».

Особлива роль у сучасній економіці належить інвестиційно-будівельним проєктам енергетичного комплексу (ЕК). Впровадженню ефективних інновацій у сфері проєк-

тування та реалізації організаційно-технологічних процесів у цій ключовій галузі багато в чому має сприяти вміле застосування вітчизняного та зарубіжного досвіду, міжнародних вимог і стандартів. Розвиток і підвищення ефективності інвестиційно-будівельної діяльності в ЕК пов'язано багато в чому з розвитком методів організаційно-технологічного проектування в будівництві. При цьому необхідно враховувати прогресивні інформаційні технології, розроблені в інших галузях, а також специфічні особливості інвестиційних проєктів ЕК, які пов'язані насамперед з їх галузевою спрямованістю, великомасштабністю, особливостями технічних і технологічних рішень, значним територіальним розміщенням. Необхідні нові інновації з удосконалення технологічних процесів на об'єктах ЕК, що дають змогу підвищити сукупний ефект у період їхнього будівництва та експлуатації.

Точна, обчислена, і відносно повна будівельна модель, яка включає вищезазначену інформацію, необхідна, щоб підтримати критичні процеси роботи підрядника. Важливо відзначити, що кожен новий процес роботи часто вимагає, щоб підрядник додав інформацію до моделі, оскільки архітектор або інженер зазвичай не включають інформацію про засоби і методи виробництва. Наприклад, інформацію про обладнання або виробничі показники процесів, які важливі для того, щоб оцінити і запланувати матеріально-технічне забезпечення будівництва.

Таким чином, підрядники використовують модель будівлі для визначення базових показників, а також для отримання інформації та додавання конкретної будівельної інформації, яка необхідна для підтримки різних процесів будівельних робіт. Крім того, якщо обсяг робіт для підрядника включатиме введення в експлуатацію або експлуатацію об'єкта, то зв'язки між компонентами багатовимірної моделі та системами управління замовника, такими як обслуговування або організація виробництва, полегшать процес введення в експлуатацію та здачу об'єкта замовникові після закінчення проєкту. Будівельна багатовимірна модель повинна підтримувати представлену інформацію, яка пов'язана з усіма цими процесами.

Візуальна модель організації будівництва дає змогу вирішити 4 основні завдання:

- розробити графік виконання робіт, який буде скоординований у часі та просторі;

- перевірити здійсненність організаційно-технологічних рішень, виявити колізії та знайти рішення щодо їхнього подолання;

- оптимізувати використання наявних ресурсів;

- скоротити тривалість і вартість будівництва за рахунок оптимізації організаційно-технологічних рішень і логістики на будівельному майданчику.

Реалізація основних завдань сучасного організаційно-технологічного проектування в будівництві містить комплексний підхід, який заснований на процесах сталого розвитку.

Для визначення специфічних процесів, пов'язаних зі сталим розвитком і які відбуваються в інвестиційно-будівельній діяльності для подальшого їх впорядкування в просторових і часових умовах, необхідно визначити поняття «економічний простір» та «економічний час», які є базовими категоріями системотехніки та економіки.

Поняття економічного простору містить узагальнене уявлення властивостей техніко-економічної системи у вихідному стані її розвитку. Таким чином, простір інвестиційно-будівельної діяльності, як техніко-економічної системи, – це простір можливих її рухів у рамках сталого розвитку. Характерною ознакою економічного простору є його єдність і неподільність.

З поняттям економічного простору пов'язане поняття економічного часу. Категорія економічного часу відображає сукупність основних і допоміжних процесів, їхню тривалість і швидкість, з якою вони здійснюються в техніко-економічній системі [4;5].

Похідна цього поняття – оптимальний економічний час, що характеризує оптимальну послідовність і синхронізацію процесів, а також є вираженням економії найважливішого ресурсу будівництва – часу.

Із точки зору організації та технології будівництва економічний час верифікується трудомісткістю та продуктивністю – це ті елементи, які необхідно брати до уваги, якщо поставлено за мету – сталий розвиток у просторі інвестиційно-будівельної діяльності, на досягнення якої спрямовані зусилля як державного, так і корпоративного рівня.

Досягнення оптимального стану в часі вимагає економії трудового фактора виробництва насамперед за рахунок ефективного використання машин, механізмів, устатку-

вання, скорочення витрат матеріально-технічних ресурсів, заміни ручної праці на механізовану, використання в будівництві нових технологій і матеріалів.

Величини оптимального економічного часу залежать від виду будівництва, функціонального призначення об'єктів, що зводяться, номенклатури робіт, умов будівництва та інших чинників у кожному конкретному випадку.

Встановлено, що розвиток інвестиційно-будівельної діяльності, як техніко-економічної системи, описується зміною вектора параметрів стану, компоненти якого являють собою середні показники, що характеризують будівельне виробництво та його інфраструктуру в певний момент часу[2].

Перехід від одного стану техніко-економічної системи до іншого описується за допомогою вхідних і вихідних величин.

Вхідними величинами інвестиційно-будівельної діяльності є, наприклад, показники оперативних планів, характеристики потоків трудових, матеріально-технічних, інформаційних, фінансових ресурсів, будівельної продукції. У зв'язку з цим підсистема будівельного виробництва отримує від підсистеми управління впливи, що стосуються:

- обсягу будівельного виробництва, його структури;
- вимог якості будівельної продукції;
- переліку субпідрядних організацій;
- показників продуктивності праці;
- параметрів ефективності та рентабельності будівельного виробництва;
- нормування витрат матеріально-технічних ресурсів, витрат праці;
- обсягу використання відходів будівництва тощо.

Вихідні величини дають змогу встановити, як одні підсистеми впливають на інші підсистеми в просторі інвестиційно-будівельної

діяльності, тобто розглянута вхідна величина є величиною на виході іншої підсистеми.

Вихідні величини можна поділити на два типи:

1) показники, що являють собою управлінську інформацію. Даний тип величин видається підсистемою інформаційного забезпечення і підсистемою управління при виконанні нею функції управління, контролю і прийняття рішень;

2) показники, що відображають вплив однієї підсистеми на інші підсистеми інвестиційно-будівельної діяльності.

Сталий розвиток визначається співвідношенням входу і виходу, обраною стратегією і досягнутими результатами.

Простір інвестиційно-будівельної діяльності визначається таким чином (рис. 1.):

$$\{X, Z, Y\} \quad (1)$$

де: X – простір вхідних величин; Z – простір параметрів стану; Y – простір вихідних величин.

Простір інвестиційно-будівельної діяльності $\{X, Z, Y\}$ охоплює сукупність основних і допоміжних процесів, поведінку техніко-економічної системи, режим її функціонування в умовах сталого розвитку.

Формалізація механізмів економічного простору та сталого розвитку техніко-економічних систем вказує на необхідність опису їх у просторово-часових координатах.

Перший крок передбачає встановлення горизонту дослідження – T , тобто часової межі, до якої проектується траєкторія зростання.

Далі визначається ритм моделі, або одиниця виміру економічного часу. Щодо просторових координат, які відображають процес сталого розвитку інвестиційно-будівельної діяльності, застосовуються такі ідентифікатори:

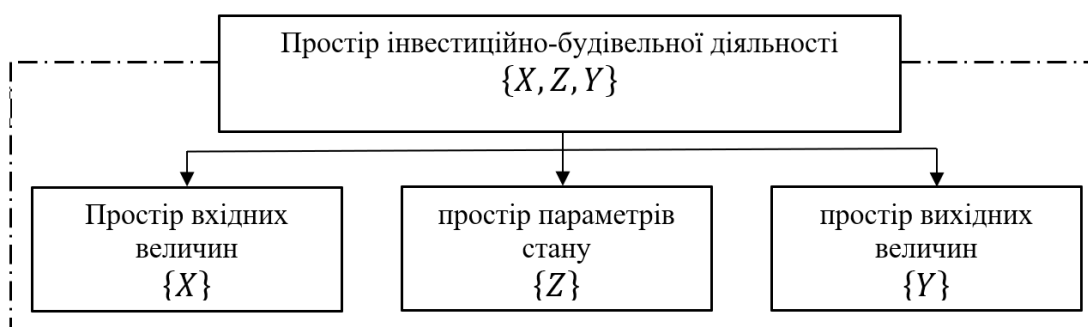


Рис. 1. Параметри простору інвестиційно-будівельної діяльності

x – вектор вхідних величин ($x \in X$);

u – вектор параметрів рішень ($u \in U$);

z – вектор параметрів стану ($z \in Z$);

y – вектор вихідних величин ($y \in Y$);

w – вектор вихідних величин, які поступають у підсистему управління ($w \in W$).

Системотехнічна модель сталого розвитку інвестиційно-будівельної діяльності є багатовимірною і має такий вигляд:

$$Z_{t+1} = F_t(Z_t, Z_{t-1}, \dots, Z_{t-\theta_1}; \quad (2)$$

$$X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-\theta_2};$$

$$u_t, u_{t-1}, \dots, u_{t-\theta_1}).$$

$$\sum_{t=0}^T H_t(Z_t, Z_{t-1}, \dots, Z_{t-\theta_1}; \quad (3)$$

$$X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-\theta_2};$$

$$u_t, u_{t-1}, \dots, u_{t-\theta_1}) \leq H_t;$$

$$w_t = \varphi(z_t, x_t, u_t); \quad (4)$$

$$y_t = \zeta(z_t, x_t, u_t) \quad (5)$$

У наведений вище системотехнічній моделі перший вираз показує зміну вектора параметрів стану в просторі та часі й описує внутрішню поведінку системи, тобто вид залежності стану системи в момент часу $(t + 1)$ від часової послідовності станів, вхідних і вихідних величин з урахуванням тривалості їхнього впливу θ_i .

Таким чином, функція F_t виражає у формалізованому вигляді просторово-часову динаміку інвестиційно-будівельної діяльності. Величина H_t містить обмеження, яких потрібно дотримуватися в процесі сталого

розвитку інвестиційно-будівельної діяльності, що задаються підсистемою управління, наприклад: наявні обмеження на матеріально-технічні, трудові ресурси, номенклатуру будівельного виробництва, вимоги якості будівельної продукції, встановлена тривалість будівництва тощо.

Третє рівняння системотехнічної моделі описує інформацію, що передається підсистемі управління, а четверте рівняння відбиває просторово-часову динаміку вихідних величин техніко-економічної системи. Оскільки при специфічних процесах, що відбуваються інвестиційно-будівельної сфері, параметри стану в момент часу $t + 1$ залежить від параметрів стану і впливів як на момент часу t , так і на більш ранніх періодів, в системотехнічній моделі з'являються різні параметри запізнення, тобто обсяг будівельних продуктів залежить від величин капітальних вкладень минулих періодів. Втілюються вони в будівлях і спорудах, що вводяться в експлуатацію в даному періоді.

Висновки. На основі аналізу матеріалів статті сформовано вимоги, яким має відповідати візуально-організаційно-технологічна модель будівельного об'єкта. Докладно розглянуто переваги, які отримують учасники реалізації проекту за рахунок застосування візуалізації при проектуванні організаційно-технологічної документації, а також протягом усього життєвого циклу проекту.

Література

1. Гончаренко Т. А. Структура методології СІМ для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції ВІМ та GIS технологій. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Інформатика та моделювання. № 2 (4), 2020. С. 42–53.
2. Касич А., Глухова В., & Кравченко Х. Аналіз бюджетних інвестиційних ресурсів України. Економіка та суспільство. 2022. № 35.
3. Ковров А. В., Меньлюк О. І., Нікіфоров О. Л. Шаблон управління будівництвом – нова інформаційно-комунікаційна концепція. Одеса: ОДАБА, 2021. 165 с.
4. Лучко Г. Й. Сучасний стан та проблеми розвитку проектного менеджменту в Україні. Г. Й. Лучко, Т. В. Лебідь, І. В. Когут. Економіка і суспільство. 2017. № 9. С. 501–506.
5. Микитюк, Ю. Оцінювання та управління вартістю інвестиційно-будівельних проектів. Вісник економіки. 2024. Вип. 2. С. 226–237.
6. Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (ВІМ). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 1. Концепції та принципи (ідентичний міжнародному стандарту ISO 19650-1:2018): ДСТУ ISO 19650– 1:20. [Не затверджений]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 76 с.
7. Чернишев Д. О., Рижаків Д. А., Хоменко О. М., Петруха С. В., Кучеренко О. І., Горбач М. В. Цифрові технології як інноваційні тренди структурно-трансформаційних зрушень у системі управління підприємств-стейкхолдерів будівництва. Управління розвитком складних систем. Київ. 2021. № 46. С. 118 – 130.

References

1. Honcharenko, T. A. (2020). Struktura metodologii CIM dlia informatsiinoho modeliuвання miskoho seredovyscha na osnovi intehratsii BIM ta GIS tekhnologii [The structure of the CIM methodology for information modeling of the urban environment based on the integration of BIM and GIS technologies]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». Seriya: Informatyka ta modeliuвання, № 2 (4), 42–53.

2. Kasych, A., Hlukhova, V., Kravchenko, Kh. (2022). Analiz biudzhetykh investytsiinykh resursiv Ukrainy [Analysis of budgetary investment resources of Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo*, № 35.
3. Kovrov, A. V., Meneiliuk, O. I., Nikiforov, O. L. (2021). Shablon upravlinnia budivnytstvom – nova informatsiino-komunikatsiina kontseptsii [Construction management template – new information and communication concept]. Odesa, ODABA, 165 s.
4. Luchko, H. Y., Lebid, T. V., Kohut I. V. (2017). Suchasnyi stan ta problemy rozvytku proektnoho menedzhmentu v Ukraini [Current state and problems of project management development in Ukraine]. *Ekonomika i suspilstvo*, № 9, 501–506.
5. Mykytiuk, Yu. (2024). Otsiniuvannia ta upravlinnia vartistiu investytsiino-budivelnikh proektiv [Evaluation and management of the investment and construction projects cost]. *Visnyk ekonomiky*, Vyp. 2, 226–237.
6. Orhanizatsiia ta otsyfruvannia informatsii shchodo budivel ta sporud v kliuchnoz budivelnym informatsiynym modeliuvanniam (VIM). [Organization and digitization of information on buildings and structures, including building information modeling (BIM)]. Upravlinnia informatsiieu z vykorystanniam budivelnoho informatsiinoho modeliuvannia. Chastyna 1. Kontseptsii ta pryntsyipy (identychnyi mizhnarodnomu standartu ISO 19650-1:2018) : DSTU ISO 19650– 1:20. [Ne zatverdzhenyi]. Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2020, 76 s.
7. Chernyshev, D. O., Ryzhakov, D. A., Khomenko, O. M., Petrukha, S. V., Kucherenko, O. I., Horbach, M. V. (2021). Tsyfrovii tekhnologii yak innovatsiini trendy strukturno-transformatsiinykh zrushen u systemi upravlinnia pidpriemstv-steikholderiv budivnytstva [Digital technologies as innovative trends of structural and transformational shifts in the management system of construction stakeholders]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, Kyiv, No 46, 118–130.

SYSTEM OF MEASURES FOR IMPROVING ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DESIGN IN CONSTRUCTION BASED ON MULTIDIMENSIONAL MODELS

Abstract. *The article actualizes the issue of formation of a modern civilized market and socially oriented market relations, which is due to the need to attract investment in the construction industry and increase its efficiency. Based on the analysis of theoretical sources on the research problem, it is found that the current stage of economic development is characterized by the fact that the number of large investment and construction projects is growing in Ukraine, but their implementation has revealed the problem of the lag of the modern design school, due to the fact that in the last century the implementation of large projects was practically frozen. It has been determined that when modeling the progress of construction work, a large number of parameters are taken into account: the physical volumes of structures, engineering equipment of the building, features of production technology, etc. Today, 3D technologies are developing rapidly. Such models are becoming an indispensable tool not only in the design of complex, unparalleled facilities, but also an effective tool for monitoring the work performed in the operational dispatch control system, as well as a model for identifying various risks and undesirable situations. A systematic approach to solving such problems can result in the construction of a real resource model of the project.*

It should be noted that today most of the construction of large facilities is carried out with the involvement of public funds and funds of domestic entrepreneurs, and in this regard, the optimal price is a relevant issue. It is established that for further rapid and efficient economic development of our country, it is necessary to attract significant foreign funds, i.e. foreign investment, which has certain advantages over domestic investment and state funding. They are, firstly, that foreign investment is additional capital attracted to the country for the production of construction products, the implementation of certain programs, and secondly, it is the entry of new technologies into the state and the application of new management methods in design.

This makes it possible to determine the timing of work and the terms of contracting. And most importantly, it has been proven that in order to get a specific tool that can be used to maximize profits by saving costs, it is necessary to create a whole set of organizational and programmatic measures that should gradually be transformed into a standard.

Key words: *investment and construction project, organizational and technological design, multidimensional project models, system engineering model.*

Kornylo I.M.

PhD, Economics, Associate Professor at the Department of organization of construction and safety, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

Danelyuk V.I.

Ph.D, Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Urban Construction and Economics, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

Korol M.D.

Chief Engineer LLC

"Construction and Installation Department 47", Odesa

УДК 69.003.13:658.562.

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2025.46.5>

Постернак І.М.

к.т.н., доцент, доцент кафедри організації будівництва та охорони праці,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса
ORCID: 0000-0002-5274-8892

Постернак С.О.

к.т.н., доцент, технічний спеціаліст,
ПП «Композит», м. Одеса
ORCID: 0000-0003-0890-4963

Постернак О.С.

здобувач вищої освіти СВО «Бакалавр» ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса
ORCID: 0000-0002-4568-9943,

ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАБУДОВИ КОМПЛЕКСУ БУДІВЕЛЬ КОМЕРЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Виконана оцінка містобудівної ситуації та характеристика об'єктів комплексу комерційної нерухомості для забезпечення всіх учасників проєкту чіткою і структурованою інформацією про проєкт, сприяння координації робіт, а також забезпечення контролю за виконанням будівельних робіт. Відповідно до затвердженої документації та графіка створено титульний список для розрахунку вартості об'єктів містобудівного комплексу. Загальна вартість всього комплексу склала 2236 млн 874,5 тис грн, в тому числі вартість будівельно-монтажних робіт 1913 млн 380,6 тис грн. Розроблена організаційно-технологічна схема поточного методу зведення будівель комплексу – календарний план на основі загальної організаційно-технологічної схеми будівництва, у якому встановлено: черговість та строки будівництва будівель та споруд, пускових комплексів та робіт підготовчого періоду з розподілом капітальних вкладень та кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт з етапів будівництва та у часі. За допомогою організаційно-технологічної схеми виконано розрахунок інтенсивності фінансування будівельних потоків по кожному об'єкту, що дозволило розробити календарний план будівництва містобудівного комплексу в табличній формі з розподілом загальної вартості та вартості будівельно-монтажних робіт за кварталами. У підготовчому періоді передбачено виконання більшої частини будівельно-монтажних робіт в продовж перших місяців першого року будівництва, що дозволяє розпочати зведення основних будівель та споруд комплексу з другого кварталу першого року будівництва. Сформований комплексний укрупнений сітьовий графік проєктування та будівництва комплексу комерційної нерухомості терміном 45 місяців (проєктування – 9 місяців, будівництво – 36 місяців).

Ключові слова: управління будівництвом, календарний план будівництва, будівельно-монтажні роботи, будівельні потоки, комплекс комерційної нерухомості.

Постановка проблеми. Сучасна будівельна індустрія є одним із найважливіших секторів економіки, що забезпечує розвиток інфраструктури та житлового фонду країни. Ефективна організація будівельного виробництва є ключовим фактором успішної реалізації будівельних проєктів [1, 2], забезпечення їхньої якості, дотримання термінів і бюджетів. Зважаючи на стрімкий розвиток технологій та підвищення

вимог до екологічності й енергоефективності будівель, виникає необхідність у висококваліфікованих фахівцях, здатних керувати складними будівельними процесами [3...5].

Аналіз останніх досліджень. Опис розвитку будівельного проєкту є інформаційно складним процесом, тому що він залежить від великої кількості характеристик, що впливають на нього [6...10]. Тому на стадії плану-

вання використовується методологія моделювання, за допомогою якої прогнозується зміна не всіх, а тільки частини характеристик процесу. Будь-яка модель не може бути повністю тотожна оригіналу, тим більше що оригінал може виникнути тільки в майбутньому. Модель процесу управління може більш-менш однозначно визначити майбутні властивості оригіналу. Однак, незважаючи на наближеність моделей керуючих процесів, вони дозволяють системно описувати об'єкти управління й на цій основі планувати управлінські рішення.

Мета. Розробити календарний план будівництва комплексу комерційної нерухомості в табличній формі з розподілом загальної вартості та вартості будівельно-монтажних робіт за кварталами для оцінки планомірного фінансування ходу будівництва об'єктів та загальної вартості. Сформувані комплексний укрупнений сітєвий графік проектування та будівництва комплексу комерційної нерухомості у складі проекту організації будівництва (ПОБ).

Результати досліджень. У роботі використано метод календарного планування поточної забудови комплексом комерційної нерухомості.

ПЕРШИЙ ЕТАП. Оцінка містобудівної ситуації та характеристика об'єктів комплексу.

Комплекс комерційної нерухомості, який проектується, входить до складу мікрорайону. Він забудовується на вільній території. Приймаю, що магістральні інженерні споруди, комунікації і місця їх підключення виконані.

На території забудови комплексу розташовані групи будівель та споруд різних типів об'ємно-планувального і конструктивного рішень. До складу комплексу включені різні типи будівель і споруд, які використовуються для здійснення бізнесу та отримання доходу:

- дві офісні будівлі 16-поверхові 24 тис.м² загальної площі (збірний каркас з навісними панелями);

- будівля торговельна 5 тис.м² загальної площі (збірний каркас з навісними панелями) та будівля торговельна 25 тис.м² загальної площі (збірний каркас з навісними панелями);

- два готелі 10000м² загальної площі (каркасно-монолітна з заповненням стіновими виробами);

- виставковий салон 3200 м² загальної площі (каркасно-монолітна з заповненням

стіновими виробами) та спортивний корпус з залом, басейном та критими ваннами об'ємом 10000 м³ (каркасно-монолітна з заповненням стіновими виробами).

