

Максим КЛИС,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-6790-8281

Владіслав БУТЕНКО,

аспірант кафедри організації та управління будівництвом

ORCID: 0000-0001-7385-3029

Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ

ФОРМУВАННЯ ПОТОКОВИХ МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ ПРИ БУДІВНИЦТВІ МАЛОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ

У статті розглянуто теоретичні та прикладні аспекти формування поточкових методів організації будівельних робіт під час зведення малоповерхової житлової забудови. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю прискорення темпів будівництва житла в умовах значного попиту на житлову інфраструктуру, зокрема у контексті післявоєнної відбудови України, а також потребою у підвищенні ефективності використання матеріальних, трудових та енергетичних ресурсів. Традиційні методи організації будівництва не завжди забезпечують достатню ритмічність виробничих процесів, що призводить до нерівномірного використання трудових ресурсів, збільшення тривалості будівельного циклу та зростання витрат. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває застосування поточкових методів організації робіт, які дозволяють забезпечити безперервність і синхронізацію технологічних процесів на будівельному майданчику.

Метою дослідження є наукове обґрунтування підходів до формування ефективних поточкових методів організації будівництва малоповерхових житлових об'єктів із урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, технологічної ритмічності та оптимального використання ресурсів. Для досягнення поставленої мети використано методи системного та порівняльного аналізу, математичного моделювання будівельних потоків, а також інструменти сучасних організаційних методологій управління будівельними процесами.

У роботі проаналізовано основні моделі організації будівництва, зокрема лінійну, поточкову, циклічну та модульну, та визначено їхні переваги й обмеження при застосуванні у малоповерховому житловому будівництві. Значну увагу приділено математичному моделюванню параметрів будівельних потоків, зокрема визначенню періодів розгортання та згорання потоків, що дозволяє оптимізувати графіки виконання робіт і підвищити ефективність використання трудових ресурсів без їх додаткового залучення. Запропоновано організаційно-технологічну модель лінійно-поточкового зведення малоповерхових житлових будинків, яка базується на принципах серійності, тактового планування та поділу фронту робіт на захватки. Також розглянуто використання інноваційних будівельних матеріалів і технологій, що сприяють прискоренню монтажних процесів.



Окрему увагу приділено впровадженню цифрових інструментів, зокрема BIM-моделювання та N-вимірних конструктивно-технологічних моделей, які дозволяють підвищити точність планування та координації будівельних процесів.

Ключові слова: *потоків методи; малоповерхове будівництво; організація будівництва; NZEB; період згортання потоків; математичне моделювання; BIM-технології; енергоефективність, тривалість будівництва, якість проектних рішень, якість будівництва, управління якістю, цифровізація.*

Вступ. В умовах воєнних дій на території України сучасне будівництво стикається з багатьма викликами, які вимагають нових підходів та рішень для швидкого відновлення інфраструктури та житлового фонду [1]. Одним із найперспективніших напрямів вирішення цієї проблеми є масове зведення малоповерхових житлових масивів. Проте традиційні методи організації будівництва часто не забезпечують необхідного рівня швидкості, економічної доцільності та екологічної відповідальності [4].

Стратегічний курс держави та міжнародні зобов'язання у сфері енергетичної політики вимагають переходу до практик будівництва з майже нульовим споживанням енергії (стандарт NZEB) [5]. Для забезпечення високих темпів робіт при дотриманні таких жорстких вимог критично важливою є організація процесів зведення конструктивних елементів, що базується на формуванні гармонійних потокових методів [4, 7]. Потокова організація дозволяє перевести індивідуальне малоповерхове будівництво у формат промислово орієнтованих процесів, забезпечуючи ритмічність, стандартизацію та скорочення загального циклу зведення будівель [4, 5].

Актуальність зумовлена сучасними тенденціями розвитку будівельної галузі, які характеризуються масштабною індустріалізацією, зростанням складності проектів та переходом до складних організаційно-технологічних систем. Широке застосування збірних залізобетонних конструкцій і впровадження високоритмічних потокових методів організації робіт висувають нові вимоги до якості управлінських рішень, оскільки ефективність реалізації проекту прямо залежить від точності синхронізації заводського виготовлення, транспортування та монтажу елементів. Практика реалізації промислових і малоповерхових об'єктів свідчить, що значна частина втрат ефективності виникає саме через неузгодженість проектних, виробничих і монтажних рішень, що спричиняє порушення графіків поставок, простої техніки, переробки та збільшення тривалості будівництва. У цих умовах особливого значення набуває перехід до підходів, які забезпечують узгодження організаційно-технологічних і логістичних рішень на основі синхронізованих даних усіх учасників будівельного виробництва.