З необхідними обсягами та видами інженерного обладнання й благоустрою. Об'єкти комплексу розташовуються на території з певною архітектурно-планувальною завершеною забудови. До моменту здачі в експлуатацію будівель та споруд комплексу мають бути завершені всі роботи з інженерного обладнання, благоустрою та озеленення території. Всі об'єкти у складі комплексу підлягають здачі в експлуатацію.

Перелік об'єктів комплексу та показник тривалості зведення наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристика об'єктів містобудівного комплексу

№	Найменування об'єкту	Тривалість, міс. <u>загальна</u> підготовчого періоду
1	2	3
1	Будівля офісна 16-поверхові 24 тис. м ² загальної площі (збірний каркас з навісними панелями)	<u>14</u> 1
2	Будівля торговельна 5 тис. м ² загальної площі (збірний каркас з навісними панелями)	<u>12</u> 1
3	Будівля торговельна 25 тис. м ² загальної площі (збірний каркас з навісними панелями)	<u>20</u> 2
4	Виставковий салон 3200 м ² загальної площі (каркасно-монолітна з заповненням стіновими виробами)	<u>16</u> 1
5	Спортивний корпус зі залом, басейном та критими ваннами об'ємом 10000 м ³ (каркасно-монолітна з заповненням стіновими виробами)	<u>10</u> 1
6	Готель 10000 м ² загальної площі (каркасно-монолітна з заповненням стіновими виробами)	<u>15</u> 2
7	Котельня опалення	4
8	Закрита трансформаторна підстанція	1,5

Таблиця 2. Перелік об'єктів, робіт і заходів комплексу (титульний список)

глава	Найменування об'єктів, робіт та заходів	Об'єм робіт		Кошторисна вартість, тис.грн			
		Од. вим.	Кількість	загальна		у т.ч.	
				На од. об'єму	Усього	БМР	Обладнання
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Підготовчі роботи	т.грн			31879,92	31879,92	
	1.1. Освоєння буд. майданчика					7969,98	
	1.2. Планування території					11157,97	
	1.3. Тимчасові будівлі та споруди					12751,97	
2	Інженерні комунікації	т.грн			127519,68	127519,68	
	2.1. Прокладка мереж водопроводу	т.грн				19127,95	
	2.2. Прокладка мереж каналізації	т.грн				25503,94	
	2.3. Прокладка мереж теплотрас	т.грн				31879,92	
	2.4. Прокладка мереж електропостачання	т.грн				19127,95	
	2.5. Влаштування шляхів	т.грн				31879,92	
	2.6. Трансформаторна підстанція	потуж.			650,43	195,13	455,30
	2.7. Котельня	потуж.			1300,86	390,26	910,60
3	Будівлі офісні та готелі	т.м²			1305156,0	1044124,80	261031,20
	Будівля офісна 16-поверхові 24 тис.м² загальної площі	т.м²	24,00	18867	452808,00	362246,40	90561,60
	Будівля офісна 16-поверхові 24 тис.м² загальної площі	т.м²	24,00	18867	452808,00	362246,40	90561,60
	Готель 10000м² загальної площі	т.м²	10,00	19977	199770,00	159816,00	39954,00
	Готель 10000 м² загальної площі	т.м²	10,00	19977	199770,00	159816,00	39954,00
4	Торгівельна та розважальна нерухомість				610968,00	549871,20	61096,80
	Будівля торговельна 5 тис.м² загальної площі	т.м²	5,00	15982	79910,00	71919,00	7991,00
	Будівля торговельна 25 тис.м² загальної площі	т.м²	25,00	15982	399550,00	359595,00	39955,00
	Виставковий салон 3200 м² загальної площі	т.м²	3,20	15315	49008,00	44107,20	4900,80
	Спортивний корпус із залом, басейном об'ємом 10000м³	т.м³	10,00	8250	82500,00	74250,00	8250,00
	ВСЬОГО по 3...4	т.грн			1916124,0	1593996,00	322128,00
5	Благоустрій та озеленення	т.грн			95639,76	95639,76	
6	Інші та непередбачені роботи	т.грн			63759,84	63759,84	
	Усього по комплексу	т.грн			2236874,5	1913380,6	323493,9

ДРУГИЙ ЕТАП. Розрахунок вартості об'єктів містобудівного комплексу.

Щоб забезпечити всіх учасників проєкту чіткою і структурованою інформацією про проєкт, сприяти координації робіт, а також забезпечити контроль за виконанням будівельних робіт відповідно до затвердженої документації та графіка створюється титульний список.

Розрахунок вартості об'єктів містобудівного комплексу виконується за укрупненими показниками опосередкованої вартості спорудження житла за регіонами України. Результати розрахунку представлені в таблиці 2.

ТРЕТІЙ ЕТАП. Організація потокової забудови містобудівного комплексу.

У календарному плані на основі загальної організаційно-технологічної схеми будівництва встановлюється: черговість та строки будівництва будівель, пускових комплексів та робіт підготовчого періоду з розподілом капітальних вкладень та кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт за етапами будівництва та у часі. Відповідно до ДБН А.3.1-5:2016 календарний план будівництва комплексу (табл. 5) розробляється в табличній формі.

Комплексний потік по забудові будівель та споруд комерційного комплексу формується на основі наступних припущень.

Для зведення будівель та споруд виділяються самостійні об'єктні потоки: 1-й потік – зведення офісних будівель та готе-

лів; 2-й потік – зведення торгівельної та розважальної нерухомості.

Поза потоку виконуються роботи з підготовки території, інженерних комунікацій, благоустрою та інші роботи.

До складу об'єктних потоків зі зведення будівель та споруд входять спеціалізовані потоки з виконання підготовчих робіт, з устрою підземної частини, зведення надземної частини та виконання оздоблювальних робіт.

Норми тривалості будівництва визначають тільки тривалість зведення окремих будівель та споруд и не нормують строки забудови мікрорайонів. Загальна тривалість будівництва комплексу встановлюється рішенням замовника. А у даній роботі термін будівництва комплексу визначається на основі врахування норм тривалості будівництва окремих будівель та споруд та прийнятої інтенсивності будівельних потоків.

Тривалість зведення будинків (загальна $T_{\text{заг}}$, в тому числі підготовчого періоду $T_{\text{під}}$) визначаю за ДСТУ Б А.3.1-22:2013 та наведена у таблиці 1. За етапами зведення об'єктів приймаю в такому співвідношенні:

$$\begin{aligned} T_{\text{під}} &= 0,25 (T_{\text{заг}} - T_{\text{над}}); \\ T_{\text{над}} &= 0,45 (T_{\text{заг}} - T_{\text{під}}); \\ T_{\text{озд}} &= 0,3 (T_{\text{заг}} - T_{\text{під}}). \end{aligned}$$

Виконую розрахунок для кожного типу будівель (табл. 3).

Приймається принцип безперервності освоєння простору (зведення кожної будівлі).

Таблиця 3.

№	Найменування об'єкту	Тривалість, міс.				
		$T_{\text{заг}}$	$T_{\text{під}}$	$T_{\text{над}}$	$T_{\text{озд}}$	
1	2	3	4	5	6	7
1	Будівля офісна 16-поверхові 24 тис. м ² загальної площі (збірний каркас з навісними панелями)	14	1	3	6	4
2	Будівля торговельна 5 тис. м ² загальної площі (збірний каркас з навісними панелями)	12	1	3	5	3
3	Будівля торговельна 25 тис. м ² загальної площі (збірний каркас з навісними панелями)	20	2	4,5	8	5,5
4	Виставковий салон 3200 м ² загальної площі (каркасно-монолітна з заповненням стіновими виробами)	16	1	4	7	4
5	Спортивний корпус із залом, басейном та критими ваннами об'ємом 10000 м ³ (каркасно-монолітна з заповненням стіновими виробами)	10	1	2	4	3
6	Готель 10000 м ² загальної площі (каркасно-монолітна з заповненням стіновими виробами)	15	2	3	6	4
7	Котельня опалення	4				
8	Закрита трансформаторна підстанція	1,5				

Можливі пріоритети зведення окремих об'єктів виділених груп будівель повинні задовольняти основним принципам поточного методу організації будівництва (нерозривності розвитку потоку і безперервності освоєння простору), забезпечувати нормативні терміни будівництва окремих будівель і комплексу в цілому при розумному використанні ресурсів. З урахуванням цих обставин визначається послідовність зведення будівель.

У комплексі до моменту здачі в експлуатацію офісних будівель та готелів має бути завершено будівництво торгівельної та розважальної нерухомості, і виконані всі роботи з інженерного обладнання, благоустрою та озеленення території. Передбачається, що усі об'єкти торгівельної та розважальної нерухомості зводяться окремим самостійним потоком у межах строків будівництва офісних будівель та готелів і не впливають на загальну тривалість будівництва комплексу. Далі підготовчі роботи, роботи з інженерного обладнання, благоустрою та озеленення території.

Загальномайданчикові підготовчі роботи виконують у таких обсягах, які забезпе-

чують планомірне освоєння території та необхідні для початку будівництва кожного об'єкта (починаючи від моменту забудови комплексу до початку будівництва останнього об'єкта).

Обсяги інженерних комунікацій повинні забезпечувати планомірне введення об'єктів в експлуатацію.

Роботи з благоустрою території починають після зведення надземних частин будівель і завершують закінченням оздоблювальних робіт, озеленення є сезонною роботою, а інші та непередбачені роботи виконуються протягом усього терміну будівництва комплексу.

З огляду на вище викладені вимоги, розробляється організаційно-технологічна схема поточного методу зведення будівель комплексу (рис. 1).

ЧЕТВЕРТИЙ ЕТАП. Розробка календарного плану в табличній формі.

Розподіл обсягів капітальних вкладень та вартості БМР за періодами будівництва об'єктів комплексу здійснюється на підставі розрахунку значень інтенсивності (I_i) та представлений в таблиці 4.

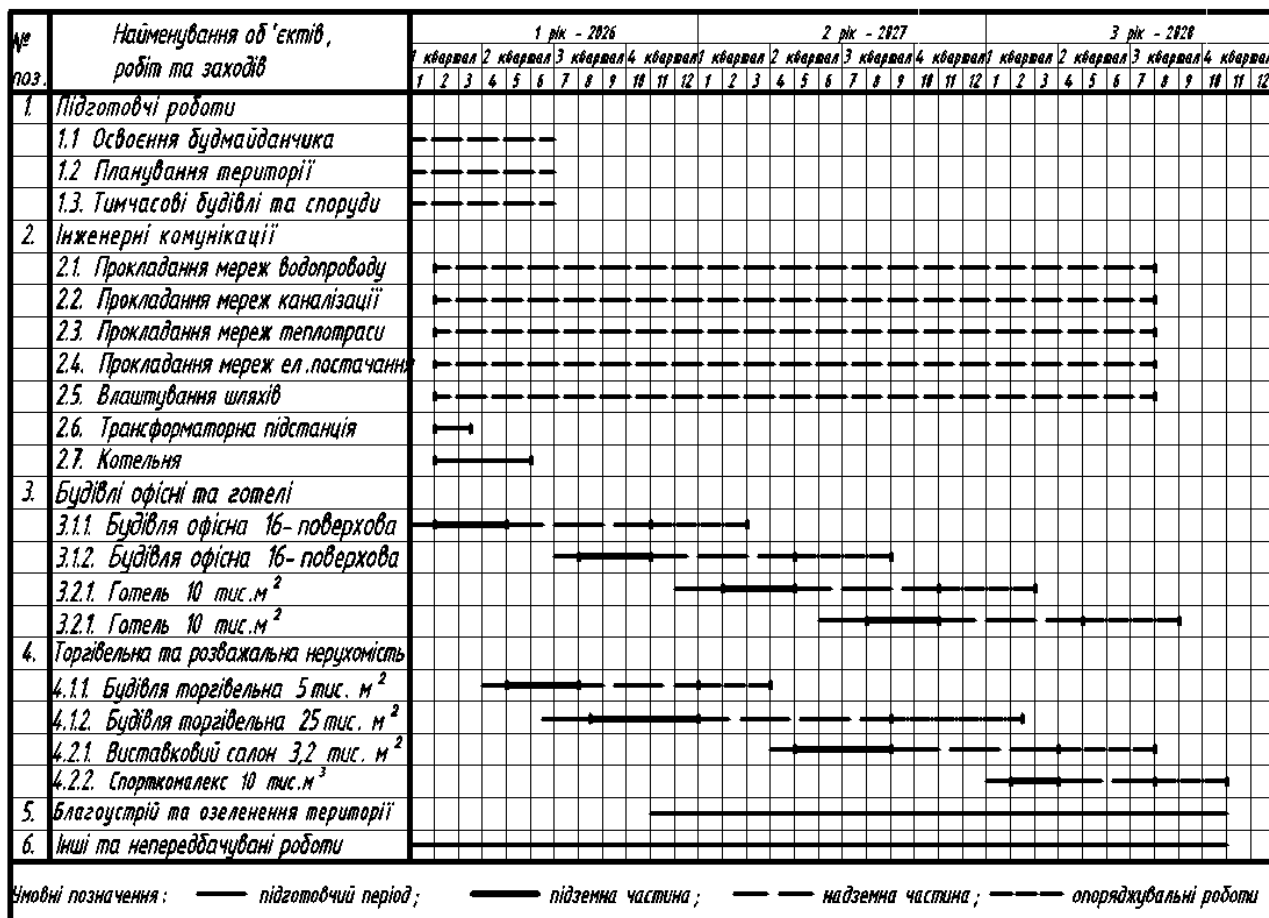


Рис. 1. Організаційно-технологічна схема забудови комерційного комплексу

Таблиця 4. Інтенсивність будівельних потоків по кожному об'єкту

№	Найменування об'єкту	I _{заг}	0,5I _{заг}	I _{БМР}	0,5I _{БМР}
1	2	3	4	5	6
1	Будівля офісна 16-поверхові 24 тис. м² загальної площі	41164,36	20582,18	32931,49	16465,75
2	Готель 10000 м² загальної площі	18160,91	9080,45	14528,73	7264,36
3	Будівля торговельна 5 тис. м² загальної площі	8878,89	4439,44	7991,00	3995,50
4	Будівля торговельна 25 тис. м² загальної площі	26636,67	13318,3	23973,00	11986,5
5	Виставковий салон 3200 м² загальної площі	4084,00	2042	3675,60	1837,8
6	Спортивний корпус з залом, басейном та критими ваннами об'ємом 10000 м³	11785,71	5892,86	10607,14	5303,5714

Таблиця 5. Календарний план будівництва комплексу

№ рядка	Найменування об'єктів, робіт та заходів	Кшторисная вартість, тис. грн.		Розподіл об'ємів капітальних вкладень та об'ємів БМР за періодами будівництва															
				1				2				3				4			
		Усього	у т.ч. БМР	1 рік				2 рік				3 рік							
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
	Підготовчі роботи	31879,92	31879,92	15939,96	15939,96														
				15939,96	15939,96														
1	1.1. Освоєння будівельного майданчика	7969,98	7969,98	3984,99	3984,99														
				3984,99	3984,99														
2	1.2. Планування території	11157,97	11157,97	5578,99	5578,99														
				5578,99	5578,99														
3	1.3. Тимчасові будівлі та споруди	12751,97	12751,97	6375,98	6375,98														
				6375,98	6375,98														
	Інженерні комунікації	127519,68	127519,68	9802,17	13402,40	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	4250,66			
				8891,57	12947,10	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	12751,97	4250,66			
4	2.1. Прокладка мереж водопроводу	19127,95	19127,95	1275,20	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	637,60			
				1275,20	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	637,60			
5	2.2. Прокладка мереж каналізації	25503,94	25503,94	1700,26	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	850,13			
				1700,26	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	2550,39	850,13			
6	2.3. Прокладка мереж теплотрас	31879,92	31879,92	2125,33	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	1062,66			
				2125,33	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	1062,66			
7	2.4. Прокладка мереж електропостачання	19127,95	19127,95	1275,20	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	637,60			
				1275,20	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	1912,80	637,60			
				2125,33	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	1062,66			
8	2.5. Влаштування шляхів	31879,92	31879,92	2125,33	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	1062,66			
				2125,33	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	3187,99	1062,66			
9	2.6. Трансформаторна підстанція	650,43	195,13	650,43															
				195,13															
10	2.7. Котельня	1300,86	390,26	650,43	650,43														
				195,13	195,13														
	Будівлі офісні та готелі																		
11	Будівля офісна 16-поверхові 24 тис. м2 загальної площі	452808,00	362246,40	61746,55	123493,09	123493,09	102910,91	41164,36											
				49397,24	98794,47	98794,47	82328,73	32931,49											
12	Будівля офісна 16-поверхові 24 тис. м2 загальної площі	452808,00	362246,40			61746,55	123493,09	123493,09	102910,91	41164,36									
						49397,24	98794,47	98794,47	82328,73	32931,49									
13	Готель 10000м2 загальної площі	199770,00	159816,00				9080,45	27241,36	54482,73	54482,73	36321,82	18160,91							
							7264,36	21793,09	43586,18	43586,18	29057,45	14528,73							
14	Готель 10000 м2 загальної площі	199770,00	159816,00						9080,45	27241,36	54482,73	54482,73	36321,82	18160,91					
									7264,36	21793,09	43586,18	43586,18	29057,45	14528,73					
	Торгівельна та розважальна нерухомість																		
15	Будівля торговельна 5 тис. м2 загальної площі	79910,00	71919,00		13318,33	26636,67	26636,67	13318,33											
					11986,50	23973,00	23973,00	11986,50											
16	Будівля торговельна 25 тис. м2 загальної площі	399550,00	359595,00		6659,17	39955,00	59932,50	79910,00	79910,00	73250,83	39955,00	19977,50							
					5993,25	35959,50	53939,25	71919,00	71919,00	65925,75	35959,50	17979,75							
17	Виставковий салон 3200 м2 загальної площі	49008,00	44107,20						6126,00	10210,00	12252,00	12252,00	6126,00	2042,00					
									5513,40	9189,00	11026,80	11026,80	5513,40	1837,80					
18	Спортивний корпус із залом, басейном об'ємом	82500,00	74250,00									17678,57	35357,14	23571,43	5892,86				
												15910,71	31821,43	21214,29	5303,57				
	ВСЬОГО по 3...4	1916124,00	1593996,00	61746,55	143470,59	251831,30	322053,62	285127,15	252510,09	206349,29	143011,55	122551,71	77804,96	43774,34	5892,86				
				49397,24	116774,22	208124,21	266299,81	237424,55	210611,67	173425,51	119629,94	103032,17	66392,28	37580,81	5303,57				
19	Благоустрій та озеленення	95639,76	95639,76				7969,98	11954,97	11954,97	11954,97	11954,97	11954,97	11954,97	11954,97	3984,99				
							7969,98	11954,97	11954,97	11954,97	11954,97	11954,97	11954,97	11954,97	3984,99				
20	Інші та непередбачені роботи	63759,84	63759,84	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	1875,29				
				5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	5625,87	1875,29				
24	Всього по комплексу	2236874,49	1913380,59	93114,55	178438,82	270209,14	348401,44	315459,96	282842,90	236682,09	173344,35	152884,51	108137,77	65605,83	11753,14				
				79854,63	151287,15	226502,05	292647,63	267757,36	240944,48	203758,32	149962,74	133364,98	96725,09	59412,31	11163,85				
	Графік розподілу загальної кошторисної вартості за кварталами: тис. грн.			93114,55	178438,82	270209,14	348401,44	315459,96	282842,90	236682,09	173344,35	152884,51	108137,77	65605,83	11753,14				
	Графік розподілу вартості БМР за кварталами: тис.грн.			79854,63	151287,15	226502,05	292647,63	267757,36	240944,48	203758,32	149962,74	133364,98	96725,09	59412,31	11163,85				
	Графік потреби в робітничих кадрах за кварталами: чел.			476	902	1350	1744	1596	1436	1214	894	795	576	354	67				
	Розподіл кошторисної вартості з наростаючим підсумком за кварталами, тис.грн.			93114,55	271553,36	541762,50	890163,94	1205623,90	1488466,79	1725148,89	1898493,24	2051377,75	2159515,52	2225121,35	2236874,49				
	Розподіл кошторисної вартості з наростаючим підсумком за кварталами, %			4,16%	12,14%	24,22%	39,79%	53,90%	66,54%	77,12%	84,87%	91,71%	96,54%	99,47%	100,00%				

При цьому приймаю закон зміни інтенсивності по періодах будівництва об'єктів – у періоди розгортання (τ_1) і згортання (τ_3) будівельних потоків інтенсивність становить 0,5 розрахункової (інтенсивності сталого періоду (τ_2) потоку). Періоди розгортання і згортання будівельного потоку приймаю рівними $\tau_1 = \tau_3 = 0,25T_{\text{заг}}$. Тоді при розподілі капітальних вкладень по кварталах враховую число місяців, що припадають на періоди розгортання або згортання потоків різної інтенсивності.

Календарний план будівництва комплексу комерційної нерухомості розробляється за ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва» та приведений в таблиці 5.

Розраховую і розробляю (таблиця 5): графік розподілу загальної вартості по кварталам, тис. грн.; графік розподілу вартості БМР по кварталам, тис.грн.; графік потреби в робочих кадрах по кварталам, люд; розподіл загальної вартості наростаючим підсумком по кварталам, тис.грн; розподіл загальної вартості наростаючим підсумком по кварталам, %.

П'ЯТИЙ ЕТАП. Розробка календарного плану підготовчого періоду будівництва.

Тривалість підготовчого періоду будівництва (T_n) визначається за формулою:

$$T_i = (0,5 \dots 0,8) T_{\text{заг}}^{\text{е}} = 5,1 \dots 6,8 \text{ місяців}$$

де $T_{\text{заг}}^{\text{к}} = 34$ міс. – загальний термін будівництва всього комплексу.

Прийнято 6 місяців.

План виконання будівельно-монтажних робіт підготовчого періоду (таблиця 6) розробляється на підставі титульного списку (табл. 1) та календарного плану будівництва комплексу (табл. 5).

У підготовчому періоді передбачається виконання будівельно-монтажних робіт в обсязі, що забезпечує нормальний початок та розвиток робіт зі зведення основних будівель та споруд комплексу. Виконання більшої частини будівельно-монтажних робіт підготовчого періоду в продовж перших місяців першого року будівництва дозволяє розпочати зведення основних будівель та споруд комплексу з другого кварталу першого року будівництва.

Таблиця 6. Календарний план виконання робіт в підготовчий період

№	Найменування об'єктів та робіт	Вартість БМР, тис.грн		Розподіл обсягів БМР по місяцям будівництва, тис.грн					
		Всього	У тому числі в підготовчий період	1 квартал			2 квартал		
				1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Освоєння будівельного майданчика	7969,98	7969,98	1328,33	1328,33	1328,33	1328,33	1328,3	1328,3
2	Планування території	11157,97	11157,97	1115,80	2231,59	2231,59	1859,66	1859,7	1859,7
3	Тимчасові будівлі та споруди	12751,97	12751,97	1912,80	1912,80	2550,39	2125,33	2125,3	2125,3
4	Прокладання мереж водопроводу	19127,95	3187,99		637,60	637,60	637,60	637,60	637,60
5	Прокладка мереж каналізації	25503,94	4250,66		850,13	850,13	850,13	850,13	850,13
6	Прокладка мереж теплотраси	31879,92	5313,32		1062,66	1062,66	1062,66	1062,7	1062,7
7	Прокладка мереж електропостачання	19127,95	3187,99		637,60	637,60	637,60	637,60	637,60
8	Влаштування доріг	31879,92	5313,32		1062,66	1062,66	1062,66	1062,7	1062,7
9	Трансформаторна підстанція	195,13	195,13		130,09	65,04			
10	Котельня	390,26	390,26		97,56	97,56	97,56	97,56	
11	Інші й непередбачені роботи	63759,84	11251,74	1875,29	1875,29	1875,29	1875,29	1875,3	1875,3
	Всього в підготовчий період	223744,8	64970,32	6232,21	11826,32	12398,87	11536,83	11536,8	11439,3

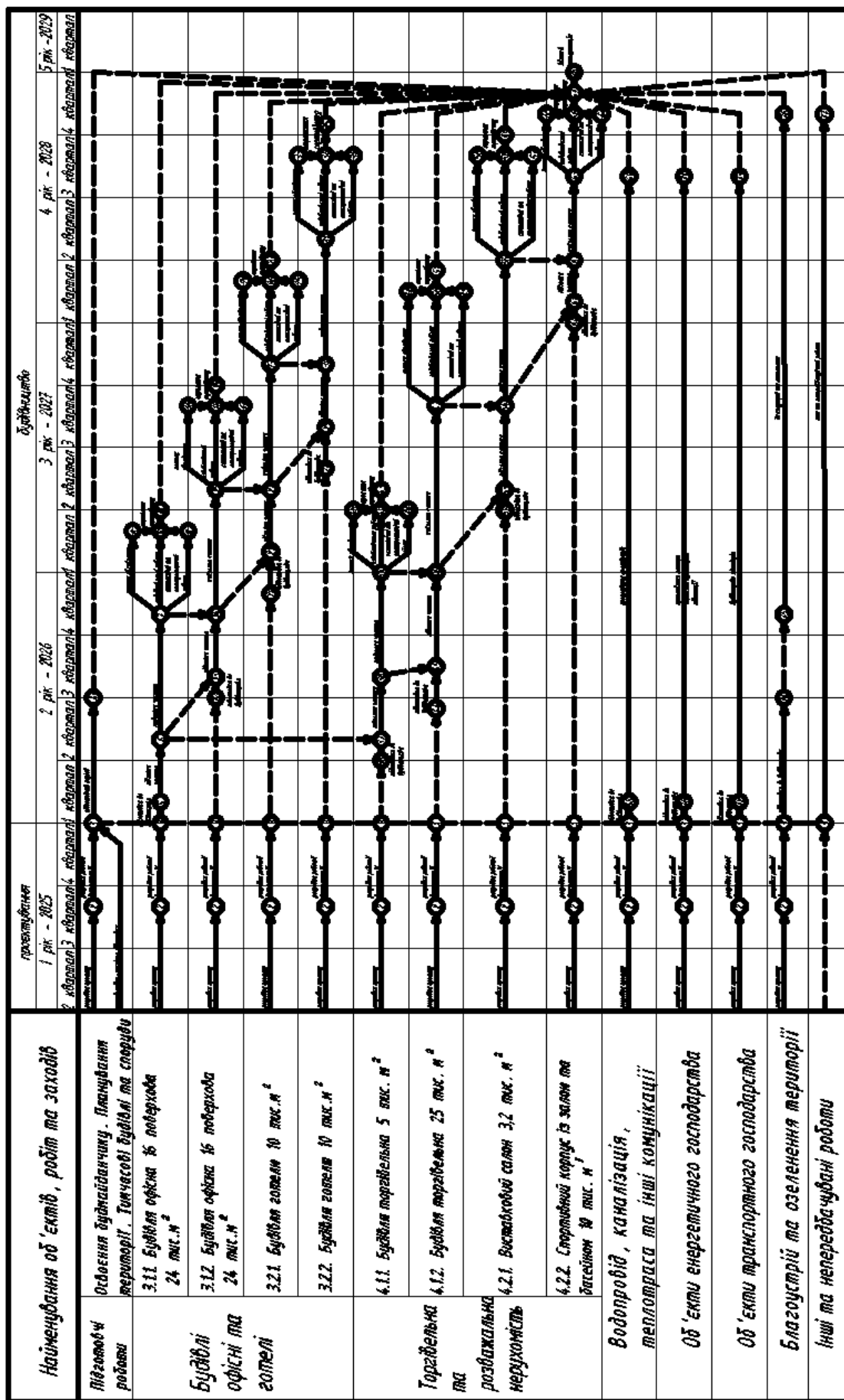


Рис. 2 Комплексний укрупнений сітєвий графік

ШОСТИЙ ЕТАП. Розробка комплексного укрупненого сітьового графіка.

Основою для розробки комплексного укрупненого сітьового графіка (рисунок 2) є титульний список (табл. 1) та календарний план будівництва комплексу в табличній формі (табл. 5).

По кожному об'єкту приймаються такі укрупнені роботи (стадій) та приймається наступне приблизне співвідношення в % вартості окремих стадій зведення будівель та споруд: підземна частина 10%; надземна частина 50%; оздоблювальні роботи 20%; сантехнічні та електромонтажні роботи 20%; монтаж обладнання 25%. Роботи по монтажу обладнання виконуються паралельно зі оздоблювальними роботами й сантехнічними та електромонтажними роботами.

По решті об'єктів та робіт приймаються роботи в цілому по комплексу: проєктні роботи, тобто розробка проєкту та робочої документації; роботи підготовчого періоду; підготовка до будівництва; прокладання комунікацій (водопровід, каналізація, тепломережі тощо); об'єкти енергетичного господарства; об'єкти транспортного господарства; благоустрій та озеленення.

Висновки. На першому етапі виконана оцінка містобудівної ситуації та характеристика об'єктів комплексу комерційної нерухомості. До складу комплексу включені різні типи будівель і споруд, які використовуються для здійснення бізнесу та отримання доходу. Перелік об'єктів комплексу та показник тривалості зведення наведені в таблиці 1.

На другому етапі для забезпечення всіх учасників проєкту чіткою і структурованою інформацією про проєкт, сприяння координації робіт, а також забезпечення контролю за виконанням будівельних робіт відповідно до затвердженої документації та графіка створюється титульний список. За допомогою якого виконується розрахунок вартості об'єктів комплексу комерційної нерухомості. Загальна вартість всього комплексу склала 2236 млн

874,5 тис грн, в тому числі вартість будівельно-монтажних робіт 1913 млн 380,6 тис грн.

На третьому етапі розроблена організаційно-технологічна схема поточного методу зведення будівель комплексу – календарний план на основі загальної організаційно-технологічної схеми будівництва, у якому встановлено: черговість та строки будівництва будівель та споруд, пускових комплексів та робіт підготовчого періоду з розподілом капітальних вкладень та кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт з етапів будівництва та у часі.

На четвертому етапі за допомогою організаційно-технологічної схеми виконано розрахунок інтенсивності фінансування будівельних потоків по кожному об'єкту. При цьому прийнятий закон зміни інтенсивності по періодах будівництва об'єктів – у періоди розгортання (τ_1) і згортання (τ_3) будівельних потоків інтенсивність становить 0,5 розрахункової (інтенсивності періоду (τ_2) потоку). Періоди розгортання і згортання будівельного потоку прийняті рівними $\tau_1 = \tau_3 = 0,25T_{\text{заг}}$. Що дозволило розробити календарний план будівництва містобудівного комплексу в табличній формі з розподілом загальної вартості та вартості будівельно-монтажних робіт за кварталами.

На п'ятому етапі у підготовчому періоді передбачається виконання будівельно-монтажних робіт в обсязі, що забезпечує нормальний початок та розвиток робіт зі зведення основних будівель та споруд комплексу. Виконання більшої частини будівельно-монтажних робіт підготовчого періоду в продовж перших місяців першого року будівництва дозволяє розпочати зведення основних будівель та споруд комплексу з другого кварталу першого року будівництва.

На шостому етапі сформований комплексний укрупнений сітьовий графік проєкування та будівництва комплексу комерційної нерухомості терміном 45 місяців (проєкування – 9 місяців, будівництво – 36 місяців).

Література

1. Posternak I.M., Posternak S.A. Posternak O.S. Технічні дослідження та розробки: колективна монографія / International Science Group. – Boston (USA): Primedia eLaunch, 2021. 616 (Розділ 8. Інноваційні технології: 8.3. CSTC T-PPR: організаційні заходи технології підвищення енергоефективності реконструкції будівель історичної забудови Одеси. С. 270–274). <https://surli.cc/metvgf>
2. Організація виробництва реконструкції будівель історичної забудови міст: звіт про НДР з 01.01.2017 по 31.12.2020 (проміжний) / Одеська держ. академія будівництва та архітектури; кер. І. М. Постернак. Шифр теми 55-НДР/ВІ № держреєстрації 0117U002172. Одеса, 2020. 74 с. URL: file:///C:/Users/User1/AppData/Local/Temp/0117U002172.pdf

3. Білик А.С. Аналіз життєвого циклу каркасів будівель комерційного призначення: *монографія*. – К.: УЦСБ, КНУБА, 7БЦ, 2022. – 266 с. <https://uscc.ua/uploads/page/images/publications/economic/lifecycle.pdf>
4. Постернак І. М. Конспект лекцій освітнього компоненту «Організація будівельного виробництва» для студентів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Менеджмент будівельних проєктів» другого (магістерського) рівня вищої освіти. 2024. Одеса: ОДАБА. 117с. <https://surl.li/klpvn>
5. Угненко Є. Б. Основи організації будівництва та будівельного виробництва: *конспект лекцій*. / Є.Б. Угненко, О.М.Тимченко, Н.В. Білікова – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – Ч. 1. 81 с. <https://surl.li/znmtee>
6. Konior, J., & Szóstak, M. The S-curve as a tool for planning and controlling of construction process – case study. *Applied Sciences*, 10(6)-2071. 2020. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/6/2071>
7. Przywara, D., & Rak, A. Monitoring of time and cost variances of schedule using simple earned value method indicators. *Applied Sciences*, 11(4)-1357. 2021. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1357>
8. Leśniak, A., & Zima, K. Cost calculation of construction projects including sustainability factors using the Case Based Reasoning (CBR) method. *Sustainability*, 10(5)-1608. 2018. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/5/1608>
9. Milat, M., Knezić, S., & Sedlar J. Resilient scheduling as a response to uncertainty in construction projects. *Applied Sciences*, 11(14)-6493. 2021. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/14/6493>
10. Szafranko, E., & Harasymiuk, J. Modelling of decision processes in construction activity. *Applied Sciences*, 12(8)-3797. 2022. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/8/3797>

References

1. Posternak I.M., Posternak S.A. Posternak O.S. (2021). Technical research and development: collective monograph / International Science Group. – Boston (USA): Primedia eLaunch. 616 [Section 8. Innovative technologies: 8.3. CSTC T-PPR: organizational measures technologies of enhancing energy efficiency of reconstruction buildings historical building of Odessa. 270–274]. <https://surl.li/ccmetvgf>
2. Posternak, I. M. (2020). Orhanizatsiia vyrobnytstva rekonstruktsii budivel istorichnoi zabudovy mist: zvit pro NDR z 01.01.2017 po 31.12.2020 (promizhnyi) / Odeska derzh. akademiia budivnytstva ta arkhitektury; ker. I. M. Posternak. Shyfr temy 55-NDR/VI № derzhreistratsii 0117U002172. Odesa, 74 s. Retrieved from file:///C:/Users/User1/AppData/Local/Temp/0117U002172.pdf
3. Bilyk A.S. (2022). Analiz zhyttievoho tsykladu karkasiv budivel komertsiiinoho pryznachennia: monohrafiia. – К.: UTsSB, KNUBA, 7BTs, 2022. – 266 s. <https://uscc.ua/uploads/page/images/publications/economic/lifecycle.pdf>
4. Posternak I. M. (2024). Konspekt lektsii osvithnoho komponentu «Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva» dlia studentiv za spetsialnistiu 192 «Budivnytstvo ta tsyvilna inzheneriia» osvithno-profesiinoi prohramy «Menedzhment budi-velnykh proiektiv» druhoho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvity. Odesa: ODABA. 117s. <https://surl.li/klpvn>
5. Uhnenko Ye. B. (2019). Osnovy orhanizatsii budivnytstva ta budivelnoho vyrobnytstva: Konspekt lektsii. / Ye.B. Uhnenko, O.M. Tymchenko, N.V. Bielikova – Kharkiv: UkrDUZT. – Ch. 1. 81s. <https://surl.li/znmtee>
6. Konior, J., & Szostak, M. (2020). The S-curve as a tool for planning and controlling of construction process – case study. *Applied Sciences*, 10(6), 2071. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/6/2071>
7. Przywara, D., & Rak, A. (2021). Monitoring of time and cost variances of schedule using simple earned value method indicators. *Applied Sciences*, 11(4), 1357. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1357>
8. Lesniak, A., & Zima, K. (2018). Cost calculation of construction projects including sustainability factors using the Case Based Reasoning (CBR) method. *Sustainability*, 10(5), 1608. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/5/1608>
9. Milat, M., Knezic, S., & Sedlar J. (2021). Resilient scheduling as a response to uncertainty in construction projects. *Applied Sciences*, 11(14), 6493. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/14/6493>
10. Szafranko, E., & Harasymiuk, J. (2022). Modelling of decision processes in construction activity. *Applied Sciences*, 12(8), 3797. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/8/3797>

ORGANIZATION OF CONSTRUCTION PRODUCTION OF THE BUILDING COMPLEX OF COMMERCIAL BUILDINGS

Abstract. *An assessment of the urban planning situation and a description of the objects of the commercial real estate complex were carried out to provide all project participants with clear and structured information about the project, facilitate coordination of work, and ensure control over the execution of construction works. In accordance with the approved documentation and schedule, a title list was created to calculate the cost of the objects of the urban planning complex. The total cost of the entire complex amounted to 2236 million 874.5 thousand UAH, including the cost of construction and installation works of 1913 million 380.6 thousand UAH. An organizational and technological scheme of the current method of construction of the complex buildings was developed – a calendar plan based on the general organizational and technological scheme of construction, which establishes: the sequence and timing of construction of buildings and structures, commissioning complexes and preparatory period works with the distribution of capital investments and the estimated cost of construction and installation works by construction stages and over time. Using the organizational and technological scheme, the intensity of financing of construction flows for each object was calculated, which made it possible to develop a calendar plan for the construction of*

the urban development complex in tabular form with a distribution of the total cost and the cost of construction and installation works by quarters. In the preparatory period, it is planned to carry out most of the construction and installation works during the first months of the first year of construction, which allows the construction of the main buildings and structures of the complex to begin from the second quarter of the first year of construction. A comprehensive enlarged network schedule for the design and construction of the commercial real estate complex for a period of 45 months was formed (design – 9 months, construction – 36 months).

Key words: *management of construction, calendar construction plan, construction and installation works, construction flows, commercial real estate complex.*

Posternak I.M.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, the Associate Professor Department
Organization of construction and labor protection,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

Posternak S.O.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, the technical expert of private, company
"Composite", Odesa

Posternak O.S.

student of higher education degree "Bachelor" educational professional program "
Construction and civil engineering",
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

УДК 504:574.08:681.78

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2025.46.6>**Савченко І.О.**

аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління імені професора А.П. Ладанюка,

Національний університет харчових технологій, м. Київ

ORCID: 0000-0002-5798-7104

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ЧИННИКІВ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Анотація. У статті аналізуються інформаційно-логічні моделі для оцінювання впливу техногенного навантаження (ТН) на навколишнє середовище. Акцентується брак об'єктивної інформації про обсяги ТН та неможливість ретроспективного аналізу змін, що ускладнює оцінку екологічного стану. Розглядається задача ретроспективного аналізу ТН та оцінки його впливу на складові довкілля за індикаторами й індексами, що зводиться до екологічного оцінювання розподілу чинників ТН на території об'єднаних територіальних громад (ОТГ). Визначено задачу ідентифікації складу, структури чинників ТН та причинно-наслідкових зв'язків між ними. Зазначається, що техногенні чинники визначають інтегральну характеристику впливу потоку ТН на об'єкти природно-техногенної геосистеми (ПТГС). Проаналізовано методи експертного оцінювання, зокрема, методи інтервальних оцінок, аналізу ієрархій, східчастій матриці та мережних діаграм. Приділено увагу причинно-наслідковим діаграмам. Детально досліджується структурно-логічна модель потоку ТН та факторів впливу. Підкреслюється, що стратифікація факторів ТН може здійснюватись за типами техногенного впливу, що дозволяє побудувати ієрархічну структурно-логічну модель оцінки потоку ТН. Представлено підхід до проведення комплексної оцінки, який базується на багатокритеріальній оцінці загроз з подальшою згортою до інтегрального індексу. Розглядається вплив факторів ТН на забруднення складових геосфер ПТГС ОТГ. Забруднення визначається як зміна властивостей складових геосфер, що призводить до погіршення функцій наземних і водних екосистем. Розглядаються питання розробки системної класифікації джерел ТН, наприклад, характер та природа походження, сфера та масштаби поширення, тип та режим функціонування джерела. Описано використання шкали Сааті для експертних оцінок і формули для розрахунку індексу та відношення узгодженості. Наведено класифікацію критеріїв і факторів оцінювання потоку ТН та шкалу оцінок відносної важливості. Розглядається розробка процедури для проведення оцінки впливу техногенного навантаження на водні об'єкти на території громади.

Ключові слова: техногенне навантаження, оцінювання екологічної безпеки, об'єднані територіальні громади, стратифікація чинників, причинно-слідчі діаграми, метод Дельфи, метод аналізу ієрархій Сааті, багатокритеріальна оцінка, інтегральний індекс, експертні оцінки, вагові коефіцієнти.

Постановка проблеми. Відсутність об'єктивної інформації про об'єми техногенного навантаження (ТН) та неможливість проведення ретроспективного аналізу його змін викликає певні труднощі при проведенні поточного оцінювання екологічного стану об'єктів навколишнього середовища. В цьому випадку виникає задача ретроспективного аналізу ТН та оцінювання його впливу на стан складових навколишнього середовища за індикаторами та індексами, що в кінцевому рахунку

зводиться до екологічного оцінювання розподілу чинників ТН на території об'єднаних територіальних громад (ОТГ) за узагальненим інформаційним портретом.

Через багатфакторність та комплексність впливу ТН на об'єкти природно-техногенної геосистеми (ПТГС) однією із задач є ідентифікація складу, структури чинників ТН і причинно-наслідкових зв'язків між ними. В значній мірі, техногенні чинники визначають на якісному рівні інтегральну характеристику

впливу потоку ТН на об'єкти ПТГС, який формується внаслідок нього.

Аналіз останніх досліджень. Як відомо із публікацій [1, 2], для подібних задач в галузі інженерної екології застосовуються методи експертного оцінювання, серед яких найбільш відомими є методи інтервальних оцінок, аналізу ієрархій, східчастої матриці та мережних діаграм.

Процедура побудови причинно-наслідкових діаграм, що є одним із інструментів для логіко-інформаційного моделювання в системах управління якості [3], ґрунтується на дослідженні структурно-логічної моделі потоку ТН та чинників впливу на НПС (рис. 1).

У статті Девітофранческо А., Геллер М., Мероні І., Модіка М., Палеарі С., Зоболі Р. [4] (2016) «Оцінка стійкості міських територій через багатокритеріальну систему підтримки прийняття рішень» розглядаються інноваційні рішення для підвищення енергоефективності старих будівель та зменшення їхнього негативного впливу на навколишнє середовище.

У статті Ней Дж. Дж., Абковіц М., Чу Е., Галлагер Д., Райт Г. [5] (2014) «Огляд моделей підтримки прийняття рішень щодо адаптації до зміни клімату в контексті розвитку» розглядаються моделі підтримки прийняття рішень для адаптації до зміни клімату в контексті розвитку

та підкреслюється важливість інтеграції місцевих знань та участі громад у плануванні стратегій адаптації.

У роботі Ванг М. Е. [6] (2018) «Ми повинні довіряти цьому, або ж можемо просто викинути це»: Використання систем підтримки прийняття рішень під час екстремальних погодних явищ» розглядається використання систем підтримки прийняття рішень (СППР) в екстремальних погодних умовах і підкреслюється важливість довіри до автоматизованих систем для ефективного управління в надзвичайних ситуаціях.

У статті Масареллі К., Бінетті М. С., Тріюцці М., Уріккіо В. Ф. [7] (2023) «Перший крок до розробки системи підтримки прийняття рішень на основі інтеграції моніторингу навколишнього середовища для охорони регіональних водних ресурсів» проаналізовано поширені джерела забруднення, такі як нітрати, пестициди та важкі метали, з метою розробки системи підтримки прийняття рішень для захисту водних ресурсів у регіоні Апулія в Італії.