Постановка проблеми. В умовах масштабної відбудови житлового фонду та зростання попиту на малоповерхове житло ключовим викликом для будівельної галузі стає забезпечення високих темпів зведення об'єктів без зниження якості, безпеки та енергоефективності. Практика показує, що традиційні підходи до організації малоповерхового будівництва здебільшого базуються на лінійній або слабо формалізованій моделі виконання робіт, що ускладнює досягнення ритмічності, синхронізації бригад і стабільного використання ресурсів у межах серійної забудови. Неритмічність виробничих процесів призводить до нерівномірного завантаження працівників і механізмів, збільшення тривалості будівельного циклу, зростання непрямих витрат та появи прихованих втрат часу, пов'язаних із очікуванням, переробками, простоем фронту робіт і порушенням послідовності операцій.

Додатково ситуацію ускладнюють сучасні вимоги до енергоефективності, зокрема орієнтація на стандарти будівель із майже нульовим споживанням енергії (NZEB). Досягнення таких показників у серійному малоповерховому будівництві потребує не лише вдосконалених конструктивних рішень, а й високої повторюваності та технологічної дисципліни виконання процесів (ущільнення стиків, герметизація, теплоізоляційні роботи, контроль якості монтажу), що неможливо забезпечити без чіткої потокової організації. Таким чином, виникає проблема розроблення та впровадження таких організаційно-технологічних моделей, які дозволили б перетворити малоповерхове будівництво із фрагментарного «індивідуального» процесу на керований, ритмічний та відтворюваний потік робіт у межах житлової забудови

Окремим проблемним аспектом є недостатня інтеграція поточкових методів із сучасними цифровими інструментами (BIM-моделювання, багатовимірні конструктивно-технологічні моделі, інструменти моніторингу), що обмежує можливість прогнозування відхилень, оперативного коригування графіків і підвищення точності планування. Тому актуальним є формування комплексного підходу, який поєднує математичне моделювання параметрів будівельних потоків, тактове (лінійно-потокове) планування, принципи ощадливого будівництва та цифрову підтримку прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідження ґрунтуються на застосуванні методів системного аналізу, порівняльного аналізу та математичного моделювання технологічних процесів [1, 2]. Використано теоретико-експериментальні підходи до складання математичного опису будівельних потоків, що дозволяють оцінити параметри системи у робочому діапазоні зміни вхідних і вихідних змінних [2]. Для оптимізації процесів на робочих місцях застосовано принципи ощадливого будівництва [1, 8].

Важливим інструментом дослідження стало концептуальне формування N-мірної конструктивно-технологічної моделі процесу зведення будівлі, яка інтегрує дані про алгоритми організації процесів, людські ресурси, засоби механізації та поділ фронту робіт на захватки у вигляді багатовимірних матриць [2]. Також застосовано метод теорії графів і циклограм для візуалізації розрахункових просторово-часових параметрів будівельних потоків [2].

Питання підвищення ефективності організації будівельного виробництва в сучасних умовах активно розглядається у вітчизняних і зарубіжних дослідженнях, при цьому особливий акцент робиться на прискоренні темпів будівництва, зниженні витрат, підвищенні керованості процесів та адаптації галузі до кризових факторів. Так, у роботах, присвячених удосконаленню організації будівельних процесів в умовах воєнних викликів, наголошується на необхідності застосування інноваційних управлінських інструментів та трансформації традиційних підходів до планування і контролю будівництва [1]. Дослідження, спрямовані на модернізацію економіки будівництва, підкреслюють важливість впровадження інноваційних технологій як ресурсу економічного розвитку та фактору підвищення конкурентоспроможності будівельних підприємств [6].

Окремий науковий напрям становлять праці, присвячені моделюванню організаційно-технологічних процесів. У дослідженнях з математичного моделювання технологічних процесів зведення будівель і споруд показано можливості формалізованого опису параметрів будівельного виробництва та використання

моделей для оптимізації виконання робіт [2]. Водночас, у вітчизняній науковій школі організації будівництва розвиваються підходи до оптимізації ритмічності потоків, зокрема шляхом аналізу періоду згорання потоків та балансування робіт без залучення додаткових трудових ресурсів, що важливо для серійних процесів [7]. Ці напрацювання формують методичну базу для переходу від “індивідуального” виконання операцій до системно організованих потоків.

Значна група сучасних публікацій присвячена проблематиці енергоефективності та стандарту NZEB у контексті малоповерхового будівництва. У дослідженнях щодо організації будівництва індивідуальних будинків стандарту NZEB за проектами повторного використання обґрунтовується важливість серіалізації проєктних рішень, стандартизації та відтворюваності процесів як умов забезпечення заданих енергетичних показників [5]. Разом з тим, у працях з аналізу концепцій організації процесів зведення конструктивних елементів підкреслюється роль системності, взаємозв'язку робіт і ресурсів у сучасному будівельному виробництві [4]. Однак у більшості таких робіт енергоефективність часто розглядається переважно як результат конструктивно-матеріальних рішень або як окремий напрям управління якістю, без достатньо жорсткого зв'язку з параметрами такту, ритму та потоковості, що визначають відтворюваність операцій у серійному будівництві.

Суттєве місце у сучасних дослідженнях займають цифрові інструменти та інтеграція методологій управління. У роботах, що розглядають інтеграцію цифрового інструментарію з новітніми методологіями, акцентується необхідність переходу до цифрово підтриманого управління процесами (планування, координація, моніторинг) та підсилення прогнозованості виконання робіт [3].

Метою статті є розробка та наукове обґрунтування комплексного підходу до формування потокових методів організації робіт при зведенні малоповерхових житлових масивів. Дослідження спрямоване на оптимізацію термінів будівництва через розрахунок періодів розгортання та згорання потоків без залучення додаткових трудових ресурсів, а також на підвищення стабільності досягнення енергоефективних показників NZEB завдяки серіалізації проєктів повторного використання та застосуванню інструментів ошадливого будівництва.

Наукова новизна дослідження полягає у розробленні та обґрунтуванні комплексного підходу до формування потокових методів організації робіт у малоповерховій житловій забудові, який поєднує математичне моделювання параметрів будівельних потоків, лінійно-потокове (тактове) планування, інструменти ошадливого будівництва, а також цифрові засоби підтримки управління (BIM і N-вимірні конструктивно-технологічні моделі) в єдину організаційно-технологічну систему.

Уперше для умов серійного малоповерхового будівництва показано можливість використання розрахунку періодів розгортання/згорання неритмічних потоків як інструменту виявлення прихованих часових резервів і збалансування робіт без залучення додаткових трудових ресурсів, що забезпечує скорочення тривалості будівельного циклу та підвищення ритмічності виконання операцій.

Розвинуто підхід до організації потокового зведення енергоефективних будинків стандарту NZEB шляхом запровадження індексу енергостабільності як показника відтворюваності досягнення проєктних енергетичних параметрів у серійному будівництві, що дозволяє пов'язати вимоги енергоефективності з організацією потоку та технологічною дисципліною виконання робіт.

Доведено, що синергетичне поєднання BIM-моделювання, N-мірних конструктивно-технологічних моделей забезпечує перехід від фрагментарної організації робіт до проактивного управління потоком, підвищує прогнозованість і керованість процесів, скорочує втрати часу та ресурсів і створює методологічну основу для масштабування серійного малоповерхового будівництва в умовах відбудови. .

Виклад основної інформації.

1. Концептуальні засади формування поточкових методів у малоповерховому будівництві. Сучасна практика організації будівельного виробництва базується на кількох ключових моделях, вибір яких залежить від типу об'єкта, його масштабів та конструктивних особливостей [4]. При будівництві малоповерхових житлових масивів найбільшу ефективність демонструє застосування поточкових методів [1]. Поточковий метод передбачає послідовне виконання робіт на всіх ділянках будівництва за єдиним графіком, що мінімізує простой та значно підвищує продуктивність [1].