У статті Таральйо С., К'еза С., Ла Порта Л., Полліно М., Вердеккія М., Томассетті Б., Колайуда В., Ломбарді А. [8] (2019) «Система підтримки прийняття рішень для розумного міського управління: стійкість до природних явищ і повітряна екологічна оцінка» представлено нову концепцію системи підтримки

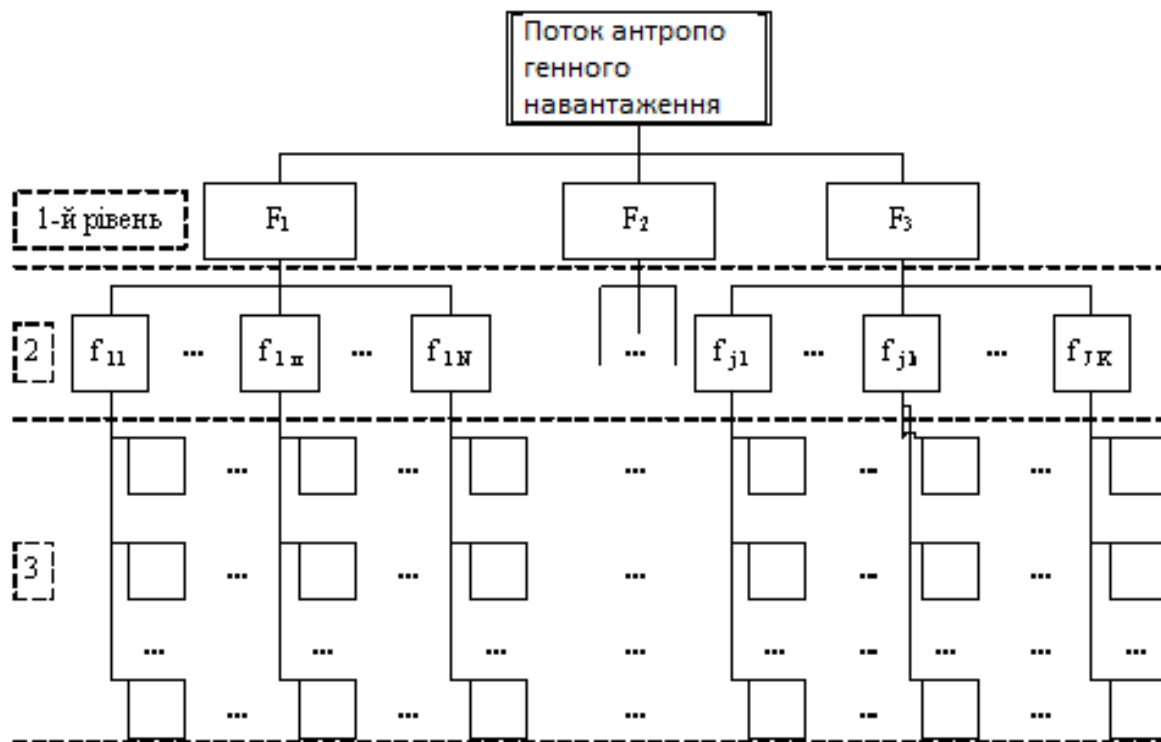


Рис. 1. Ієрархічна структурно-логічна модель потоку ТН

прийняття рішень (СППР), яка забезпечує комплексний аналіз ризиків для критичної інфраструктури, включаючи прогнозування інцидентів, оцінку потенційних збитків і впливу на міське середовище.

Мета роботи. Розробка комплексного методу оцінювання рівня екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів ОТГ в умовах глобальних кліматичних змін і ведення бойових дій.

Результати досліджень. Для нашого випадку, коли відсутні дані про кількісні характеристики чинників ТН і оцінка впливу цілого ряду небезпечних чинників погано формалізується через відсутність попередніх досліджень в цій галузі, доцільним є поєднання застосування методів стратифікації, причинно-наслідкових діаграм, методу Дельфи та методу аналізу ієрархій Сааті, які за наявних ресурсних та фінансових обмежень дозволяють побудувати ефективний комплексний метод оцінювання рівня екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів (ВО) ОТГ. Він дасть можливість розробити структуровані ієрархічні дерева впливу чинників ТН на гідросферу та побудувати їх інформаційний портрет.

Ієрархічна структурно-логічна модель потоку ТН має три рівні – типи впливу, фактороформуючі впливи та безпосередньо чинники впливу. Для ідентифікації складу

чинників впливу ТН на ВО та визначення їх взаємозалежності і виявлення відносної значимості умовно представимо їх у вигляді причинно-наслідкової діаграми. В нашому випадку причинно-наслідкова діаграма є інструментом, що дозволяє виявляти найбільш істотні чинники впливу ТН на НПС та їх ієрархічну підпорядкованість в загальній структурі ТН.

Стратифікація чинників потоку ТН дозволяє зробити їх селекцію за напрямками та рівнями впливу на ВО, що відображають необхідну інформацію про процеси техногенезу. Відповідно до цього методу проводять розширення статистично достовірних даних про чинники ТН. Ці дані групують залежно від умов їх отримання і проводять обробку кожної групи чинників окремо. Дані, розділені на групи за їх особливостями, називають шарами (стратами), а сам процес розподілу на шари (страти) – стратифікацією.

Стратифікація чинників ТН може бути проведена за типами техногенного впливу. У стратах типів впливу – за факторами, які можуть бути стратифіковані за первинними чи вторинними впливами. Відповідно до методу стратифікації можна побудувати наступну ієрархічну структурно-логічну модель оцінювання потоку ТН (див. рис. 2), яка певним

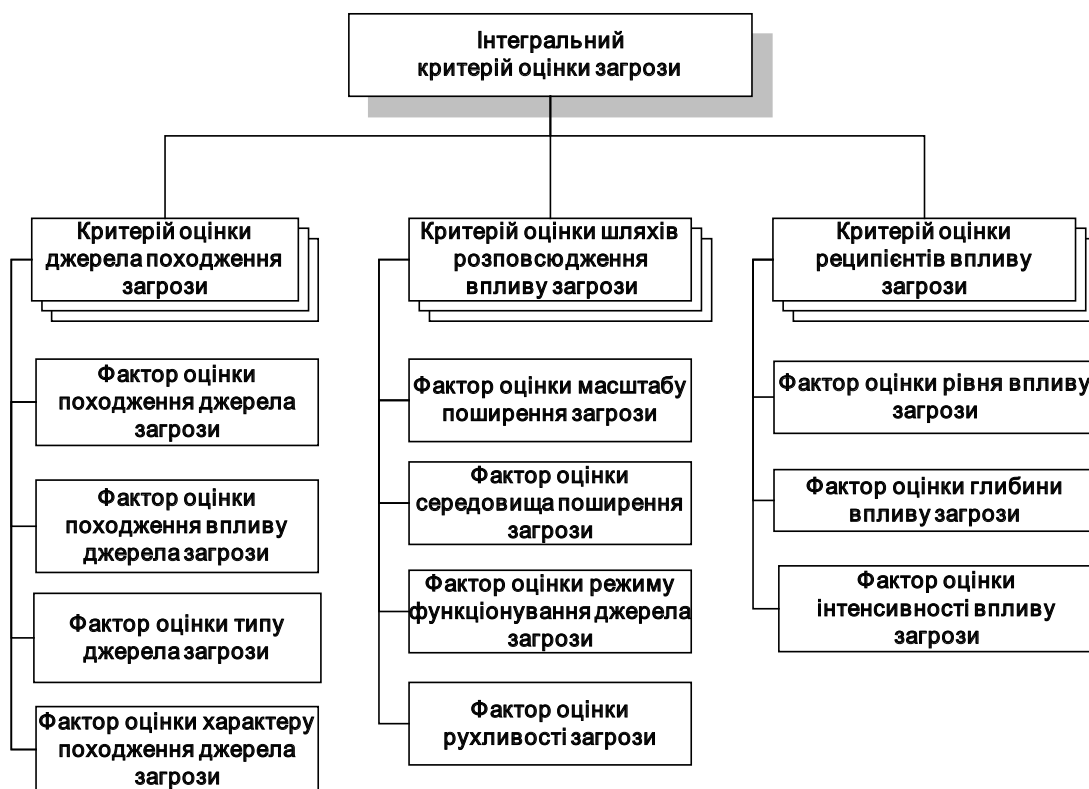


Рис. 2. Ієрархічна структурно-логічна модель оцінювання потоку ТН [9]

чином характеризує ієрархію факторів оцінювання ТН, їх взаємну узгодженість та логічний зв'язок між рівнями формалізації.

Об'єктивність вирішення задачі оцінювання потоку ТН *обумовлюється забезпеченням критеріями достатньо повного ланцюга оцінювання ознак загроз*. Це означає, що критерії описують всі важливі аспекти мети оцінки, але при цьому доцільно мінімізувати їх число. Остання вимога задовольняється, якщо критерії є незалежними, не пов'язані між собою (наприклад, бажано не використовувати в різних складових критеріях однакові вимірювані величини або величини, які виводяться одна з одної, тощо).

Процедура проведення комплексної оцінки базується на підходах багатокритеріальної оцінки загроз з подальшою згортою її до інтегрального індексу. Як правило, вона набуває практичного сенсу лише в тому випадку, коли використовується такий метод, при якому багатокритеріальна задача оцінювання зводиться до однокритеріальної [9]. Проте очевидні переваги об'єднання декількох критеріїв в один суперкритерій супроводжуються деякими труднощами і недоліками, які необхідно враховувати при використанні цього методу.

Дія факторів ТН призводить до забруднення складових геосфер ПТГС ОТГ, що означає зміну їх властивостей через дії ТН, які погіршують функції наземних і водних екосистем щодо живих об'єктів біосфери.

Джерело забруднення ПТГС (джерело чинників ТН) – це техногенний об'єкт, бойові дії або природне явище, від якого забруднення або вплив надходить у складові геосфери

(атмосфера, літосфера, гідросфера, біосфера) об'єкту НПС.

Для розробки системної класифікації джерел ТН на об'єкти НПС розглянемо існуючий на сьогодні досвід. У методиці [10] питанню класифікації джерел забруднення антропогенного походження приділено значну увагу. При цьому класифікаційними ознаками забруднень є ситуації їх виникнення, характер джерел забруднення і регулярність функціонування. У Постанові КМУ [11] наведено характеристику основних видів забруднення об'єктів НПС та періодичність проведення моніторингу їх показників. У статті [12] на основі системного підходу узагальнено чинники ТН, які можуть бути використані при розробці системної класифікації джерел і чинників ТН.

Порівняльний аналіз існуючих класифікацій техногенного навантаження та узагальнення досвіду в цій галузі дозволяють сформулювати наступні класифікаційні ознаки ТН: характер походження; природа походження; сфера поширення; масштаби поширення; тип джерела; режим функціонування джерела.

Склад ознак факторів оцінювання, часткових та інтегрального критеріїв проводиться відповідно до вищевикладених підходів згідно із таблицею 1.

Керуючись цим підходом, узагальнені адитивну та мультиплікативні цільові функції можна представити у вигляді [9]:

$$J_X(e) = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{s_i} J_i(e_i), \quad (1)$$

$$J_H(e) = \prod_{i=1}^n \frac{a_i}{s_i} J_i(e_i), \quad (2)$$

Таблиця 1. Шкала оцінок відносної важливості

Бал оцінки	Визначення	Пояснення
1	Елементи однаково важливі (пріоритетні)	Рівний внесок двох елементів в досягнення мети
3	Незначна перевага одного над іншим	Є умови, що надають легку перевагу одного над іншим
5	Істотна перевага	Існують вагомі факти, що один істотно важливіший від іншого
7	Явна перевага одного над іншим	Є беззаперечні факти переваг одного над іншим
9	Дуже сильна перевага	Очевидність переваги одного над іншим не викликає сумнівів
2, 4, 6, 8	Проміжний результат рішення між двома сусідніми міркуваннями	Застосовується в компромісному випадку
Обернені розміри приведених вище чисел	Якщо при порівнянні одного елементу з іншим отримано одне з вище зазначених чисел (наприклад, 3), то при зворотному порівнянні елементів одержимо зворотне число (тобто 1/3)	

де α_i і s_i – вагові коефіцієнти, які можуть визначатися експертним шляхом за допомогою процедур попарного порівняння методу аналізу ієрархій Сааті (МАІС).

Кожен частковий критерій J_i складається з множини факторів f_{ij} . Для отримання експертних оцінок відповідних впливів загроз експерти заповнюють анкети, в яких присвоюють відповідні оцінки ознакам факторів e_j , значення яких можна зафіксувати в бальній шкалі або в шкалі, що відповідає бальній шкалі МАІС [9] (табл. 1). Шкала – це система чисел визначеної послідовності чи інших елементів, прийнятих для виміру чи оцінювання величин, виявлення зв'язків і відносин між елементами [13].

*Бальна шкала є проміжною між порядковою та інтервальною. Якщо є впевненість, що всі експерти користуються єдиною бальною шкалою, як це буває, наприклад, за наявності спеціальних еталонів, то бальна шкала наближається до інтервальної, і бальні оцінки обробляють як кількісні.

Розробка процедури оцінювання впливу техногенного навантаження на водні об'єкти громади. Попарні порівняння проводяться за домінуванням одного елемента над іншим та виражаються в цілих числах за шкалою Сааті (див. табл. 1). Для уніфікації відповіді експертів повинен бути заданий однаковий спосіб і шкала оцінки. Експерти заповнюють матриці парних порівнянь за відповідними факторами критеріїв оцінювання (див. рис. 2).

Під час попарних порівнянь порівняння елемента з самим собою дає одиницю, результат порівняння першого елемента з другим – оцінку a_{12} , результат порівняння першого елемента з третім – оцінку a_{13} і т.д. Кожен експерт проводить експертизу незалежно, а результати записуються до таблиці 3, яка представляє структуру матриць парних порівнянь. На етапі 3 для одержання кожної матриці потрібно $n(n-1)/2$ суджень.

Дані таких оцінок, отримані від m експертів, зводяться в матрицю порівнянь (див.

Таблиця 2. Класифікація критеріїв і факторів оцінювання потоку ТН

Критерій оцінки джерела походження загрози.						
1. Фактор оцінки походження джерела загрози						
Військові дії	Глобальні кліматичні зміни		Надзвичайні ситуації	Промислова діяльність	Агропромислова діяльність	
2. Фактор оцінки походження впливу джерела загрози						
Радіоактивне	Хімічне	Електромагнітне	Механічне	Акустичне	Вібраційне	Теплове
3. Фактор оцінки типу джерела загрози						
Неорганізовані	Організовані	Групові	Одиночні	Площинні	Точкові	
4. Фактор оцінки характеру походження джерела загрози						
Ланцюжкове	Фактороформуюче			Безпосереднє	Вторинне	
Критерій оцінки шляхів розповсюдження впливу загрози.						
1. Фактор оцінки масштабу поширення загрози						
Глобальне	Міждержавне	Регіональне	Охоплює об'єкти ПЗФ		Місьцеве	Локальне
2. Фактор оцінки середовища поширення загрози						
Атмосферне повітря	Ґрунтові води		Поверхневі води	Ґрунти	Морські води	
3. Фактор оцінки режиму функціонування джерела загрози						
Постійно діюче	Періодично діюче	Епізодично діюче		Одноразове	Випадкове	
4. Фактор оцінки рухливості загрози						
Рухома		Малорухома			Нерухома	
Критерій оцінки реципієнтів впливу загрози.						
1. Фактор оцінки рівня впливу загрози						
Ландшафтний	Екосистемний	Флористичний	Фауністичний	Популяційний	Видовий	
2. Фактор оцінки глибини впливу загрози						
Незворотній		Частково зворотній			Зворотній	
3. Фактор оцінки інтенсивності впливу загрози						
Висока		Середня			Мала	
Інтегральний критерій оцінки загрози.						

Таблиця 3. Матриця парних порівнянь за відповідними критеріями

ВО	x_1	x_2	...	x_i	...	x_n
x_1	$a_{11}=1$	a_{12}	...	a_{1i}	...	a_{1n}
x_2	a_{21}	$a_{22}=1$	...	a_{2i}	...	a_{2n}
...	...	...	...	...	...	...
x_i	a_{i1}	...	...	$a_{ii}=1$	...	a_{in}
...	...	...	...	...	...	...
x_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{ni}	...	$a_{nn}=1$

табл. 4) за відповідним критерієм, у кожній клітинці якої ij стоїть число a_{ij} , яке дорівнює осередненій сумі оцінок переваги i -го фактору оцінювання над j -м за відповідним критерієм, отриманих від усіх m експертів:

$$\overline{a_{ij}} = \frac{1}{m} \times \sum_{k=1}^m a_{ijk}, \quad (3)$$

де $k \in \{1, 2, \dots, m\}$, m – кількість експертів.

Таблиця 4. Матриця парних порівнянь за критеріями із осереднених оцінок усіх експертів

ВО	x_1	...	x_i	...	x_n
x_1	$\overline{a_{11}} = 1$	...	$\overline{a_{1i}}$	...	$\overline{a_{1n}}$
...	...	...	...	...	...
x_i	$\overline{a_{i1}}$	...	$\overline{a_{ii}} = 1$	...	$\overline{a_{in}}$
...	...	...	...	...	...
x_n	$\overline{a_{n1}}$	...	$\overline{a_{ni}}$	...	$\overline{a_{nn}} = 1$

Для кожної матриці порівнянь A є рішення рівняння

$$A \times w = \lambda_{\max} \times w, \quad (4)$$

де $\lambda_{\max}$ – максимальне власне значення.

Для кожного рядка матриці порівнянь осереднених за «експертами» оцінок обчислюються компоненти власного вектору щодо рядків матриці:

$$\begin{aligned} w_1 &= (\overline{a_{11}} \times \overline{a_{12}} \times \overline{a_{13}} \times \dots \times \overline{a_{1n}})^{1/n}, \\ w_2 &= (\overline{a_{21}} \times \overline{a_{22}} \times \overline{a_{23}} \times \dots \times \overline{a_{2n}})^{1/n}, \\ &\dots \\ w_n &= (\overline{a_{n1}} \times \overline{a_{n2}} \times \overline{a_{n3}} \times \dots \times \overline{a_{nn}})^{1/n}, \end{aligned} \quad (5)$$

які нормуються діленням на $\sum_{i=1}^n w_i$ і дозволяють визначити вагові коефіцієнти:

$$k_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

Отриманий вектор w дає після нормалізації коефіцієнти пріоритетності, що показують

внесок елементів в досягнення відповідної мети. Ці компоненти також використовуються для оцінки узгодженості оцінок експертів.

Після проведення попарних порівнянь визначається індекс узгодженості (ІУ) і відношення узгодженості (ВУ). ІУ, що відображає порушення числової та транзитивної матриці порівнянь, є важливим елементом моделі визначення вагових коефіцієнтів порівнюваних ВО. Тому цей індекс можна розглядати як показник «близькості до узгодженості». Тобто похибки співвідношень $a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk}$, $k = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$. Для ІУ має місце наступна формула [13]:

$$ІУ = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (7)$$

де n – число порівнюваних елементів. Для обернено симетричної матриці

$$\lambda_{\max} \geq n. \quad (8)$$

Далі порівнюють отриману ІУ із тією, що утворилася б при випадковому виборі кількісних порівнянь із шкали $1/9, 1/8, \dots, 1, 2, \dots, 9$ з утворенням обернено симетричної матриці. Розділивши ІУ на середню випадкову узгодженість (СУ), одержують відношення узгодженості (ВУ):

$$ВУ = \frac{ІУ}{СУ}. \quad (9)$$

У табл. 5 середні узгодженості для випадкових матриць різного порядку.

Розмір ВУ не повинен перевищувати 10%. Іноді допускається до 20%. Якщо ВУ перевищує межі, то експертам потрібно перегдбується синтез пріоритетів з другого рівня вниз. Локальні пріоритети перемножуються на вищі пріоритети та підсумовуються за кожним елементом відповідно до коефіцієнтів важливості. Вектор пріоритетів ВО $P_{vp} = \{P_{vp1}, \dots, P_{vpn}\}$, який складається із компонентів P_{vpj} ($i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, 3}$), є інтегральною оцінкою i -го ТН за j -м критерієм. Наприклад для 1-го ВО:

$$\begin{aligned} P_{vp11} &= k_1 \times \overline{a_{11}} + k_2 \times \overline{a_{12}} + k_3 \times \overline{a_{13}} \\ P_{vp11} &= k_1 \times \overline{a_{21}} + k_2 \times \overline{a_{22}} + k_3 \times \overline{a_{23}} \\ &\dots \\ P_{vp1m} &= k_1 \times \overline{a_{n1}} + k_2 \times \overline{a_{n2}} + k_3 \times \overline{a_{n3}} \end{aligned} \quad (10)$$

На основі обчисленого вектору пріоритетів P_{vpj} можна провести ранжування ВО за вибраним критерієм оцінки і скласти матрицю пріоритетів

Таблиця 5. Середні узгодженості для матриць різного порядку [13]

Розмір матриці	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Середня випадкова узгодженість	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & \dots & L \\ x_1 & P_{vp11} & P_{vp12} & P_{vp13} & \dots & P_{vp1L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_i & P_{vpi1} & P_{vpi2} & P_{vpi3} & \dots & P_{vpiL} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & P_{vpn1} & P_{vpn2} & P_{vpn3} & \dots & P_{vpnL} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Для порівняння між собою об'єктів $VP_1, \dots, VP_n$ за векторними критеріями (див. рис. 2 і табл. 2) використаємо формули (3), (5), (6), (10), (11) і отримаємо компоненти власного вектору щодо рядків матриці пріоритетів:

$$W_i^* = \sqrt[L]{P_{vpi1} \times \dots \times P_{vpiL}}, \quad (12)$$

які нормуються діленням на $\sum_{i=1}^n W_i^*$ і дозволяють визначити вагові коефіцієнти:

$$\overline{W}_i^* = \frac{W_i^*}{\sum_{i=1}^n W_i^*} \quad (13)$$

для якої можна отримати інтегральні оцінки відповідного i -го ВО:

$$\begin{aligned} VP_1 &= \overline{W}_1^* \times P_{vp11} + \overline{W}_2^* \times P_{vp12} + \overline{W}_3^* \times P_{vp13} + \dots + \overline{W}_L^* \times P_{vp1L}, \\ VP_2 &= \overline{W}_1^* \times P_{vp21} + \overline{W}_2^* \times P_{vp22} + \overline{W}_3^* \times P_{vp23} + \dots + \overline{W}_L^* \times P_{vp2L}, \\ &\dots \\ VP_n &= \overline{W}_1^* \times P_{vpn1} + \overline{W}_2^* \times P_{vpn2} + \overline{W}_3^* \times P_{vpn3} + \dots + \overline{W}_L^* \times P_{vpnL} \end{aligned} \quad (14)$$

1. Етапи 3, 4 і 5 проводяться для всіх рівнів і груп в ієрархії.

2. Потім використовують ієрархічний синтез для зважування власних векторів за коефіцієнтами важливості чи пріоритетності критеріїв і обчислюють суми за усіма відповідними зваженими компонентами власних векторів кожного рівня ієрархії, що лежить нижче.

3. Узгодженість ієрархії визначається шляхом перемноження кожного індексу узгодженості ІУ на пріоритет і підсумовування результатів. Потім цей результат ділиться на середньовипадкову узгодженість (див. табл. 4). Прийнятна узгодженість — біля 10% або менше. Якщо вона вища, потрібно поліпшити якість суджень, переглянувши питання при парних порівняннях або структуру задачі, повернувшись до етапу 2 для сумнівних частин ієрархії.

Тоді, відповідно до початкового допущення про те, що різниця у відповідях експертів пояснюється випадковими незалежними флуктуаціями щодо деяких «істинних» величин, для обробки даних оцінок можна використовувати звичні статистичні методи точкового оцінювання. Кожному ВО ОТГ слід привести у відповідність середній бал оцінювання:

$$x_j = \frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^m x_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Оцінки (15) приймаються як групові. При проведенні процедури комплексного оціню-

вання значення індикаторів і індексів загроз проектується на значення відповідних шкал.

Результати оцінювання впливу техногенного навантаження на водні об'єкти на території ОТГ Донбасу. Активні бойові дії відбуваються в найбільшому в світі вуглевидобувному регіоні України, який є однією з найбільших і найнебезпечніших природних-техногенних геосистем. Його площа становить до 53 тис. км², де проживає від 4 до 7 млн осіб.

На Донбасі розташовано понад 4000 потенційно небезпечних об'єктів, таких як шахти, металургійні та хімічні виробництва, полігони токсичних відходів тощо. Їхнє руйнування загрожує безпеці населення регіону [14].

Враховуючи вищезазначені умови, що склалися в цьому регіоні було розроблено індикативну схему проведення експрес-досліджень, які б дали змогу оцінити, найбільш уражаєму ланку, яка є критичною для забезпечення екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності в цьому регіоні.

На наш погляд, вода є ключовим індикатором екологічного стану Донбасу. Однак через бойові дії існує невизначеність щодо рівня забруднення вод різними речовинами через відсутність систематичного моніторингу.

Для аналізу введемо поняття інформаційної матриці розподілу чинників ТН, що будується на основі ієрархічної структурно-логічної моделі потоку ТН (див. рис. 3). Застосування методу інформаційної матриці є коректним, якщо можна порівнювати сумарну кількість інформації про перехід території ВО за факторами ТН в різні класи, що можуть порівнюватися один з одним.

У спрощених інформаційних матрицях всі техногенні чинники мають вагу 1, якщо присутні, і 0, якщо відсутні. Інтенсивність чинників ТН оцінюється за трьохбальною шкалою: 1 – слабка, 2 – середня, 3 – висока.

Інформаційні величини можуть порівнюватися лише, якщо одночасно виконуються наступні три умови: порівнюються індивідуальні кількості інформації, що містяться в ознаках про приналежність до відповідних класів ВО НПС ОТГ; порівнюються величини, розраховані для одного ВО чи певної його функціональної зони і різних класів; порівнюються величини, розраховані для різних ВО НПС ОТГ чи певних його функціональних зон і різних класів.

На рис. 3 наведено результати оцінювання впливу чинників ТН на ВО на території ОТГ за розробленою процедурою.

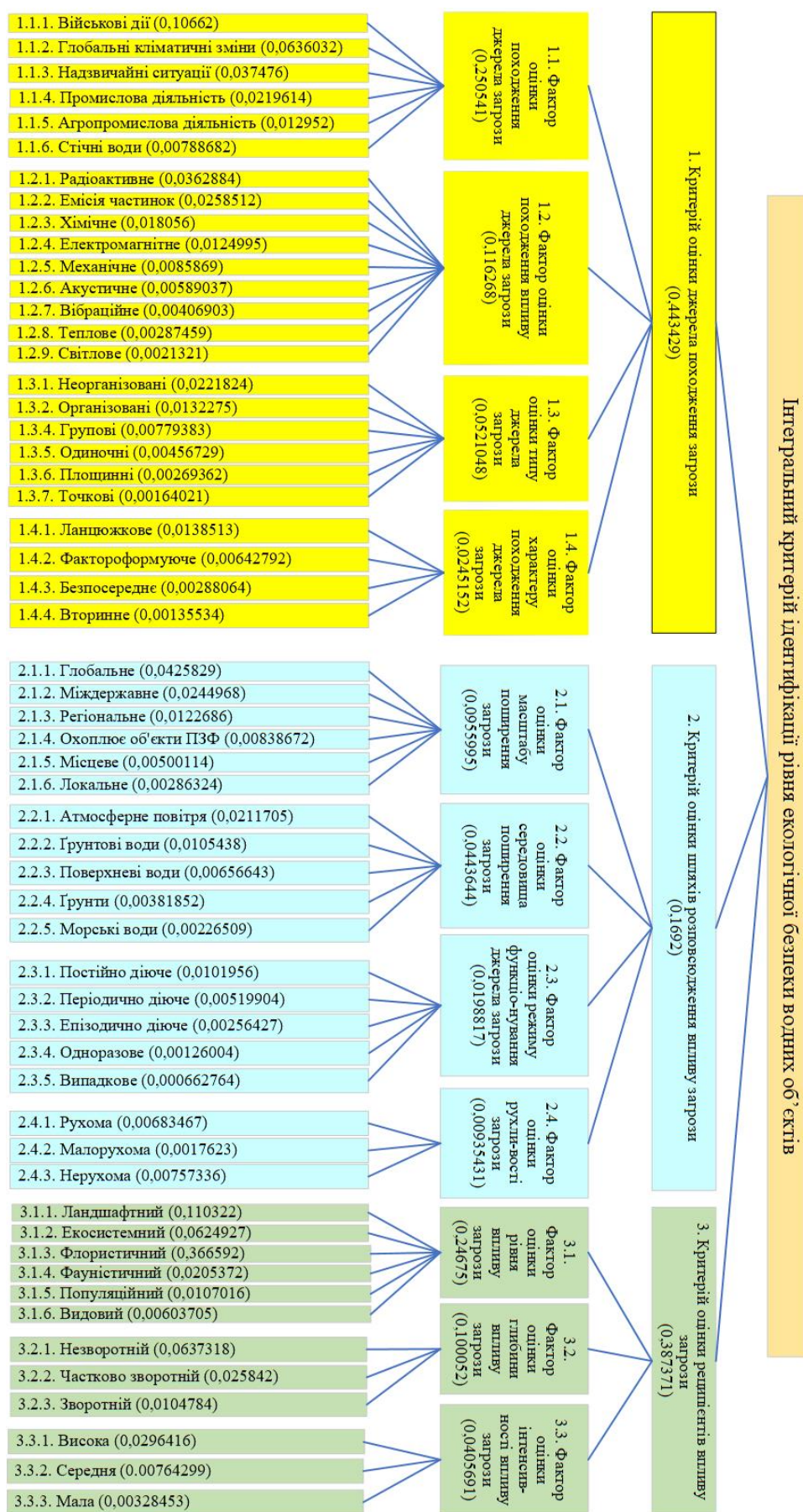


Рис. 3. Результати оцінювання впливу чинників ТН на ВО на території ОТГ

Аргументи цільової функції e_i , що є ознаками факторів в оцінках загроз за складовими критеріями, виражаються балами в безрозмірному вигляді. Для оцінки факторів в часткових критеріях складемо три системи рівнянь:

1. Критерій оцінки джерела загрози:

$$\begin{cases} f_{11}(e^1) = 0,1 \cdot e^1_{11} + 0,06 \cdot e^1_{12} + 0,04 \cdot e^1_{13} + \\ + 0,02 \cdot e^1_{14} + 0,01 \cdot e^1_{15} + 0,008 \cdot e^1_{16}, \\ f_{12}(e^1) = 0,04 \cdot e^1_{21} + 0,03 \cdot e^1_{22} + 0,02 \cdot e^1_{23} + \\ + 0,01 \cdot e^1_{24} + 0,009 \cdot e^1_{25} + 0,06 \cdot e^1_{26} + \\ + 0,004 \cdot e^1_{27} + 0,003 \cdot e^1_{28} + 0,002 \cdot e^1_{29}, \\ f_{13}(e^1) = 0,02 \cdot e^1_{31} + 0,01 \cdot e^1_{32} + 0,008 \cdot e^1_{33} + \\ + 0,005 \cdot e^1_{34} + 0,003 \cdot e^1_{35} + 0,002 \cdot e^1_{36}, \\ f_{14}(e^1) = 0,01 \cdot e^1_{41} + 0,006 \cdot e^1_{42} + \\ + 0,003 \cdot e^1_{43} + 0,001 \cdot e^1_{44}; \end{cases} \quad (16)$$

2. Критерій оцінки шляхів розповсюдження впливу загрози:

$$\begin{cases} f_{21}(e^2) = 0,04 \cdot e^2_{11} + 0,02 \cdot e^2_{12} + \\ + 0,01 \cdot e^2_{13} + 0,008 \cdot e^2_{14} + 0,005 \cdot e^2_{15} + 0,003 \cdot e^2_{16}, \\ f_{22}(e^2) = 0,02 \cdot e^2_{21} + 0,01 \cdot e^2_{22} + \\ + 0,007 \cdot e^2_{23} + 0,004 \cdot e^2_{24} + 0,002 \cdot e^2_{25}, \\ f_{23}(e^2) = 0,01 \cdot e^2_{31} + 0,005 \cdot e^2_{32} + \\ + 0,003 \cdot e^2_{33} + 0,001 \cdot e^2_{34} + 0,001 \cdot e^2_{35}, \\ f_{24}(e^2) = 0,007 \cdot e^2_{41} + 0,002 \cdot e^2_{42} + 0,008 \cdot e^2_{43}; \end{cases} \quad (17)$$

3. Критерій оцінки реципієнтів впливу джерела загрози:

$$\begin{cases} f_{31}(e^3) = 0,11 \cdot e^3_{11} + 0,06 \cdot e^3_{12} + \\ + 0,37 \cdot e^3_{13} + 0,02 \cdot e^3_{14} + 0,01 \cdot e^3_{15} + \\ + 0,006 \cdot e^3_{16}, \\ f_{32}(e^3) = 0,06 \cdot e^3_{21} + 0,03 \cdot e^3_{22} + 0,01 \cdot e^3_{23}, \\ f_{33}(e^3) = 0,03 \cdot e^3_{31} + 0,008 \cdot e^3_{32} + 0,003 \cdot e^3_{33}. \end{cases} \quad (18)$$

Після оцінки факторів обчислюють значення часткових критеріїв, за умови застосування адитивної цільової функції, за формулами:

1. Критерій оцінки джерела загрози:

$$J_1(e^1) = 0,25 \cdot f_{11}(e^1) + 0,12 \cdot f_{12}(e^1) + 0,052 \cdot f_{13}(e^1) + 0,025 \cdot f_{14}(e^1), \quad (19)$$

2. Критерій оцінки шляхів розповсюдження впливу загрози:

$$J_2(e^2) = 0,096 \cdot f_{21}(e^2) + 0,044 \cdot f_{22}(e^2) + 0,02 \cdot f_{23}(e^2) + 0,009 \cdot f_{24}(e^2), \quad (20)$$

3. Критерій оцінки реципієнтів впливу джерела загрози:

$$J_3(e^3) = 0,25 \cdot f_{31}(e^3) + 0,1 \cdot f_{32}(e^3) + 0,04 \cdot f_{33}(e^3) \quad (21)$$

4. Інтегральний критерій оцінки загрози:

$$J_\Sigma(e) = 0,44 \cdot J_1(e^1) + 0,17 \cdot J_2(e^2) + 0,39 \cdot J_3(e^3). \quad (22)$$

Отже, задача оцінювання впливу ТН на поверхневі та ґрунтові ВО зводиться до порівняння отриманих бальних оцінок і ранжування їх.

Висновки. Розроблено комплексний метод оцінювання рівня екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів ОТГ в умовах глобальних кліматичних змін і ведення бойових дій, що розв'язується методами системного аналізу з використанням багатокритеріального підходу. При цьому задача ідентифікації рівня екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів зводиться до порівняння отриманих бальних оцінок і ранжування їх за сукупністю часткових критеріїв чи інтегральним критерієм (індексом). Відповідно до структурно-логічної схеми складено системи рівнянь, за якими при проведенні відповідного експертного оцінювання будуть отримуватися відповідні оцінки впливу чинників ТН воєнно-техногенного навантаження та глобальних кліматичних змін на поверхневі водні об'єкти ОТГ Донбасу.

Література

1. Романченко І.С., Сбітнєв А.І., Чумаченко С.М. Методи прогнозування екологічного стану навколишнього середовища військових об'єктів. *Наука і оборона*. 2004. №4. С. 44-53.
2. Чумаченко С.М. Порівняльний аналіз методів екологічної оцінки та особливості їх застосування для оцінки впливу бойової підготовки на екосистеми військових полігонів. *Збірник наукових праць*. 2004. Вип. 4 (29). К.: ЦНДІ МО України. С. 144-157.
3. Системи управління якістю. *Вимоги. ДСТУ ISO 9001-2001*. 2001. К.: Держстандарт України. 23 с.
4. Devitofrancesco A., Ghellere M., Meroni I., Modica M., Paleari S., Zoboli R. Sustainability assessment of urban areas through a multicriteria decision support system. *Central Europe towards Sustainable Building – Innovations for sustainable future*. 2016. P. 499-506. URL: <https://iris.gssi.it/handle/20.500.12571/7177>
5. Nay J.J., Abkowitz M., Chu E., Gallagher D., Wright H. A review of decision-support models for adaptation to climate change in the context of development. *Climate and Development*. 2014. Vol. 6, no. 4. P. 357–367. URL: <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.912196>
6. Wang M. E. “We have to trust it, or else we can just throw it away”: The use of decision support systems during extreme weather events. *Master thesis, University of Oslo*. 2018. URL: <http://urn.nb.no/URN:NBN:no-65982>
7. Massarelli C., Binetti M.S., Triozi M., Uricchio V.F. A First Step towards Developing a Decision Support System Based on the Integration of Environmental Monitoring Activities for Regional Water Resource Protection. *Hydrology*. 2023. Vol. 10, no. 8. P. 174. URL: <https://doi.org/10.3390/hydrology10080174>
8. Taraglio S., Chiesa S., La Porta L., Pollino M., Verdecchia M., Tomassetti B., Lombardi A. Decision Support System for smart urban management: resilience against natural phenomena and aerial environmental assessment. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*. 2019. Vol. 24. URL: <https://doi.org/10.5278/ijsepm.3338>

9. Чумаченко С.М., Дудкін О.В., Коржнев М.М., Яковлев Є.О. Методичні аспекти оцінки і ранжування загроз для біорізноманіття в Україні. *Екологія і ресурси. Зб. наук. праць*. 2003. Вип. 7. К.: УІНСіР РНБОУ. С. 77-86.
10. Кляченко О.Л., Мельничук М.Д., Іванова Т.В. Екологічні біотехнології: теорія і практика: Навчальний посібник. Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. с. 254.
11. Постанова Кабінет Міністрів України від 13 червня 2024 р. № 684 «Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем».
12. Чумаченко С.М., Морщ Є. В., Михайлова А. В., Парталян А. С. Методика комплексного оперативного експертного оцінювання військово-техногенних загроз в зоні проведення операції Об'єднаних сил. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2020. № 1 (9). С. 23–33.
13. Saaty T.L. Mathematical Principles of Decision Making: The Complete Theory of the Analytic Hierarchy Process. 2009. ISBN 1-888603-10-0.
14. Yakovliev Y., Chumachenko S. Ecological Threats in Donbas, Ukraine. *Centre for Humanitarian Dialogue, Geneva, Switzerland*. 2017. p. 60.

References

1. Romanchenko, I.S., Sbitnev, A.I., Chumachenko, S.M. (2004). Metody prohnovuvannya ekolohichnoho stanu navkolyshnoho seredovyscha viiskovykh ob'ektiv [Methods for predicting the environmental status of military facilities]. *Nauka i oborona*, 4, 44-53.
2. Chumachenko, S.M. (2004). Porivnialnyi analiz metodiv ekolohichnoi otsinky ta osoblyvosti ikh zastosuvannya dlia otsinky vplyvu boiovoi pidhotovky na ekosystemy viiskovykh polihoniv [Comparative analysis of environmental assessment methods and their application for evaluating the impact of combat training on ecosystems of military ranges]. *Zbirnyk naukovykh prats*, 4 (29), 144-157.
3. Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy. DSTU ISO 9001-2001. 2001. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy. 23 s.
4. Devitofrancesco, A., Ghellere, M., Meroni, I., Modica, M., Paleari, S., Zoboli, R. (2016). Sustainability assessment of urban areas through a multicriteria decision support system. *Central Europe towards Sustainable Building – Innovations for sustainable future*, 499-506. URL: <https://iris.gssi.it/handle/20.500.12571/7177>
5. Nay, J.J., Abkowitz, M., Chu, E., Gallagher, D., Wright, H. (2014). A review of decision-support models for adaptation to climate change in the context of development. *Climate and Development*, 6 (4), 357–367. URL: <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.912196>
6. Wang, M. E. (2018). “We have to trust it, or else we can just throw it away”: The use of decision support systems during extreme weather events. *Master thesis, University of Oslo*. URL: <http://urn.nb.no/URN:NBN:no-65982>
7. Massarelli, C., Binetti, M.S., Triozzi, M., Uricchio, V.F. (2023). A First Step towards Developing a Decision Support System Based on the Integration of Environmental Monitoring Activities for Regional Water Resource Protection. *Hydrology*, 10 (8), 174. URL: <https://doi.org/10.3390/hydrology10080174>
8. Taraglio, S., Chiesa, S., La Porta, L., Pollino, M., Verdecchia, M., Tomassetti, B., Lombardi, A. (2019). Decision Support System for smart urban management: resilience against natural phenomena and aerial environmental assessment. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 24. URL: <https://doi.org/10.5278/ijsepm.3338>
9. Chumachenko, S.M., Dudkin, O.V., Korzhniev, M.M., Yakovliev, Ye.O. (2003). Metodichni aspekty otsinky i ranzhuvannya zahroz dlia bioriznomanittia v Ukraini [Methodological aspects of assessment and ranking of threats to biodiversity in Ukraine]. *Ekolohiia i resursy*, 7, 77-86.
10. Kliachenko, O., Melnychuk, M., Ivanova, T. (2015). Ekolohichni biotekhnolohii: teoriia i praktyka [Ecological Biotechnology: Theory and Practice]. Vinnytsia: TOV "Nilan-LTD", 254.
11. Cabinet of Ministers of Ukraine Resolution of June 13, 2024, No. 684 "Certain Issues of the Functioning of the State Environmental Monitoring System and Its Subsystems".
12. Chumachenko, S.M., Morshch, Ye.V., Mykhailova, A.V., & Partalyan, A.S. (2020). Metodika kompleksnoho operatyvnoho ekspertnoho otsiniuvannya viiskovo-tekhnohennykh zahroz v zoni provedennia operatsii Obiednanykh syl [Methodology for comprehensive operational expert assessment of military-technogenic threats in the area of the Joint Forces operation]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1 (9), 23–33.
13. Saaty, T.L. (2009). Mathematical Principles of Decision Making: The Complete Theory of the Analytic Hierarchy Process. ISBN 1-888603-10-0.
14. Yakovliev, Y., Chumachenko, S. (2017). Ecological Threats in Donbas, Ukraine. *Centre for Humanitarian Dialogue, Geneva, Switzerland*, 60.

**DEVELOPMENT OF INFORMATION AND LOGIC MODELS FOR ASSESSING FACTORS
OF NEGATIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENT**

The article analyzes information-logical models for assessing the impact of technogenic load (TL) on the environment. It highlights the lack of objective data on the volume of TL and the impossibility of retrospective analysis of changes, which complicates the evaluation of the ecological state. The task of retrospective analysis of TL and its impact assessment on environmental components through indicators and indices is considered, which is reduced to ecological evaluation of the distribution of TL factors within the territories of united territorial communities (UTCs).

The problem of identifying the composition, structure of TL factors, and causal relationships between them is defined. It is noted that technogenic factors determine the integral characteristic of the impact of TL flow on objects of the natural-technogenic geosystem (NTGS). Expert assessment methods are analyzed, including interval estimation, hierarchy analysis, stepwise matrices, and network diagrams, with particular attention to causal diagrams.

A detailed study of the structural-logical model of TL flow and influencing factors is presented. It is emphasized that stratification of TL factors can be performed by types of technogenic impact, allowing the construction of a hierarchical structural-logical model for TL flow assessment. An approach to comprehensive assessment based on multicriteria threat evaluation with subsequent aggregation into an integral index is proposed.

The influence of TL factors on the pollution of geosphere components of NTGS in UTCs is examined. Pollution is defined as a change in the properties of geosphere components leading to deterioration of terrestrial and aquatic ecosystem functions. Issues of developing a systematic classification of TL sources are discussed, including the nature and origin, scope and scale of distribution, type, and operational mode of the source. The use of the Saaty scale for expert evaluations and formulas for calculating the index and consistency ratio are described. A classification of criteria and factors for TL flow assessment and a scale of relative importance ratings are provided. The development of a procedure for assessing the impact of technogenic load on water bodies within the community territory is also considered.

Key words: technogenic load, environmental safety assessment, united territorial communities, factor stratification, cause-and-effect diagrams, Delphi method, Saaty's analytic hierarchy process, multicriteria evaluation, integral index, expert assessments, weighting coefficients.

Savchenko I.O.

Postgraduate Student at the Professor A.P. Ladanyuk Department of Automation
and Computer Technologies of Control Systems,
National University of Food Technologies, Kyiv

Cheng Xiaobing

PhD student, Associate Professor Jiuquan Vocational and Technical University,
Vinnitsia National Technical University
ORCID: orcid.org/0009-0002-9675-6410

Dzhedzhula V.