Організація процесів зведення конструктивних елементів будівель трансформується з набору ізольованих монтажних операцій у єдиний динамічний виробничо-керований ланцюг [4]. У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз основних моделей виробничої організації.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика моделей організації будівництва [4]

Модель організації	Принцип дії	Сфера застосування	Переваги	Обмеження
Лінійна	Послідовне виконання монтажних операцій один за одним	Малоповерхова забудова з простою структурою	Проста реалізація, повний контроль за кожним етапом	Довгий цикл будівництва, тривалі простой між етапами
Модульна	Використання збірних конструктивних блоків із заводським виготовленням	Швидкокомповане та індустріальне будівництво	Висока швидкість , мінімальна залежність від погоди	Високі вимоги до логістики, транспорту та проектування
Потокова	Розподіл процесів на потоки, паралельне виконання в різних зонах (захватках)	Масиви індивідуальних будинків, типова забудова	Висока продуктивність, оптимізація ресурсів, скорочення строків	Потребує ретельної координації, ризик конфліктів бригад
Циклічна	Повторюваність робіт за встановленим технологічним циклом	Багатосекційні споруди, зведення серійних котеджів	Стабільність темпу, ефективне використання кадрів	Слабка адаптивність до зовнішніх змін чи затримок

При зведенні житлових масивів також надзвичайно важливо використовувати новітні будівельні матеріали, які підтримують швидкісні потокові процеси. Наприклад, технологія домокомплектів дозволяє отримувати повний набір матеріалів для зведення будинків «під ключ» [6]. Застосування інноваційних рішень суттєво зменшує трудомісткість і прискорює рух будівельних потоків по захватках (див. табл. 2).

Таблиця 2

Інноваційні будівельні матеріали для прискорення поточкових робіт [6]

Матеріал	Опис	Переваги для поточкового будівництва
Утеплені стінові ЗБВ-панелі	Тришарові залізобетонні панелі з вбудованим внутрішнім шаром утеплювача	Значне прискорення монтажу завдяки інтегрованій теплоізоляції; готовність під оздоблення
Скломагнетитовий лист	Композитна плита на основі оксиду магнію, перліту та скловолокна	Гнучкість та вологостійкість; швидкий «сухий» монтаж внутрішніх та зовнішніх поверхонь
Фібра (для бетону)	Спеціальні армуючі волокна (сталеві або полімерні), що додаються до розчинів	Підвищення міцності; скорочення термінів твердіння, що дозволяє швидше демонтувати опалубку

2. Математичне моделювання та розрахунок періоду згортання потоків.

При неритмічному поточковому будівництві житлових масивів часто виникають процеси із запасом невикористаного трудового ресурсу на роботах і захватках [7]. Для оптимізації загального терміну зведення застосовується розрахунковий апарат визначення періоду розгортання та згортання потоків [7].

Період згортання кожної поточної роботи розраховується за формулою [7]:

$$T_j^{зг} = \max_{1 \leq k \leq m} (\sum_{i=1}^k t_{ji} - \sum_{i=1}^{k-1} t_{(j-1)i}) \quad (1)$$

де t_{ji} та $t_{(j-1)i}$ – тривалість виконання j -го та $(j-1)$ -го потоку на i -му фронті робіт (захватці).

Проведемо розрахунок для гіпотетичного малоповерхового масиву з 4-х будинків (захваток), де виконуються 3 послідовні технологічні процеси: P1 (Земляні роботи та фундамент), P2 (Зведення стін і перекриттів), P3 (Покрівля). Нехай тривалості робіт (у днях) на захватках Z1, Z2, Z3, Z4 становлять:

- Для потоку $j=1$ (P1): $t_{1,1} = 5, t_{1,2} = 6, t_{1,3} = 4, t_{1,4} = 5$
- Для потоку $j=2$ (P2): $t_{2,1} = 10, t_{2,2} = 12, t_{2,3} = 8, t_{2,4} = 10$
- Для потоку $j=3$ (P3): $t_{3,1} = 6, t_{3,2} = 7, t_{3,3} = 5, t_{3,4} = 6$

Визначимо період згортання для потоку $j=2$ відносно потоку $j=1$:

Крок $k=1$: $t_{2,1} - 0 = 10 - 0 = 10$

Крок $k=2$: $(t_{2,1} + t_{2,2}) - t_{1,1} = (10 + 12) - 5 = 22 - 5 = 17$

Крок $k=3$: $(t_{2,1} + t_{2,2} + t_{2,3} - (t_{1,1} + t_{1,2} = (10 + 12 + 8) - (5 + 6) = 30 - 11 = 19$

Крок $k=4$: $(t_{2,1} + t_{2,2} + t_{2,3} + t_{2,4}) - (t_{1,1} + t_{1,2} + t_{1,3}) = (30 + 10) - (11 + 4) = 40 - 15 = 25$

Отже, $\max(10, 17, 19, 25) = 25$ днів. $T_2^{3r} = 25$.

Таке математичне моделювання виявляє роботи зі збільшеним періодом згортання потоків, що дозволяє застосувати послідовно-паралельні методи збалансування робіт шляхом перерозподілу обсягів між процесами [7]. Запропоновано зменшувати тривалість виконання неритмічних робіт на технологічно однотипних процесах без залучення додаткового трудового ресурсу [7].

3. Лінійно-поточкова схема зведення будинків стандарту NZEB. Серійне будівництво індивідуальних будинків з майже нульовим споживанням енергії (NZEB) потребує жорсткої дисципліни та відтворюваності операцій [5]. Запропонована організаційно-технологічна модель переводить індивідуальне будівництво у формат промислово орієнтованих процесів на базі бібліотеки проєктів повторного використання [5].

Оптимальною схемою організації такого технологічного процесу є лінійно-поточкова, коли об'єкт ділиться на зони, а бригади рухаються караванним принципом за узгодженим такт-планом [5].

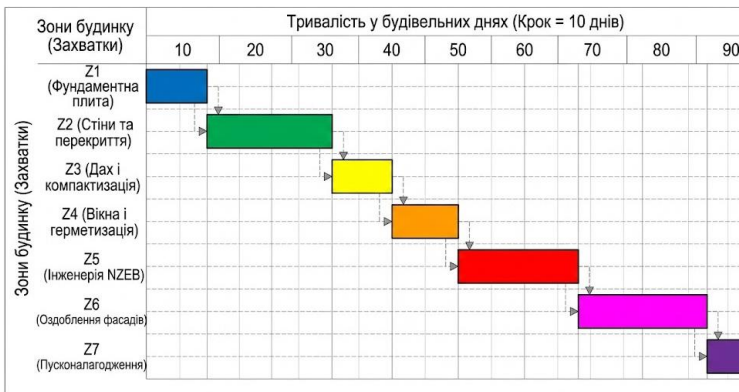


Рис. 1. Циклограма лінійно-поточкового зведення

Поділ будинку на зони створює чіткий ритм виконання робіт, скорочує загальну тривалість будівельного циклу та дозволяє уникати простоїв [5]. Формула такту робіт дозволяє розрахувати час, через який спеціалізована бригада повинна перейти до наступної зони або до сусіднього будинку [5].

Для контролю параметрів енергетичної ефективності серійних будинків впроваджується індекс енергостабільності (I_{es}), який дозволяє статистично контролювати відхилення від проєктного стандарту NZEB [5]. Розрахунок індексу для масиву з 3-х будинків (цільове споживання $E_{target} = 60$ кВт·год/м²·рік):

Фактичні показники: 62,65,58 кВт·год/м²·рік [5].

Середнє фактичне значення: 61,7 кВт·год/м²·рік [5].

Квадрати відхилень: $0,32=0,09$; $3,32=10,89$; $(-3,7)^2=13,69$. Сума = 24,67 [5].

Дисперсія: 8,22. Стандартне відхилення $\sigma=2,87$ [5].

Індекс енергостабільності: $I_{es} = 1 - (\sigma/E_{target}) = 1 - (2,87/60) = 1 - 0,048 = 0,95$ [5]. Показник 0,95 свідчить про високу стабільність досягнення параметрів NZEB у потоковому процесі [5].

4. Інтеграція ощадливого будівництва у потокове будівництво. Невід'ємною частиною вдосконалення потокових методів є застосування філософії ощадливого будівництва [1,3]. Застосування цієї філософії є ідеальним кандидатом для будівельної галузі з метою виявлення та усунення втрат (muda) у процесах [8].

Особливе місце в системі ощадливого будівництва займає методологія A3, розроблена Toyota, яка є структурованим підходом до вирішення проблем у 7-8 кроків (від визначення проблеми до аналізу першопричин та розробки плану дій) [8]. Оскільки в малоповерховому будівництві є багато рутинних операцій (наприклад, утеплення фасадів, кладка), вони створюють ідеальне середовище для стандартизації [8].

У дослідженні практичного впровадження інструментів A3 та системи 5S на будівельному майданчику було доведено їх колосальну ефективність. До впровадження оператори витрачали 65% часу на чисті втрати (очікування матеріалів, пошук інструментів) і лише 4% на діяльність, що додає цінність (встановлення панелей) [8]. Проведений аналіз першопричин (кореневих причин) за діаграмою Ісікави виявив недоліки в навчанні персоналу, відсутність стандартизованих методів роботи та неефективне використання інструментів [8]. Впровадження контрзаходів (використання нових тримачів, зміна висоти розміщення клеючих сумішей, спеціальні лекала для свердління) дозволило вивільнити одного працівника та виконувати дві операції одночасно [8]. У результаті продуктивність зростає вдвічі: швидкість покриття площі збільшилась з 30 м² до 60 м² на день на одну бригаду, а такт виконання однієї операції зменшився з 3,82 хв до 2,1 хв [8]. Ці практичні дані беззаперечно підтверджують, що методологія A3 органічно вписується в індустрію будівництва, сприяючи підтримці ідеального ритму потоків [8].

5. Цифрові інструменти та N-мірне просторово-часове моделювання. Жодна з сучасних методологій управління не може розкрити свій повний потенціал без інтеграції з відповідним цифровим інструментарієм [3]. Системне поєднання BIM-технологій та потокових методів створює синергетичний ефект, який гарантує перехід від реактивної до проактивної моделі управління [3]. BIM (інформаційне моделювання будівель) надає ідеальну технологічну базу для реалізації принципів ощадливого будівництва, оскільки дозволяє візуалізувати й усунути колізії ще на етапі проектування [3].

Конструктивно-технологічну структуру процесу зведення будівлі найбільш достовірно можна представити у вигляді N-мірної моделі [2]. У такій моделі алгоритми організації процесів, трудові ресурси, засоби механізації та схеми поділу фронту робіт подаються у вигляді n-мірних масивів даних (матриць) [2]. Математична обробка цієї N-мірної матриці дозволяє генерувати множину можливих технологічних рішень та знаходити найоптимальніший варіант будівельного потоку [2]. Така структурна схема побудови моделі дозволяє гнучко інтегрувати технологічні рішення в сучасне програмне забезпечення і створює підґрунтя для використання автоматизованих і роботизованих комплексів на будівельному майданчику [2]. Крім того, інструменти Інтернету речей (IoT) забезпечують моніторинг об'єктів у реальному часі, передаючи дані в системи РМ

(Project Management) для адаптивного гнучкого реагування на будь-які відхилення у будівельному потоці [3].

Висновок. Організація процесів зведення конструктивних елементів будівель посідає ключове місце в системі сучасного будівельного виробництва. Виконане дослідження підтверджує, що формування ефективних потокових методів при будівництві малоповерхових житлових масивів дозволяє докорінно покращити ключові проєктні показники: оптимізувати терміни, знизити витрати, гарантувати якість і безпеку виконання робіт.

Застосування математичного моделювання для розрахунку періодів згортання та розгортання потоків дозволяє виявити приховані резерви часу на неритмічних процесах і збалансувати роботу комплексних бригад без залучення додаткових трудових ресурсів. Водночас, впровадження лінійно-потокових схем на базі проєктів повторного використання є найважливішим інструментом для серійного зведення енергоефективних будинків класу NZEB, забезпечуючи високу стабільність досягнення енергетичних стандартів.

Особливу роль відіграє синергетичне поєднання цифрового інструментарію (BIM, N-мірні моделі, IoT) з передовими методологіями, такими як принципи ощадливого будівництва та вирішення проблем у форматі A3. Саме інтеграція цих технологій перетворює індивідуальне будівництво з фрагментарного «ремесла» на передбачуване промислове виробництво. В умовах масштабної відбудови України такий системний підхід стає критичною необхідністю для забезпечення технологічно досконалого, швидкого та сталого відновлення житлової інфраструктури країни.

Список літератури:

1. Арутюнян І.А., Васецький В.В., Журавель М.В., Шевчук Л.І. Інноваційні інструменти для удосконалення організації будівельних процесів в умовах російської агресії. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 2025, 27. С. 12–19. <https://doi.org/10.15802/bttrp2025/331433>
2. Басараб В. Методи моделювання технологічних процесів зведення будівель і споруд. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025, 55(1). С. 24–31. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(1\).24-31](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).24-31)
3. Зяхор Д., Зіньков О. Удосконалення проєктних показників у будівництві через інтеграцію цифрового інструментарію та новітніх методологій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2025, 56(1). С. 3–10. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).3-10](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).3-10)
4. Мартинюк І.Ю., Устинов Є.Б., Коваленко В.В., Сокуров А.В., Бованенко Д. О. Основні концепції організації процесів зведення конструктивних елементів будівель у системі сучасного будівельного виробництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2024, 54(2). С. 62–75. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(2\).62-75](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(2).62-75)
5. Перегінєць І.І. Організація будівництва індивідуальних будинків стандарту NZEB за проєктами повторного використання. *Містобудування та територіальне планування*, 2025, 90. С. 366–376. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.90.366-376>
6. Скларов М.В., Швець В.В., Кашканов А.А. Інноваційні технології у будівництві як ресурс економічного розвитку і фактор модернізації економіки будівництва. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 2024, 2(37). С. 163–170. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-163-170>

7. Тугай О.А., Іванейко І.Д., Дубинка О.В., Шебек М.О., Іванейко М.М., Олійник В.М. Вплив періоду згортання потоків у промисловому будівництві без застосування додаткового трудового ресурсу. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2023, 52(1). С. 171–180. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(1\).171-180](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).171-180)

8. Mandic J., Sremcevic N., Piaux J., Vrhovac V., Kucevic D., Stankovski S. Streamlining Construction Operations: A Holistic Approach with A3 Methodology and Lean Principles. *Buildings*, 2024, 14, 2260. <https://doi.org/10.3390/buildings14082260>

Maksym KLYS, Vladislav BUTENKO

Formation of flow methods for organizing work in the construction of low-rise residential construction

The article examines theoretical and practical aspects of the formation of flow-based methods for organizing construction processes in the development of low-rise residential buildings. The relevance of the research is determined by the increasing demand for residential infrastructure, particularly in the context of Ukraine's post-war reconstruction, as well as the need to improve the efficiency of resource utilization in the construction industry. Traditional approaches to construction organization often fail to ensure the necessary rhythm and continuity of technological operations, which leads to uneven use of labor resources, increased project duration, and higher construction costs. In this context, the implementation of flow-based organizational methods becomes an effective tool for improving the productivity and efficiency of construction processes.

The aim of the study is to develop and scientifically substantiate an integrated approach to the formation of flow methods for organizing construction work during the development of low-rise residential buildings while ensuring compliance with modern energy efficiency standards and rational use of resources. The research methodology includes system analysis, comparative analysis of construction organization models, mathematical modeling of construction flows, and the application of modern management methodologies used in construction production.

The study analyzes the main models of construction organization, including linear, flow-based, cyclical, and modular approaches, and evaluates their advantages and limitations in the context of low-rise residential development. Particular attention is paid to the mathematical modeling of construction flow parameters, including the determination of deployment and folding periods of flows, which makes it possible to optimize construction schedules and improve the utilization of labor resources without increasing workforce involvement.

An organizational and technological model for the linear-flow construction of low-rise residential buildings is proposed. The model is based on the principles of serial construction, takt planning, and the division of the work front into construction zones, enabling better coordination of construction teams and reducing idle time between operations. The study also considers the application of innovative construction materials and technologies that facilitate faster installation processes and improve construction efficiency.

Keywords: *flow methods; low-rise construction; construction organization; flow folding period; mathematical modeling; BIM technologies; energy efficiency, duration of construction, quality of design solutions, construction quality, quality management, digitalization.*

Дата надходження статті: 23.01.2026

Дата прийняття статті: 25.02.2026