Doctor, Professor,
Vinnitsia National Technical University
ORCID: [0000-0002-2740-0771](https://orcid.org/0000-0002-2740-0771)

STABILITY ANALYSIS OF SLOPE SUPPORTED BY PRESTRESSED ANCHOR PILE SLAB BASED ON FLAC3D

Abstract: *Stability problems in high fill slope projects in mountainous and hilly areas have become a key challenge affecting project safety. The article is devoted to discussing the existing research results on the determination of potential slip surface, stability analysis, optimization of support structure parameters, and numerical simulation analysis of high-fill slopes in mountainous and hilly areas. In the article, a FLAC3D three-dimensional numerical model of a typical high-fill slope was established, which revealed the spatial distribution characteristics of potential landslide fracture surfaces of multilevel slopes, and the results showed that multilevel slopes often had more than one potential landslide fracture surface, which needed to be “graded management” in the actual project; A two-parameter orthogonal test was designed and implemented to comparatively analyze the interaction mechanism between the pile-slab-prestressed anchor cable composite support structure and soil, and reveals the sensitivity of the anchoring depth of the pile and prestressing stress of the anchor cable in the prestressed anchor cable-pile-retaining plate support structure to the slope safety coefficient, and the calculation results show that increasing the embedment depth of the pile and increasing the prestressing stress of the anchor cable can improve the slope safety coefficient; The article also reveals that there are critical values of pile embedment depth and anchor cable prestress, beyond which the contribution of increasing the embedment depth or anchor cable prestress to improving the slope safety coefficient will decrease, and further determines the optimal values of pile embedment depth and anchor cable prestress for this typical slope project. The results and ideas in the paper provide technical references for the design and construction of similar projects, as well as methods and ideas for scientific colleagues to further carry out numerical simulations of related projects.*

Key words: *High slope, slope stability, numerical simulation analysis, pile-slab-prestressing anchor cable, retaining structure, parameter sensitivity.*

Formulation of the problem. With the rapid development of economy and the accelerated evolution of urbanization, the problem of land resource utilization in China, which is “an inch of land is worth a pound of gold”, is becoming more and more prominent. In order to meet the demand for infrastructure construction in mountainous and hilly areas and new urban areas, high-fill slope engineering has gradually become an important topic in the field of geotechnical engineering. High-fill slopes usually refer to earthworks with a fill height of more than 20 meters, steep slopes and complex geological conditions, and are widely found in highways, railroads, airports,

water conservancy hubs and urban development projects. However, due to the inhomogeneity of the fill material, the nonlinear characteristics of the soil ontological relationship, and the complex coupling effect of external loads (e.g., rainfall, earthquakes, and construction disturbances), the stability problem of high-fill slopes has always been a difficult point in engineering design and construction. If the slope is destabilized, it will cause geological disasters such as landslides and landslides, resulting in serious economic losses and casualties. Therefore, how to assess the stability of high-fill slopes by scientific means and design economically reasonable support pro-

grams has become a key problem in the field of geotechnical engineering.

Traditional high-fill slope stability analysis is mostly based on limit equilibrium theory or simplified numerical models, such as Bishop's method and Janbu's method. Although these methods are easy to calculate, it is difficult to accurately reflect the real stress-strain relationship of the soil, the progressive damage process and the interaction mechanism between the retaining structure and the soil. With the progress of computer technology and numerical simulation methods, the finite difference method software represented by FLAC3D (Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions) has gradually become a mainstream tool for geotechnical engineering numerical analysis. Based on the explicit Lagrangian algorithm, FLAC3D can effectively simulate large deformation, nonlinear materials and complex boundary conditions, which is especially suitable for the dynamic analysis of slope instability, foundation settlement, underground excavation and other problems. By constructing a three-dimensional geological model and combining elastic-plastic constitutive relationship and strength discount method, FLAC3D can realize quantitative assessment of slope stability coefficient, location of potential slip surface and deformation characteristics, and provide theoretical basis for the design and optimization of support structure.

Analysis of recent achievements. In recent years, scientists had carried out a lot of research around the stability of high-fill slopes and support technology. In the aspect of slope stability analysis, Yao Y, et al. (2024) [1, c. 4] developed a slope energy visualization program based on thermodynamic principle from the perspective of energy change using FLAC3D, and carried out a validation analysis through two actual slope cases, which showed that the deformation and destruction of slopes were essentially driven by energy, and there was a correspondence between the energy stabilization stage and slope equilibrium stage, the energy dissipation stage and slope deformation stage, and the energy mutation stage and slope destruction stage, and the coefficient of safety and sliding surface of the slope could be determined by using the energy mutation relationship, and the calculation error was only 0.02. Wang Chongjing et al. (2023) [2, c. 69] simulated and analyzed the stability change law of soil slopes under rainfall conditions by FLAC3D, the increase of daily rainfall will cause the stability of

shallow soil body to rise briefly and then decline, when the daily rainfall of 150 mm, the stability coefficient tends to be close to 1, the slope was in the limit state. Liu L, et al. (2024) [3, c. 2] analyzed the local dynamic factor of safety (FOS) of slopes based on the energy criterion, considering the groundwater level, impact load and load location, etc. The study showed that the groundwater level is the main influencing factor of slope stability compared to the load location and impact load and should be prioritized. Bračko, T., et al. [4, c. 4] (2022) used Geo-Studio's SEEP/W module to analyze surface infiltration modeling of slopes and found that when soil permeability was low, the factor of safety decreased during the rainfall period and subsequent days. Nanekaran Y. A, et al. (2023) [5, c. 3] compared the estimation results of multilayer perceptron (MLP), decision tree (DT), support vector machine (SVM), and random forest (RF) learning algorithms with the objective of slope safety factor estimation based on the computational intelligence and machine learning methods and validated the results by using the Janbu limit equilibrium analysis method (LEM) and GeoStudio for validation. The results showed that $MLP > SVM > RF > DT$ in the order of accuracy of the estimation results, which provided an idea for the intelligent prediction of slope stability. Bardhan A, et al. (2022) [6, c. 8] addressed several artificial intelligence (AI) techniques for machine learning (ML) algorithms, including adaptive neuro-fuzzy inference systems, artificial neural networks, extreme learning machines, functional networks, genetic programming, Gaussian process regression, least squares support vector machines, multivariate adaptive regression spline, minimal maximum probability machine regression, correlation Vector Machines and Support Vector Machines are comprehensively summarized, and challenges and future visions of AI techniques for solving slope stability problems were discussed. Raghuvanshi, T. K. (2019) [7, c. 103] comprehensively discussed the common "planar mode" damage mechanism in layered and metamorphosed sedimentary rocks, stating that planar damage occurred when structural discontinuities (e.g., preferred orientations of laminated surfaces, faulted surfaces, or jointed groups) dip towards the valley or excavation direction at an angle that was less than the angle of the gradient and more than the friction angle of the discontinuity. The stability of such slopes depended on geometry, rock type, potential damage surface characteris-

tics, groundwater conditions, dynamic loading and overloading conditions. Liu, X., et al. (2020) [8, c. 3] A direct Monte Carlo simulation (MCS) method for circular and/or non-circular potential sliding surface slopes was developed based on the theory of slope system reliability analysis by limit equilibrium method (LEM). The method could correctly estimate the failure probability of a slope system, which significantly improved the computational efficiency of LEM-based slope system reliability analysis.

In the research of slope support system, Fan R Q, et al. (2025) [9, c. 7] used Flac3D and orthogonal tests to comparatively analyze the influence of five influencing factors, such as pile diameter, pile spacing, anchor pre-stressing, anchoring angle, and number of rows of anchors, on the deformation of the deep foundation pit, and obtained the optimal pile-anchor design parameters, which not only ensured the safety and stability of the foundation pit, but also reduced the construction cost. Luan, L., et al. (2020) [10, c. 3] proposed an analytical model for calculating the horizontal dynamic impedance of group piles connected by an arbitrary pile foundation with a rigid pile cap, and the derived solution could robustly take into account the effect of inter-pile interactions on the impedance of the group piles. The expression took into account the coupling of the source and receiver pile displacements, and the proposed solution could be directly used to determine the frequency-dependent impedance of a group pile consisting of an arbitrary number of piles, but this numerical modeling was difficult to build, so it was not very popular. Zeng H., et al. (2024) [11, c. 1240] developed an analytical model for seismic stability of slopes based on the limit equilibrium theory with frame anchor reinforced slopes. They considered the anchor prestressing force as a homogeneous force acting on the slope surface, and explored its reinforcing effect on the slope and its influence on the slope stability. They also established a functional relationship between the coordinates of the center position of the potential sliding surface and the safety factor, which could dynamically search the center position region of the potential sliding surface, so as to obtain the minimum safety factor and its corresponding center position coordinates. However, this method was only applicable to homogeneous soil slope projects with circular sliding surfaces. Li Y, et al. (2023) [12, c. 4] investigated the dynamic behavior of the slope system and the progressive damage process of piles using

the finite element method (FEM) with three different reinforcement schemes, unsupported, pile-supported and pile-anchored supported. The results showed that the shear and flexural capacities of piles were substantially improved in pile-anchored structures, but under simulated seismic loading, cracking occurred in the pile near the sliding surface in a very short period of time when the peak ground acceleration arrived. Therefore, for support structures with seismic requirements, it is necessary to reinforce the piles near the sliding surface. Zheng G, et al. (2024) [13, c. 764] numerically modeled the mechanism of anchor failure and pit collapse using the finite difference method. They found that in the anchor–beam–pile support system, when the anchor fails, it led to the destruction of the cover beams and cross beams, which triggered the destruction of the piles, and accelerated the process of pit collapse. Therefore, the damage conditions of anchors should be considered in the design of cover (brace) beams to improve the overall safety performance of the support system. Ma, T., et al. (2022) [14, c. 5] Based on the elastic fulcrum method and the principle of deformation coordination of pile-anchor structure at the top of the pile and the anchor end, the computational model of the support structure under the synergistic action of the top beam and the simplified computational method of the internal force, displacement and the overall stability of the side slope were constructed. And combined with engineering cases, the simulation calculations of pile-anchored structures with and without roof beams are compared and analyzed using PLAXIS 3D and Geo Studio. It is shown that the top beam effectively enhances the pile bearing capacity while restricting the development of pile top displacement, and the synergistic effect of the top beam led to a more substantial improvement in the safety factor of the slope. Bulko, R., et al. (2024) [15, c. 1269] numerically modeled the self-drilling anchored reinforced concrete micropile supported slopes using Plaxis 2D. The safety coefficients of the slopes before and after reinforcement were also evaluated by the ϕ -c discount method, and the results showed that the reinforcement of micropiles significantly improved the stability of the slopes.

The goal of this study were to reveal the deformation and damage mechanism of high-fill slopes, to explore the interaction mechanism between the pile-slab-prestressed anchor cable composite support structure and soil, to evaluate

the sensitivity to the slope safety factor at different support parameters, and to propose the optimal design of the parameters. This study not only provided technical references for the design and construction of similar projects, but also enriched the application method system of FLAC3D in the numerical simulation of high-fill slopes.

Research results. Numerical analysis is a complex method of analysis, but the development of computers has made the implementation of this method for solving problems simple and feasible. In practical engineering problems, it is often the case that a more complex engineering problem is simplified into a physical model, which is then transformed into a mathematical problem to be solved. For engineering problems modeled with continuum medium mechanics, differential equations of motion, geometric equations, and eigenstructural equations generally arise during the solution process. For specific simple engineering problems, which can be solved mathematically based on initial and boundary conditions, the However, for the more difficult engineering problems, due to the complexity of the constitutive relationship (stress-strain relationship), the mathematical solution method makes the problem solution complicated or even infeasible, which can be solved by numerical analysis can achieve good results. In this paper, a systematic numerical analysis of the slope stability of a high-fill slope project using a combination of prestressed anchor pile slab wall and frame prestressed anchor retaining structure was carried

out by FLAC3D. The numerical model of the slope before and after support was shown in Fig. 1. The soil parameters of bedrock and fill layers determined from the engineering investigation report were shown in Table 1.

1. Safety analysis of the slope without retaining structure

Safety, economy and aesthetics are the goals of slope management projects. Since there are many potential sliding surfaces on a slope, when the first sliding area is reinforced, it does not mean that the slope will be stabilized, and there is a possibility of destabilizing damage along other potential sliding surfaces. Therefore, the location and shape of the slope slip surface should first be determined, which is especially critical for complex slopes. There are many ways to determine the sliding surface, this paper realized the search of multiple sliding surfaces by setting the boundary conditions to preset the safety height, i.e., the range of h_c heights above the bottom of the model was set as the safety zone (limited to the corresponding normal displacement), as shown in Fig. 2(a). The factor of safety were calculated under different h_c conditions using the strength reduction method, and the potential slip surface and slope safety coefficients were obtained as listed in Table 2, and the corresponding slip surface cloud diagrams are shown in Fig. 2(b)-(d).

As can be seen from Fig. 2, when no retaining structure was installed, the three h_c corresponding conditions all have slip surfaces, and the slip surfaces were through from the bottom of the cor-

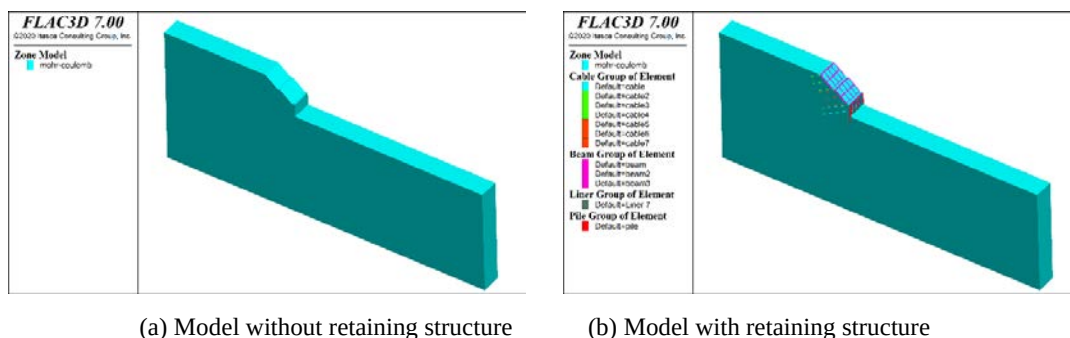


Fig. 1. FLAC3D numerical model of the slope before and after support

Table 1. Soil parameters of the slope

	Young's modulus E /MPa	Poisson's ratio ν	Cohesion C /kPa	Angle of friction φ /°	Density ρ /(kg/m ³)
Filler	10	0.32	40	33	1800
Bedrock	76	0.25	95	45	2200

responding slopes to the top of the slopes, and the slopes were in an unsafe condition. From Table 2, with the sliding surface shear exit moving up, the slope safety coefficient gradually increased, but from the overall point of view the safety coefficient were significantly lower than the specification requirements (especially the first two conditions), the slope tended to be unsafe, and need to be reinforced to ensure the safety of the slope.

Table 2. Options for different safety heights and factor of safety

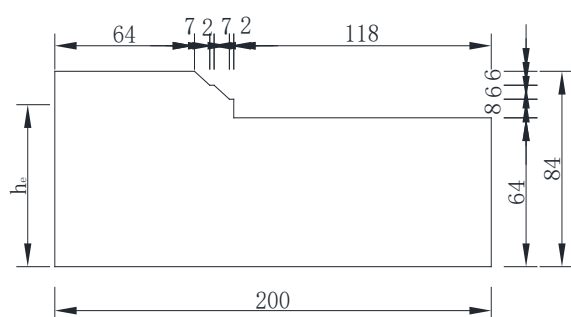
Safety height h_e/m	64	72	78
FOS	0.684	0.746	0.975

2. Analysis of slope safety with retaining structure

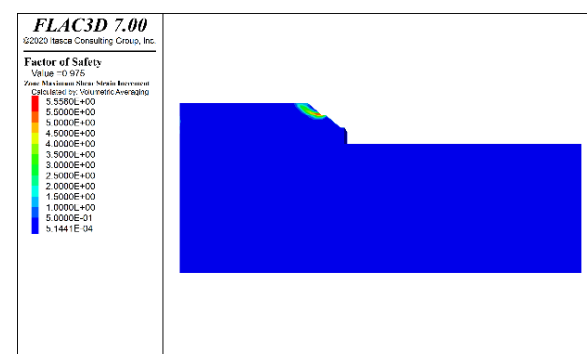
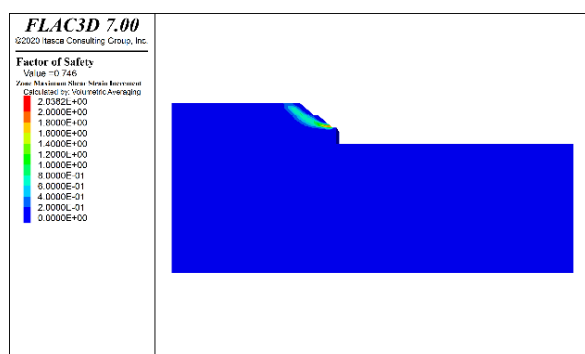
Based on the principle of “strengthening the foot of the slope”, a prestressed anchor pile retaining wall was used at the vertical slope to prevent overall destabilization; Then, the upper two-stage slopes were reinforced with a frame prestressed anchor cable retaining structure, and the slope dimensions were shown in Figure 2(a). The relevant requirements of the retaining structure were as follows (see Table 3 for value parameters):

The vertical slope: reinforced concrete piles (cross-section size $2m \times 1m$, concrete strength grade C30, pile spacing 4m, one beam at the top and one at the waist of the piles, reinforcement of the beams and piles according to the design documents), baffle plate (thickness 200mm, concrete strength grade C30, double-layered bi-directionally reinforced), prestressing anchor cables (one bundle at each intersection of the beams and the piles, 4 per technique, diameter 17.8 mm. Angle of inclination 30° , length 20 meters, grouting scope is 1/3 area inside the anchor cable).

The upper slopes: frame beams (i.e. longitudinal and transverse lattice girders with a cross-section size of $0.3m \times 0.3m$, concrete strength class C30, longitudinal reinforcement and hoop reinforcement configured according to the design documents), prestressing anchor cables (one bundle at each intersection of the beams with the piles, 4 cables per art, diameter 17.8mm, inclination angle 30° , grouting scope is the inner 1/3 of the area of the anchor cables. The length in the first level slope above the foot of the slope is 14 meters, and the prestressing locking value is 100kN; the length in the second level slope is 10 meters, and the prestressing locking value is 80kN).



(c) $h_e = 72$ (d) $h_e = 78$



(a) Schematic diagram of the range of safety heights (unit: m) (b) $h_e = 64$

Fig. 2. Contour of Maximun Shear Strain Increment of safety heights

In order to study the influence of the embedment depth of the pile and the value of the prestressing stress of the anchor cable in the prestressed anchor cable pile slab support structure on the stability of the slope, orthogonal tests for the analysis of slope safety under different working conditions were designed and implemented, and the test scheme and test results are shown in Table 4.

In the orthogonal tests for slope safety analysis using FLAC3D, the Moore-Cullen principal model was used for both bedrock and fill layers. In the numerical simulation of each condition, the simulation was carried out by changing only the corresponding parameters of the upright slope at the foot of the slope (pile embedment depth d and anchor cable prestress T) in order to exclude the influence of other factors and to improve the correlation between the results and the variables.

(1) Effect of pile embedment depth (d) on slope stability

In order to study the effect of the embedment depth of the pile in the prestressed anchor pile slab wall on the slope stability, four working conditions with the anchor prestress $T=0$ were selected for one-factor simulation. The corresponding results of the calculation of the safety coefficients are shown in Table 4. The cloud diagram of the incremental shear strain of the slope at $T=0$ is shown in Fig. 3.

Analyzing the maximum shear strain increment cloud shown in Fig. 4, it can be found that when the anchor prestress is kept constant, with the increase of pile embedment depth, the shear strain concentration area of the potential slip surface of the slope is gradually shifted to the deeper part of the slope and the range is reduced, which indicates that the restraining effect of the

pile on the soil is significantly enhanced. The increase in embedment depth not only improves the pile's overturning resistance, but also effectively shares the slope sliding force by expanding the contact length between the pile body and the stabilized rock and soil body, thus reducing the overall shear damage risk.

(2) Effect of anchor cable prestressing (T) on slope stability

The application of prestressing is extremely widely promoted in geotechnical anchoring technology, and the application of prestressing can improve the mechanical properties of the geotechnical soil, and can effectively inhibit the relaxation deformation and potential slip of the geotechnical soil. Thus, FLAC3D was utilized to apply prestressing to the anchors for each condition separately according to the scheme in Table 4 (Fig. 4), and the safety factor was calculated. The slope safety coefficients for each working condition were obtained by simulation (filled into Table 4).

Finally, based on the simulation calculation results of orthogonal tests listed in Table 4, the relationship curves between pile embedment depth and anchor prestress and slope safety coefficient were compiled and plotted as shown in Fig. 5.

Analyzing Fig. 5(a), it can be seen that when no prestressing is applied to the anchors, the slope safety factor increases accordingly with the increase of pile embedment depth, and the increase of FOS is smaller when the pile embedment depth is small ($d < 4$ m); When d increases from 4 to 6 meters, the FOS increases the most and the curve tends to increase steeply; when d increases from 6 to 8 meters, the FOS increase

Table 3. Parameters of slope support structures

Structures	Parameters	Young's modulus E/MPa	Poisson's ratio ν	Density $\rho/(\text{kg/m}^3)$
Piles		3×10^4	0.2	2600
Baffles		3×10^4	0.2	2400
Beams		3×10^4	0.2	2500

Table 4. Orthogonal test scheme and result statistics of slope safety analysis under different conditions

The Embedment Depth /m	FOS	The Anchor Prestress T/kN		
		0	250	500
2	1.124	1.583	1.682	
4	1.287	1.721	1.805	
6	1.644	1.756	1.845	
8	1.727	1.806	1.912	

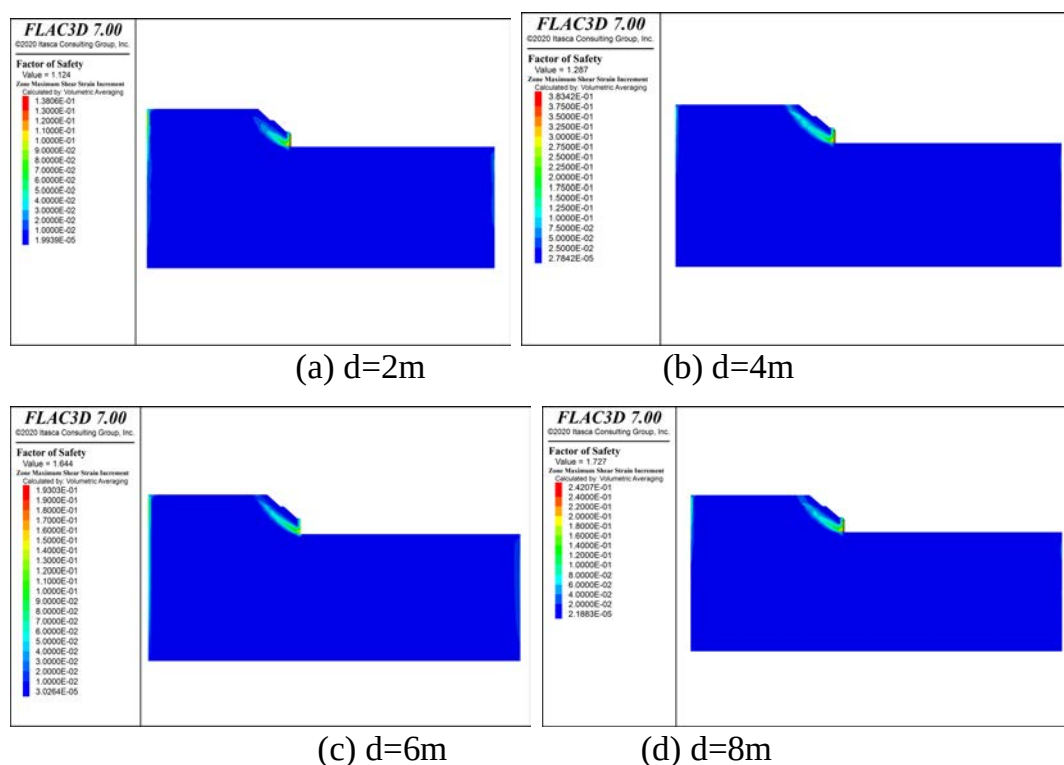


Fig. 3. Contour of Maximun Shear Strain Increment of T=0kN

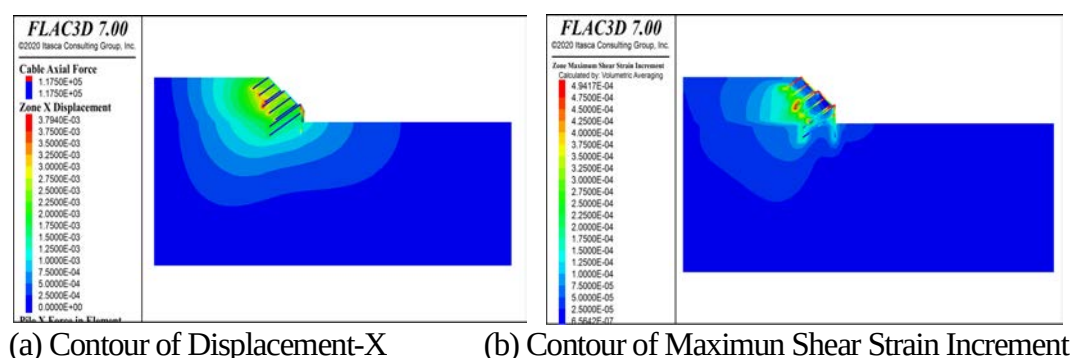


Fig.4 Contour of the slope when prestress was applying to the cables (d=6m)

decreases again and the curve tends to flatten. The above phenomenon shows that there is a correlation between FOS and d, and there is a critical value (d=6m in this case), which needs to be prioritized when carrying out the scheme design in order to achieve a more reasonable engineering synthesis. When the prestressing force was applied to the anchors, the FOS increased significantly and increased accordingly with the increase of T. Especially in the case of small d, the contribution of T to the FOS was more prominent, and the curve as a whole showed a ten-

dency of surge followed by a slow increase, which implies that there is a critical value of T, and that the increase in the FOS will tend to be moderated by the continual increase of T after exceeding the critical value.

From Fig. 5(b), it can be seen that when the pile embedment depth is kept constant, the FOS increases accordingly with the increase of T. This is mainly due to the fact that the application of anchor prestressing force effectively suppresses the shear deformation of the soil body and enhances the integrity of the support structure. For the same value

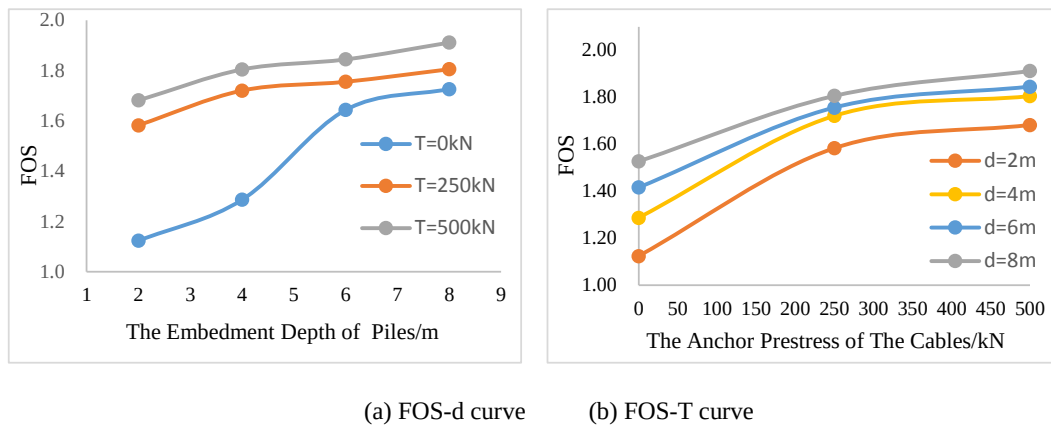


Fig. 5. FOS trends of the slope

of T , as d increases, FOS increases accordingly. It was worth noting that all four curves showed a uniform development trend: a steep increase followed by a slow increase, which indicated that there was a critical threshold for T . When the prestressing force exceeded the ultimate frictional resistance between the soil and the anchoring solid, the anchors may undergo debonding failure, leading to a significant weakening of the effect of the factor of safety enhancement. In addition, excessive prestressing will also trigger local stress concentration in the pile body and even cause structural damage to the pile. In specific engineering practice, it is necessary to consider the soil parameters, density of anchor arrangement and bending capacity of the pile body, and determine the optimal application range of prestressing through numerical simulation and on-site monitoring to achieve a balance between safety and economy.

Conclusions. In this paper, taking a tertiary slope project as an example, a three-dimensional numerical model was established based on FLAD3D, and multiple sliding surfaces of the slope were searched by using the method of assuming the safety height, and the orthogonal test program used to investigate the correlation between the parameters of the supporting structure and the slope safety factor was systematically designed and implemented:

(1) Multi-level high slopes often have more than one sliding surface, in engineering practice need to comprehensively use a variety of analysis methods and management tools. The spatial distribution characteristics and interaction mechanisms of sliding surfaces at all levels should be systematically analyzed, with particular attention to the influence of sensitive factors such as weak interlayers and changes in the water table on the shear strength of sliding surfaces.

(2) As the depth of pile embedment increases, the slope safety factor increases accordingly, with the increase being first larger and then smaller. It suggested that there was a critical value of pile embedment depth beyond which the rate of increase in the factor of safety plateaus, and might even be controlled by excessive bending moments in the pile resulting in the pile's own strength. Meanwhile, excessive embedment depths may be uneconomical due to construction difficulties and cost spikes. The engineering design should be combined with geological exploration data and pile-soil interaction analysis to optimize the embedment depth and ensure that the support system achieves the optimal solution between safety redundancy and resource investment.

(3) Prestressing the anchors could significantly improve the overall factor of safety of the slope, which was more obvious when the embedment depth of the pile was small. As the value of anchor prestress increased the slope safety factor increased accordingly, the increase was first large and then small. This means that there is a critical value for the prestressing of the anchors, and when this value is exceeded the contribution of the increase in prestressing to the improvement of the slope safety coefficient will be reduced. Excessive prestressing may also lead to the concentration of stress in the pile body near the anchorage point, which may cause damage to the pile structure in serious cases, thus threatening the safety of the whole support system.

Therefore, in the specific project, we should take into account the overall stability of the slope and the characteristics of the multi-sliding surface, the management should follow the principle of "hierarchical management, the main and secondary", the establishment of multi-level protection structure, and combined with the slope drainage system to optimize the underground

seepage field. For the deep sliding surface, pile + prestressed anchor anchoring technology can be implemented, while ecological protection measures such as lattice girders + vegetation slope protection can be adopted for shallow sliding areas. In the construction process, automatic slope

monitoring system can be established to realize dynamic design through the real-time feedback of displacement, stress and other data to ensure the synergistic effect of different levels of support structures, and finally achieve the optimal balance of overall stability and engineering economy.

Bibliography

1. Yao Y, Zhang J, Li X, Tu Y, Zhong Z. The Stability of Slopes and Building Structures Using an Energy Visualization Procedure. *Buildings*. 2024. Vol. 14. P. 1-33.
2. WANG Chongjing, ZHANG Long, LIU Guowei. Integrated assessment of soil cutting slope stability using fuzzy mathematics and numerical simulation. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*. 2023. Vol. 34. P. 69-76.
3. Liu, L., Liu, J., Zhao, F., Xu, Z. Energy-based criterion for slope failure considering groundwater and impact loading. *Géotechnique Letters*. 2024. Vol. 14. P. 1-30.
4. Bračko, T., Žlender, B., Jelušič, P. Implementation of Climate Change Effects on Slope Stability Analysis. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. P. 1-17.
5. Nanehkaran, Y. A., Licai, Z., Chengyong, J., Chen, J., Anwar, S., Azarafza, M., Derakhshani, R. Comparative analysis for slope stability by using machine learning methods. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. P. 1-14.
6. Bardhan, A. Samui, P. Application of Artificial Intelligence Techniques in Slope Stability Analysis: A Short Review and Future Prospects. *International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering*. 2022. Vol. 13. P. 1-23.
7. Raghuvanshi, T. K. Plane failure in rock slopes—A review on stability analysis techniques. *Journal of King Saud University-Science*. 2019. Vol. 31. P. 101-109.
8. Liu, X., Li, D. Q., Cao, Z. J., Wang, Y. Adaptive Monte Carlo simulation method for system reliability analysis of slope stability based on limit equilibrium methods. *Engineering Geology*. 2020. Vol. 264. P. 1-21.
9. Fan, R. Q., Zeng, W. H., Xia, M., Wang, H. M., Tang, Y., Dong, B., Luo, Y. Optimization of Pile Anchor Supporting Parameters of a Substation Deep Foundation Pit. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2024. Vol. 61. P. 1-10.
10. Luan, L., Zheng, C., Kouretzis, G., Ding, X. Dynamic analysis of pile groups subjected to horizontal loads considering coupled pile-to-pile interaction. *Computers and Geotechnics*. 2020. Vol. 117. P. 1-19.
11. Zeng, H., Ye, S., Zhang, J. Seismic stability analysis of slope reinforced by frame anchors considering prestress. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2024. Vol. 28. P. 1238-1252.
12. Li, Y., Chu, Z., Zhang, L., He, Y. Research on the dynamic response of a slope reinforced by a pile-anchor structure under seismic loading. *Buildings*. 2023. Vol. 13. P. 1-15.
13. Zheng, G., Wang, R. Z., Cheng, X. S., Lei, Y. W., Li, X. Y., Zhou, Q. Mechanism and control of progressive collapse of tied-back excavations induced by local anchor failure. *Acta Geotechnica*. 2024. Vol. 19. P. 763-781.
14. Ma, T., Zhu, Y., & Ye, S. Simplified calculation method and stability analysis of top beam cooperative pile-anchor supporting slope structure. *Frontiers in Materials*. 2022. Vol. 9. P. 1-14.
15. Bulko, R., Mužík, J., Cigáň, F. Slope Stability Using Self-Drilling Anchor Rods. *Civil and Environmental Engineering*. 2024. Vol. 20. P. 1267-1275.

References

1. Yao, Y., Zhang, J., Li, X., Tu, Y., & Zhong, Z. (2024). The Stability of Slopes and Building Structures Using an Energy Visualization Procedure. *Buildings*, 14(12), 3705.
2. Chongjing, W. A. N. G., ZHANG, L., & Guowei, L. I. U. (2023). Integrated assessment of soil cutting slope stability using fuzzy mathematics and numerical simulation. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 34(6), 69-76.
3. Liu, L., Liu, J., Zhao, F., & Xu, Z. (2024). Energy-based criterion for slope failure considering groundwater and impact loading. *Géotechnique Letters*, 1-30.
4. Bračko, T., Žlender, B., & Jelušič, P. (2022). Implementation of Climate Change Effects on Slope Stability Analysis. *Applied Sciences*, 12(16), 8171.
5. Nanehkaran, Y. A., Licai, Z., Chengyong, J., Chen, J., Anwar, S., Azarafza, M., & Derakhshani, R. (2023). Comparative analysis for slope stability by using machine learning methods. *Applied Sciences*, 13(3), 1555.
6. Bardhan, A. & Samui, P. (2022). Application of Artificial Intelligence Techniques in Slope Stability Analysis: A Short Review and Future Prospects. *International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering (IJGEE)*, 13(1), 1-23.
7. Raghuvanshi, T. K. (2019). Plane failure in rock slopes—A review on stability analysis techniques. *Journal of King Saud University-Science*, 31(1), 101-109.
8. Liu, X., Li, D. Q., Cao, Z. J., & Wang, Y. (2020). Adaptive Monte Carlo simulation method for system reliability analysis of slope stability based on limit equilibrium methods. *Engineering Geology*, 264, 105384.
9. Fan, R. Q., Zeng, W. H., Xia, M., Wang, H. M., Tang, Y., Dong, B., & Luo, Y. (2025). Optimization of Pile Anchor Supporting Parameters of a Substation Deep Foundation Pit. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1-10.
10. Luan, L., Zheng, C., Kouretzis, G., & Ding, X. (2020). Dynamic analysis of pile groups subjected to horizontal loads considering coupled pile-to-pile interaction. *Computers and Geotechnics*, 117, 103276.
11. Zeng, H., Ye, S., & Zhang, J. (2024). Seismic stability analysis of slope reinforced by frame anchors considering prestress. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 28(4), 1238-1252.

12. Li, Y., Chu, Z., Zhang, L., & He, Y. (2023). Research on the dynamic response of a slope reinforced by a pile-anchor structure under seismic loading. *Buildings*, 13(10), 2500.
13. Zheng, G., Wang, R. Z., Cheng, X. S., Lei, Y. W., Li, X. Y., & Zhou, Q. (2024). Mechanism and control of progressive collapse of tied-back excavations induced by local anchor failure. *Acta Geotechnica*, 19(2), 763-781.
14. Ma, T., Zhu, Y., & Ye, S. (2022). Simplified calculation method and stability analysis of top beam cooperative pile-anchor supporting slope structure. *Frontiers in Materials*, 9, 988455.
15. Bulko, R., Mužík, J., & Cigáň, F. (2024). Slope Stability Using Self-Drilling Anchor Rods. *Civil and Environmental Engineering*, 20(2), 1267-1275.

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ СХИЛУ, ОПЕРТОГО НА ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНУ АНКЕРНО-ПАЛЬОВУ ПЛИТУ НА ОСНОВІ FLAC3D

Анотація. Через складні геологічні умови, гідрологічне середовище та вплив частоті людської діяльності проблема стійкості проєктів з високим рівнем насипу в гірських та горбистих районах стала ключовим викликом, який обмежує безпеку та сталий розвиток регіональних проєктів. Тому посилення дослідження стійкості гірських насипних схилів є нагальною потребою для забезпечення інженерної безпеки та сприяння якісному розвитку гірської економіки. Ця стаття бере аналіз стійкості схилів та оптимізацію проєктних параметрів опорної конструкції при проєктуванні гірських та горбистих територій як відправну точку, а чутливість двох параметрів попереднього напруження анкерного кабелю та глибини занурення палі на стійкість схилу при проєктуванні попередньо напруженої опорної конструкції анкерного кабелю-палі, що утримує плиту, як об'єкт аналізу, та систематично розглядає результати досліджень щодо визначення потенційної поверхні ковзання схилів з високим рівнем насипу, аналізу стійкості, оптимізації параметрів опорної конструкції, а також чисельне моделювання та аналіз. аналіз та чисельне моделювання. В якості об'єкту дослідження обрано типовий схил з високим насипом, на основі даних геологічних вишукувань та натурних випробувань створено тривимірну чисельну модель FLAC3D на основі онтологічного зв'язку Мура-Кулона, розраховано коефіцієнти стійкості схилу в природному робочому стані з використанням методу дисконтування міцності, проаналізовано характеристики просторового розподілу потенційних поверхонь ковзання, проведено порівняння механізму взаємодії композитної опорної конструкції палі-плити-притискаючі анкерні кабелі з ґрунтом, спроектовано та виконано ортогональні випробування. Проведено ортогональні випробування для систематичного аналізу та кількісної оцінки чутливості глибини занурення палі та зусилля попереднього напруження анкерного кабелю до коефіцієнта запасу стійкості схилу, а також надано пропозиції щодо оптимізації параметрів. Ця стаття містить технічні рекомендації для проєктування та будівництва подібних проєктів, а також методи та ідеї для подальшого чисельного моделювання споріднених проєктів науковими колегами.

Ключові слова: Високий укіс, стійкість укосу, чисельний імітаційний аналіз, пале-плита-анкерний трос, що вдавлюється, несуча конструкція, чутливість параметрів.

Чен Сяобін

аспірант, доцент, доцент,
Цзюцзяньський професійно-технічний університет,
Вінницький національний технічний університет

Джеджула В.

доктор, професор,
Вінницький національний технічний університет

UDC 332.87: 69.003 : 69.007 : 69.009

DOI DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2025.46.8>

Meneiliuk O.I.

doctor of technical sciences, professor, head of the
department of construction technology,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa
ORCID: 0000-0002-1007-309X

Russyi V.V.

PhD, senior lecturer at the departments of construction
technology and chemistry and ecology,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa
ORCID: 0000-0002-5884-2097

Meneiliuk I.O.

doctor of technical sciences, associate professor
of the department of chemistry and ecology,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa
ORCID: 0000-0001-7075-2898

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DEVELOPER COMPANIES IN CONSTRUCTION PRODUCTION MANAGEMENT

Abstract. *The article analyzes the nature, advantages, and disadvantages of developer companies as a modern organizational form of construction production management in Ukraine. The relevance of the study is driven by the transformation of the construction market, the growing need for an integrated approach to the implementation of the life cycle of facilities, as well as the necessity of post-war rebuilding of damaged infrastructure. It has been established that developer companies enable the effective integration of investor, contractor, designer, facility manager, marketing, and legal support functions within a single management structure (a holding).*

The study employs logical-analytical, system-based, and comparative methods, as well as analysis of open information sources and recent scientific publications. Based on the source analysis, a comprehensive model of a developer company's organizational structure has been built, covering all stages of a construction project's life cycle—from pre-investment to operation and dismantling. A typical classification of the functional departments of developer structures is presented, along with their interactions with market and public institutions.

It has been found that the main advantages of developer companies include high management efficiency, reduced project implementation time, lower costs, increased asset value, and the ability to respond quickly to market changes. Identified disadvantages include the complexity of organization, high initial capital requirements, and elevated demands on the competence of the main company's management.

It has been substantiated that real estate development holds strong potential for growth in the context of modernization of Ukraine's construction sector and the urgent need for rebuilding damaged infrastructure. The analysis also highlights the growing demand for specialists with engineering, management, and economic competencies, which is evidenced by the emergence of relevant educational programs at leading higher education institutions in Ukraine.

Key words: *real estate development, construction development, developer company, construction production, project management, organizational structures of construction production management, life cycle, rebuilding, investment, managerial decisions.*

Introduction. A significant number of construction enterprises operate in Ukraine. From 2015 to 2019, their number increased rapidly [1]. Since 2022, there has been a sharp decline in the volume of new housing construction for a certain period [2]. However, in addition to new housing development, the need has arisen for the repair of damaged and rebuilding of destroyed buildings and structures. As a result, the demand for construction companies has become increasingly urgent. Educational institutions have begun to respond to labor market demands, including the introduction of new academic programs. For example, starting in 2024, the Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture launched the master's-level educational and professional program «Construction Development» under specialty 192 Construction and Civil Engineering [3]. A similar program titled «Real Estate Development» is offered by the Kyiv National University of Construction and Architecture [4]. This highlights the increasing demand for developer specialists with a solid engineering background.

Construction companies in Ukraine vary in organizational structure. In response to the need to manage the entire life cycle of construction projects, some of these enterprises have begun transforming into more integrated organizations. In particular, construction companies are increasingly taking on the roles of investors and property owners, as well as providing design, facility management, marketing, and other services.

The use of developer companies as a model of construction production management enables the intensification of building processes through integrated management and full life cycle coverage – from the pre-investment stage to the dismantling of the facility.

Therefore, the study of the current state and role of developer companies as an organizational structure for managing construction production is highly **relevant**.

Materials and methods. The research employed a set of theoretical and analytical methods that enabled a comprehensive characterization of the activities of developer companies in the field of construction management. The study applied logical-analytical and comparative methods, as well as a systematic approach.

An analytical review and generalization of theoretical sources were conducted. The research was carried out using open-access information

sources. The study is based on the synthesis of findings from scientific publications, a review of the real estate market, and other publicly available resources.

Review of recent studies and publications.

Recent studies [5] have analyzed the implementation of the educational and professional program Construction Development at the master's level in the specialty 192 Construction and Civil Engineering at the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

The activities of developer companies have been widely explored in academic literature. Several notable works include the following:

Malykhin M. O. in [6] investigated the implementation of development projects in the context of the country's digital transformation.

The topic of real estate development has been actively discussed at academic events organized by representatives of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture and the Kyiv National University of Construction and Architecture [7, 8].

The presence of not only construction but also marketing functions within developer companies was explored in [9]. Another, arguably the core, function of developer companies—namely, their role as investors and property owners—was investigated by Andreeva V. A. in [10], where development projects are classified as a specific type of investment project activity.

A comprehensive study of construction development was carried out by researchers and graduate students of the Kyiv National University of Construction and Architecture in [11].

This analysis shows that developer companies, which only recently emerged in the Ukrainian construction sector, are already undergoing active modernization through the integration of digital technologies, management tools, marketing strategies, investment practices, and more.

The purpose of the study is to analyze the implementation of developer companies in Ukraine.

The following research **tasks** have been identified:

1. to perform a substantive analysis of the organizational structure model for managing construction projects through developer companies.

2. to identify the advantages and disadvantages of using developer companies in comparison with other organizational forms of construction production currently applied in Ukraine.

Main body. Before considering the essence of the use of developer companies as an organizational structure for managing construction production, it is necessary to define terminology.

Investor – a legal or natural person (Ukrainian or foreign company, state, private individual) who makes financial investments in assets and projects to generate income [12].

The term «project» is commonly understood as a chain of tasks that must be completed within a set timeframe and with the expenditure of certain resources to achieve a result. Another definition of a project is the process of solving a problem – from the conception or idea of a solution to the final implementation of the idea [13].

General contractor – a legal entity directly responsible for organizing construction and installation works on the site and accountable to the investor or customer for the entire scope of construction works until the facility is commissioned [12].

Contractor – a natural or legal person who undertakes, for a specified fee, to perform certain types of work and is responsible for the quality of their execution [12].

Project management – activities aimed at solving tasks and achieving the set goals of the project [13].

Project management is understood as the application of knowledge, skills, tools, and techniques to execute the project according to specified requirements [13].

Project resources – labor (engineering and technical staff and workers), financial, time, tech-

nical (equipment, machinery), and/or material (consumables) resources used to perform project tasks [13].

One of the organizational forms of construction production management is the design-and-build method, also known as the turnkey method (Fig. 1). When applying this method, a holding company is usually created (which controls the work of a group of companies) based on the principle: investment – management – construction. A holding is a group of commercial firms legally connected with each other. The unity of economic activity is ensured by gathering participants of all three processes under the holding's management [11–13].

Initially, one type of this turnkey method gained popularity – the «customer-developer» model. The name suggests that in this case, the customer simultaneously performs the functions of the developer. The holding assumes design and construction functions and can also act as the customer (investor). In the development of the turnkey method, a new type appeared – the «customer-developer and operation service» model. In addition to the participants mentioned in the «customer-developer» structure, this type may include operation and/or maintenance services of buildings.

At the latest modern stage of the turnkey construction management method development, the most comprehensive organizational structure type has emerged – developer companies.

The goal of developer companies is to obtain profit or a positive outcome (development of pro-

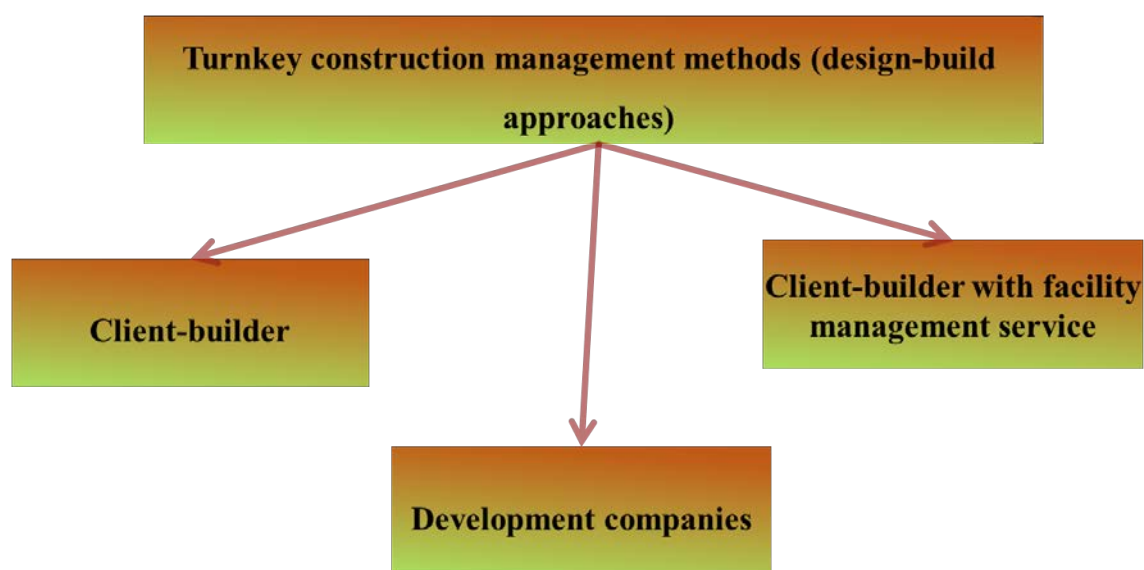


Fig. 1. Types of design-and-build («turnkey») organizational forms of construction production management

duction, solving social problems, etc.) through the transformation of a territory, land plot, real estate object, and construction of buildings and structures.

Developer companies are analogous to the previously discussed holdings and associations but have some distinctive features:

- the developer is primarily the investor and owner of the real estate asset (land plot); they may invest in the entire project, including marketing, design, construction, surveys, operation, building materials production enterprises, and more;
- only the developer interacts directly with government authorities;
- unlike others, developer companies may include real estate agencies, marketing and consulting firms, production and/or distribution enterprises for building materials, etc.;
- the main managing developer company can both self-invest in all stages of construction (through its own investment campaigns) and attract external investment campaigns (which may act as clients) [11–13].

The most comprehensive model of a developer company is illustrated in figure 2.

From figure 2 and the analysis of sources [1–13], it can be emphasized that the main tasks solved by developer companies are:

- changing the land use designation according to market needs;
- construction and operation of buildings and structures;
- rehabilitation, rebuilding, and repair of existing buildings;
- changing the functional purpose of buildings and structures (or their parts).

Figure 2 clearly demonstrates that developer companies enable the implementation of all stages of the building project life cycle:

- pre-investment stage (forming the development idea, searching and analyzing the development object, auditing the real estate asset, etc.);
- investment stage (developing the project concept and business plan, purchasing the development object, obtaining necessary permits and approvals, conducting engineering surveys, design and construction works, obtaining occupancy permits, state registration of ownership rights, etc.);
- operational stage (marketing campaigns; realization of project spaces – operation, leasing, sale, etc.).

The article reviews open information sources [1–13] and investigates the essence of developer

companies. This has made it possible, in comparison with other organizational structures for construction production management, to highlight the following advantages and disadvantages.

Advantages of construction management through developer companies.

1. Thorough market analysis and proper selection of land plots by the developer team allow making investment decisions that exceed “average market” indicators by 20–50%.
2. Preliminary investment justification generally enables optimizing the use of investor funds by an additional 10–15%.
3. Proper registration of property rights for real estate assets and resolution of other legal issues can increase the value of a land plot (or other real estate objects or their parts) by 150–300%.
4. It is possible to reduce the duration of project development and implementation by 7–15%.
5. It is possible to reduce overall project costs by 5–15% (construction cost savings by 10–20%; reduction of labor intensity at the implementation stage by 5–15%; reduction of operational costs by 15–25%).

Disadvantages of construction management through developer companies.

1. A large amount of initial capital may be required.
2. High qualification requirements for the management of the main developer company.
3. Long-term nature of projects and the need for continuous control over their implementation (increased importance of planning and forecasting; accounting for changes in the external environment – demand, supply, surrounding infrastructure, etc.).
4. Developer companies are mainly applied in complex, large-scale, and long-term construction projects.

The prospects for the use of developer companies in Ukraine are highly ambitious. This is due to the growing need for post-war rebuilding of Ukraine. An important factor for the broader implementation of developer companies is their ability to ensure a comprehensive approach to project delivery – from land search and audit, through design and construction, to the further operation of the facilities. This format makes it possible to optimize time, financial, and other resources, improve the quality of construction project management, and establish effective cooperation with government authorities and investors. Thanks to digital tools, marketing



Fig. 2. Management structure model of a developer company

strategies, and financial flexibility, developers are becoming key players in Ukraine's rebuilding.

Moreover, the emergence of relevant educational programs in leading Ukrainian construction universities (such as Kyiv National University of Construction and Architecture and Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture) confirms the growing demand for developer professionals. Their main value lies in the balanced development of engineering, managerial, and marketing competencies. This forms the basis for a new generation of specialists capable of implementing modern approaches to integrated real estate development. Thus, developer companies can become one of

the key elements in the reform of Ukraine's construction sector in the coming years.

Conclusions.

1. The analysis of open information sources and the conducted research allowed for the identification of the essence of developer companies, the potential for their wider application in Ukraine, and the development of a block diagram of the most complete version of the management structure of a developer company.

2. The analysis of the essence of developer companies has made it possible to identify their advantages and disadvantages in comparison with other organizational structures for construction production management.

Bibliography

1. Лойко В. В., Руденко М. В., Руденко В. С. Динаміка розвитку будівельних підприємств України та міста Києва в контексті забезпечення економічної безпеки. *Ефективна економіка*. 2020. № 7. URL: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.7.13> (дата звернення: 21.12.2024).
2. Паламарчук О., Петришина С. Будівельна галузь України: стан та прогнози. *Економіка та суспільство*. 2023. № 51. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-45> (дата звернення: 02.01.2025).
3. Освітня програма «Девелопмент будівництва»: офіц. веб-сайт ОДАБА. URL: <https://odaba.edu.ua/education/educ-programs/cd> (дата звернення: 20.01.2025).
4. Освітня програма «Девелопмент нерухомості»: офіц. веб-сайт КНУБА. URL: <https://www.knuba.edu.ua/development-peruhomosti/> (дата звернення: 20.01.2025).
5. Менейлюк О.І., Руссий В.В., Бочевар К.І. Реалізація проекту по підготовці девелоперів. Матеріали XV міжнародної науково-практичної конференції «Управління проектами: проектний підхід в сучасному менеджменті» 17-18 жовтня 2024 р. Одеса: ОДАБА, 2024. С. 569-573. URL: <https://odaba.edu.ua/news/page3/853> (дата звернення: 20.01.2025).
6. Малихін М. О. Переналаштування змісту підготовки проектів девелопменту на успішну реалізацію в умовах цифрового суспільства та цифрової економіки. *Будівельне виробництво*. 2024, № 77. С. 74-84. URL: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.74-84> (дата звернення: 20.01.2025).
7. XV Міжнародна науково-практична конференція «Управління проектами: проектний підхід в сучасному менеджменті»: офіц. веб-сайт ОДАБА. URL: <https://odaba.edu.ua/news/page3/853> (дата звернення: 20.01.2025).
8. II Міжнародна науково-практична конференція «Девелопмент нерухомості: інновації та трансформації»: офіц. веб-сайт КНУБА. URL: <https://surl.li/uvlyscu> (дата звернення: 20.01.2025).

9. Фісуненко П. А., Подрез В. С., Спиридоненков В. А. Особливості маркетингу в девелопменті в сучасних умовах. *Український економічний часопис*. 2024, № 6. С. 167–173. URL: <https://doi.org/10.32782/2786-8273/2024-6-27> (дата звернення: 20.01.2025).
10. Андреева В. А. Фінансування девелоперських проєктів як механізм функціонування ринку нерухомості. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2020, № 3 (59). С. 24–29. URL: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2020-59-24-29/> (дата звернення: 20.01.2025).
11. Організаційно-технологічний девелопмент та інтегрована реалізація проєктів у будівництві: монографія. Київ: КНУБА, 2025. 202 с. URL: <https://surl.cc/quzjzp>
12. Організація та управління будівництвом: підручник / О. А. Тугай та ін. Київ: Видавництво Ліра-К, 2024. 400 с. URL: <https://surl.lu/pouyddl> (дата звернення: 20.01.2025).
13. Менеджмент та управління проєктами в будівельній галузі : навч. пос. Ширяєва Н. Ю. та ін. Під ред. І. А. Ажаман та Т. В. Смельянець. Одеса: ОДАБА, 2018. 268 с. Режим доступу: <https://surl.li/pnhqqk> (дата звернення: 20.01.2025).

References

1. Loyko V. V., Rudenko M. V., Rudenko V. S. (2020) Dynamics of Development of Construction Enterprises in Ukraine and the City of Kyiv in the Context of Ensuring Economic Security. *Efficient Economy*, No. 7. URL: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.7.13> (accessed: 21.12.2024).
2. Palamarchuk O., Petryshyna S. (2023) Construction Sector of Ukraine: Current State and Forecasts. *Economics and Society*, No. 51. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-45> (accessed: 02.01.2025).
3. Educational Program "Construction Development": official website of OSACEA. URL: <https://odaba.edu.ua/education/educ-programs/cd> (accessed: 20.01.2025).
4. KNUCA (2025) Educational Program "Real Estate Development": official website of KNUCA. URL: <https://www.knuba.edu.ua/development-neruhomosti/> (accessed: 20.01.2025).
5. Menelyuk O. I., Russiy V. V., Bochevar K. I. (2024) Implementation of a Project for Developer Training. *Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference "Project Management: Project-Based Approach in Modern Management"*, October 17–18, 2024. Odesa: OSACEA, pp. 569–573. URL: <https://odaba.edu.ua/news/page3/853> (accessed: 20.01.2025).
6. Malykhin M. O. (2024) Refocusing the Content of Development Project Preparation for Successful Implementation in the Digital Society and Digital Economy. *Construction Production*, No. 77, pp. 74–84. URL: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.74-84> (accessed: 20.01.2025).
7. OSACEA (2024) XV International Scientific and Practical Conference "Project Management: Project-Based Approach in Modern Management": official website of OSACEA. URL: <https://odaba.edu.ua/news/page3/853> (accessed: 20.01.2025).
8. KNUCA (2023) II International Scientific and Practical Conference "Real Estate Development: Innovations and Transformations": official website of KNUCA. URL: <https://surl.lu/vkumyj> (accessed: 20.01.2025).
9. Fisunen P. A., Podrez V. S., Spyridonov V. A. (2024) Features of Marketing in Development Under Modern Conditions. *Ukrainian Economic Journal*, No. 6, pp. 167–173. URL: <https://doi.org/10.32782/2786-8273/2024-6-27> (accessed: 20.01.2025).
10. Andrieieva V. A. (2020) Financing of Development Projects as a Mechanism of Real Estate Market Functioning. *Scientific Notes of KROK University*, No. 3 (59), pp. 24–29. URL: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2020-59-24-29/> (accessed: 20.01.2025).
11. KNUCA (2025) Organizational and Technological Development and Integrated Project Delivery in Construction: monograph. Kyiv: KNUCA, 202 p. URL: <https://surl.li/fwquax>
12. Tuhay O. A. et al. (2024) Construction Organization and Management: textbook / O. A. Tuhay et al. Kyiv: Lira-K Publishing, 400 p. URL: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/01/pidruchnyk-oub-dlya-sajta.pdf> (accessed: 20.01.2025).
13. Shyriaieva N. Yu. et al. (2018) Project Management in the Construction Sector: textbook / N. Yu. Shyriaieva et al.; edited by I. A. Azhaman and T. V. Smelianets. Odesa: OSACEA, 268 p. URL: <https://surl.li/pnhqqk> (accessed: 20.01.2025).

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ДЕВЕЛОПЕРСЬКИХ КОМПАНІЙ ПРИ УПРАВЛІННІ БУДІВЕЛЬНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

Анотація. У статті проаналізовано сутність, переваги та недоліки девелоперських компаній як сучасної організаційної форми управління будівельним виробництвом в Україні. Актуальність дослідження зумовлена трансформацією будівельного ринку, зростанням потреб у комплексному підході до реалізації життєвого циклу об'єктів, а також необхідністю післявоєнного відновлення зруйнованої інфраструктури. З'ясовано, що девелоперські компанії дозволяють ефективно інтегрувати функції інвестора, забудовника, проєктувальника, експлуатаційної організації, маркетингової та юридичної підтримки тощо в межах єдиної керуючої структури (холдингу).

У межах дослідження застосовано логіко-аналітичний, системний і компаративний методи, а також аналіз відкритих інформаційних джерел і результатів сучасних наукових публікацій. На основі аналізу інформаційних джерел побудовано найбільш повний варіант моделі організаційної структури девелоперської компанії з урахуванням охоплення повного життєвого циклу будівельного проєкта – від доінвестиційного етапу до експлуатації та демонтажу. Наведено типову класифікацію функціональних підрозділів девелоперських структур і їхню взаємодію з ринковими та державними інституціями.

Встановлено, що основними перевагами девелоперських компаній є висока ефективність управління, скорочення термінів реалізації проєктів, зменшення витрат, зростання вартості активів, а також здатність оперативно реагувати на зміни ринку. Серед недоліків виділено складність організації, високу потребу в початковому капіталі та підвищені вимоги до компетентності менеджменту головної компанії. Обґрунтовано перспективи розвитку девелопменту в умовах модернізації українського будівельного сектору, а також відзначено зростання потреби у фахівцях з інженерно-управлінськими та економічними компетенціями, що підтверджується появою відповідних освітніх програм в провідних вищих навчальних закладах України.

Ключові слова: *девелопмент нерухомості, девелопмент будівництва, девелоперська компанія, будівельне виробництво, управління проєктами, організаційні структури управління будівельним виробництвом, життєвий цикл, відновлення, інвестиції, управлінські рішення.*

Менейлюк О.І.

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри технології будівельного виробництва,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Руссий В.В.

доктор філософії, старший викладач
кафедри технології будівельного виробництва та хімії та екології,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Менейлюк І.О.

доктор технічних наук, доцент кафедри хімії та екології,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

ЗМІСТ

Азізова А.Г., Овсій О.М., Овсій Д.М., Стрюк Р.І. ПІДСИЛЕННЯ ЗБІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РЕБРИСТИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ШЛЯХОМ НАРОЩУВАННЯ ПЕРЕРІЗУ ДОДАТКОВИМИ ЗАЛІЗОБЕТОННИМ ШАРОМ В СТИСНУТІЙ ЗОНІ ТА АРМУВАННЯМ В РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ У ВИГЛЯДІ ШПРЕНГЕЛЬНОЇ ЗАТЯЖКИ.....	3
Басістий В.О., Андрухов В.М. ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ, МОНІТОРИНГ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ЗА ДОПОМОГОЮ ВІМ.....	16
Деркач С.І. ПРОБЛЕМАТИКА МОДЕРНІЗАЦІЇ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ: ПОШУК АЛЬТЕРНАТИВНИХ ШЛЯХІВ ТА ПІДГРУНТТЯ ДЛЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЇЇ РЕАКЦІЇ.....	24
Корнило І.М., Данелюк В.І., Король М.Д. СИСТЕМА ЗАХОДІВ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ НА ОСНОВІ БАГАТОВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ.....	32
Постернак І.М., Постернак С.О., Постернак О.С. ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАБУДОВИ КОМПЛЕКСУ БУДІВЕЛЬ КОМЕРЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	40
Савченко І.О. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ЧИННИКІВ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.....	51
Cheng Xiaobing, Dzhedzhula V. STABILITY ANALYSIS OF SLOPE SUPPORTED BY PRESTRESSED ANCHOR PILE SLAB BASED ON FLAC3D.....	62
Meneiliuk O.I., Russyi V.V., Meneiliuk I.O. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DEVELOPER COMPANIES IN CONSTRUCTION PRODUCTION MANAGEMENT.....	72

CONTENTS

Azizova A.G., Ovsii O.M., Ovsii D.M., Striuk R.I. STRENGTHENING OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE RIBBED FLOOR SLABS BY INCREASING THE CROSS-SECTION WITH AN ADDITIONAL REINFORCED CONCRETE LAYER IN THE COMPRESSED ZONE AND REINFORCEMENT IN THE TENSIONED ZONE IN THE FORM OF A SPRENGEL TIE.....	3
Basistyi V.O., Andrukhov V.M. ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION, MONITORING OF BUILDINGS AND STRUCTURES, USING BIM.....	16
Derkach S.I. PROBLEMS OF MODERNIZATION OF MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDINGS: SEARCH FOR ALTERNATIVE WAYS AND GROUNDS FOR ITS REALIZATION.....	24
Kornylo I.M., Danelyuk V.I., Korol M.D. SYSTEM OF MEASURES FOR IMPROVING ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DESIGN IN CONSTRUCTION BASED ON MULTIDIMENSIONAL MODELS.....	32
Posternak I.M., Posternak S.O., Posternak O.S. ORGANIZATION OF CONSTRUCTION PRODUCTION OF THE BUILDING COMPLEX OF COMMERCIAL BUILDINGS.....	40
Savchenko I.O. DEVELOPMENT OF INFORMATION AND LOGIC MODELS FOR ASSESSING FACTORS OF NEGATIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENT.....	51
Cheng Xiaobing, Dzhezdzhula V. STABILITY ANALYSIS OF SLOPE SUPPORTED BY PRESTRESSED ANCHOR PILE SLAB BASED ON FLAC3D.....	62
Meneiliuk O.I., Russyi V.V., Meneiliuk I.O. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DEVELOPER COMPANIES IN CONSTRUCTION PRODUCTION MANAGEMENT.....	72

Регламенти контролю якості виконання будівельних робіт

1. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ**
2. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ**
3. Регламент контролю якості **ПРИ ЗВЕДЕННІ МОНОЛІТНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
4. Регламент контролю якості **ПРИ МОНТАЖІ ЗБІРНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
5. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
6. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**
7. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ МОНТАЖІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
8. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ НЕПРОХІДНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛІВ**
9. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ**
10. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПОКРІВЕЛЬ**
11. Регламент контролю якості **ОПОРЯДЖУВАЛЬНИХ РОБІТ**
12. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПІДЛОГ**
13. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ВІКОН І ДВЕРЕЙ**
14. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ ВНУТРІШНІХ САНІТАРНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**
15. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЕЛЕКТРОМОНТАЖНИХ РОБІТ**
16. Регламент контролю якості **РОБІТ ІЗ БЛАГОУСТРОЮ ТЕРИТОРІЇ**



НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

Науково-технічний журнал

Випуск № 46

Підписано до друку 08.05.2025 р. Формат 60×84/8. Обл.-вид. арк. 10,45, ум. друк. арк. 9,53.
Папір офсетний. Цифровий друк. Наклад 200 примірників. Замовлення № 0525/413.

Видавничий дім «Гельветика»

(Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.)

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Тел. +38 (048) 709 38 69, +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua