

DOI: 10.32347/2076-815X.2024.85.315-339

УДК 69.05

канд.техн.наук, доцент **Лепська Л.А.**,  
lyuba-lepskaya@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3684-7564,  
докт.техн.наук, професор **Тонкачєєв Г.М.**,  
tonkacheiev.gm@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6589-8822,  
**Шандра О.Г.**, shandra.oh@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2486-059,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ МОНТАЖУ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ: ПЕРЕДОВІ МЕТОДИ**

*Найважливішим фактором, що сприяє підвищенню продуктивності праці у будівництві, є впровадження передової технології та прогресивних методів виконання робіт. У зв'язку з цим питання вдосконалення технології, монтажного оснащення та методів монтажу є найважливішими для цього дослідження. Технологія збірно-монолітного каркасного домобудування визнана найбільш ефективною у будівництві, причому як економічно, так і якісно. Сутність проблеми, що розглядається в роботі, полягає у необхідності розробки технологічних засад каркасного малоповерхового будівництва, що характеризує проблему як науково-прикладну. Вирішення проблеми здійснюється на основі системного походу. Показано, що технології зведення малоповерхових будівель різного призначення в сучасному масовому будівництві визначаються їх конструктивно-технологічними та об'ємно-планувальними рішеннями, функціональним призначенням, умовами будівництва, а також вимогами щодо забезпечення енергозбереження будівель. Автором проаналізовано особливості конструкції будинків, принципи виконання монтажних робіт, особливості технологічних рішень, що застосовуються. Обґрунтовано з позицій загального системного підходу концепцію технологічної системи каркасного малоповерхового житлового будівництва як цілісної, відкритої, організованої, адаптивної структури з неоднорідних складових. Це дозволило визначити рівень автономності системи, її організаційну структуру та функції, заходи щодо вдосконалення адаптивності, стратегію оптимізації.*

*Ключові слова: будівництво; каркасні будівлі; монтаж; малоповерхові каркасні будівлі*

### **Постановка проблеми.**

В даний час у будівельній галузі все більша увага приділяється комплексному дослідженню організаційно-технологічного проектування

об'єктів будівництва. Будівельна система розглядається як сукупність організаційних, конструктивних та технологічних процесів на всіх етапах повного організаційно-технологічного циклу – від проектування, виготовлення конструкцій на заводі до завершення будівництва на майданчику. У той же час малоповерхове будівництво – одна з важливих сфер, які забезпечують населення житлом. Розвиваючись переважно за межами міст, малоповерхове будівництво вирішує багато проблем, пов'язаних з урбанізацією. Так як будь-яке будівництво має передбачає значні фінансові та тимчасові витрати, особливо уважно зараз стали придивлятися до каркасних будівель, які можуть використовуватися не тільки при індивідуальному житловому будівництві, але і як адміністративні, господарські та промислові будівлі [19].

Розвиток збірних будівель набув значного імпульсу в будівельній галузі, пропонуючи численні переваги та сприяючи просуванню індустріалізації будівництва [10]. Швидкокомтовані будівлі передбачають виїзне виготовлення основних конструктивних елементів з подальшим їх транспортуванням і монтажем на будівельному майданчику [8]. Цей підхід до будівництва пропонує значні переваги, включаючи скорочення часу будівництва, розширені можливості архітектурного проектування та покращену якість будівництва [15], [25]. Отже, збірні будівлі отримали широке впровадження та визнання в усьому світі.

За надійністю та міцністю каркасні будинки не поступаються спорудам з інших матеріалів. Основною перевагою таких будівель є невисока вартість та короткий термін будівництва. Також слід відзначити міцність з'єднання будівельних елементів між собою. За рахунок цього будинок менш схильний до пошкоджень в результаті усадки на проблемних ґрунтах. При цьому самі конструкції мають невелику вагу, що дає можливість обійтись без потужного фундаменту та великої будівельної техніки [3].

Проте на практиці дослідження конструктивних рішень каркасних будівель дозволяють встановити досить високу ймовірність виникнення наступних проблем:

1. Різниця ваги конструкцій коливається в широких межах від 30 до 60%, що знижує ефективність використання монтажних кранів;
2. Існуюча розрізка конструктивних елементів не враховує належним чином умов монтажу конструкцій, використовуваного монтажного обладнання та монтажних кранів;
3. Окремі конструкції та їх вузли не технологічні з погляду монтажу;
4. При проектуванні не завжди враховується комплекс питань, пов'язаних із виготовленням конструкцій, транспортуванням та їх монтажем.

На прийняття обґрунтованих параметрів монтажного обладнання впливають допуски на геометричні розміри та збірку, які мають вирішальне значення для досягнення високої якості будівель. Перевірка точності та трудомісткості спорудження конструкцій виявляється більш ефективною за наявності передового технологічного обладнання та точного підбору компонентів за певними параметрами.

Необґрунтоване застосування дорогої оснастки при недостатньому рівні механізації в технологічних процесах приводить до невиправданих витрат і до зниження продуктивності праці, тому актуальною є проблема формування комплектів монтажної оснастки при зниженні витрат на проектування, виготовлення, експлуатацію та підвищення продуктивності.

Рішенням цієї проблеми є створення системи формування комплектів оснастки для примусової посадки, вивірки і закріплення конструкцій малоповерхових каркасних будівель, з одночасним удосконаленням конструктивних рішень стикових з'єднань, що разом створить умови для використання примусових методів монтажу.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Досягти необхідного результату – надійності, енергоефективності при економічній доцільності можна різними методами, одним з яких є будівництво за технологією ЛСТК (легкі сталеві тонкостінні конструкції). Сьогодні, наприклад, у Швеції та Японії частка індивідуальних житлових будинків, побудованих з ЛСТК, становить 15%, у США – 6%, у Великій Британії – 3% [11].

Технологія ЛСТК передбачає проектування та будівництво будівель та споруд з легких сталевих тонкостінних конструкцій на основі каркасу з використанням термопрофілів та профілів зі стінкою товщиною до 4 мм: стійкових, напрямних та перемичок, виготовлених з оцинкованої тонколистової сталі. ЛСТК використовується як при зведенні несучих та самонесучих стінових конструкцій, так і при будівництві міжкімнатних та міжповерхових перекриттів, кроквяних систем тощо. Сьогодні застосовуються три різні технології будівництва з ЛСТК, але перша і найпоширеніша технологія – поелементний монтаж. На будмайданчик привозять промарковані профілі нарізані за потрібними розмірами. Каркас збирається на місці «з нуля» як конструктор.

Складання профілів здійснюється «сухим» методом – за допомогою болтів різного діаметру (5–16 мм), звичайними самонарізними і самосвердлувальними гвинтами, витяжними заклепками, монтажними дюбелями, які вводяться в пакльовки. Відсутність «мокрих» процесів дозволяє

вести будівництво цілий рік, що у різних кліматичних умовах має важливе значення.

Ідеальна геометрія будівлі одна з найважливіших переваг технології ЛСТК. Усі елементи легких сталевих тонкостінних конструкцій виробляють спеціалізовані заводи, які гарантують якість та розмірно-геометричну точність кожної деталі. Усі профілі нарізаються та упаковуються ще на етапі виробництва. Тобто від будівельників потрібно лише зібрати панелі стін із вже готового, промаркованого відповідним чином матеріалу.

У будівель з ЛСТК немає обмежень щодо конфігурації обсягів та способів зовнішньої обробки. Конструкції каркасного типу дозволяють реалізувати будь-яку планувальну схему. Крім цього за технологією ЛСТК можна зводити споруди без застосування проміжних опор з прольотами до 12 м, а у разі посилення конструкцій – до 15 м. Крім того, ЛСТК забезпечує зручність розміщення елементів комунікаційних систем і вбудовування в стіни різного роду додаткових сегментів.

Технологія монтажу із середніх та великих індустріальних сендвіч-панелей (1,2\*3,6 м та 2,4\*4,8 м) дозволяє суттєво знизити трудомісткість та вартість монтажу в порівнянні з традиційними технологіями зведення малоповерхових будинків із цегли, блоків, монолітного бетону та збірного залізобетону.

Основними провідними будівельними процесами є процеси «сухого» збирання великих сендвіч-панелей повної заводської готовності із застосуванням уніфікованих запатентованих швидкозбірних вузлів з'єднань на основі типу «муфта-гільза», ущільнювачів та нащільників. «Мокрі» процеси замонолічування та зварювання відсутні. Допоміжними будівельними процесами є підготовчі, ізоляційні, оздоблювальні та контролюючі якість операції.

Слід зазначити, що економічною будівельною технологією на сьогоднішній день є саме будівництво каркасних будинків. Як показує статистика, значна кількість прогресивних країн у світі переходить на будівництво каркасних споруд [21]. Звичайно, у різних країнах, у різних проектних та будівельних організаціях є своя культура та свої особливості будівництва каркасних будинків, але суті технології це не змінює – вона є і залишається каркасною.

Взаємозв'язок між технологією будівництва будинку та його конструкцією очевидний. Будинки, схожі між собою зовні, можуть бути побудовані за різними технологіями та з використанням різних конструкцій. Перш, ніж зупинитися на способі втілення конкретної споруди, слід вивчити всі варіанти з урахуванням їх переваг та недоліків, і тільки після цього зупинити

вибір на тій технології та конструкції будинку, які відповідатимуть бажанням забудовника [19].

Найбільш прогресивний метод монтажу - примусовий, головними перевагами якого є передумови комплексної механізації та автоматизації виробництва. Одним із різновидів методів примусового монтажу є монтаж методом просторової самофіксації. При цьому методі встановлення та просторова фіксація елементів досягаються виключно за рахунок замкових фіксаторів без будь-яких утримуючих пристроїв. Поєднання низу і верху панелей здійснюється за допомогою штирів. Бічні сполучення виконані у вигляді гребневих пластин, що входять в зачеплення один з одним. У міру опускання панелей гребені переміщуються по конічних вирізках і притягують панель, що монтується, до раніше встановленої. Послідовність монтажу здійснюється замкнутими осередками.

Між тим, збірне будівництво передбачає попереднє виготовлення компонентів у заводських налаштуваннях з наступною перевіркою індивідуальних розмірів. Попереднє дослідження, проведене Берджессом [6], продемонструвало природну наявність розмірних відхилень у цих компонентах, підкреслюючи їх неминучу природу. Однак феномен накопичених помилок при складанні компонентів часто не враховується [4]. Навіть якщо розміри кожного компонента відповідають встановленим вимогам, під час фактичного процесу складання все одно можуть виникнути такі проблеми, як надмірне накопичення стиків і відхилення в положеннях встановлення компонентів. Якщо ці розміри перевищують допустимий діапазон допусків, це може негативно вплинути на ефективність і якість установки [8]. Завищені або занижені розміри установки можуть призвести до надмірних або недостатніх зазорів між компонентами, що призведе до нещільного встановлення або погіршення стабільності, тим самим впливаючи на загальну міцність і стабільність конструкції будівлі. Крім того, нерівномірні або надмірні зазори між компонентами також можуть вплинути на естетичний вигляд будівлі, як показано на рис. 1.



Рис. 1. Вплив монтажних відхилень у збірних компонентах [13]

Процес складання компонентів на місці стає вирішальним кроком для налаштування допусків на встановлення [22]. Традиційні методи усунення впливу кумулятивних відхилень у звичайних процесах будівництва включають в себе конструкцію за допомогою паличок [7] і методи проб і помилок [23]. Конструкція на стрижнях — це обрізка компонентів на місці для встановлення, але вона менш підходить для бетонних конструкцій. Методи проб і помилок передбачають тривале коригування позицій компонентів, без фундаментального вирішення питання кумулятивних відхилень [18], і все ще існує ризик переробки [20]. Деякі вчені [5] розглядають вплив накопичених відхилень, змінюючи послідовність взаємозамінних компонентів. Змінюючи послідовність монтажу та використовуючи зв'язки між поверхнями, вони досягли планування послідовності монтажу для збірних будівель. Однак ці методи вимагають наявності суміжних поверхонь між двома компонентами і не підходять для установок, які включають компоненти, які потребують з'єднань. Таким чином, необхідно дослідити рішення для усунення сукупних відхилень на етапі встановлення, що передбачає приділення найбільшої уваги формуванню комплектів оснастки для примусових методів монтажу каркасних будівель.

### **Цілі, їх актуальність та новизна**

Мета дослідження: створення апарату, що включає концепцію, моделі, методи дослідження та оптимізації технологічної системи монолітного каркасного висотного житлового будівництва, що забезпечує комплексне вирішення проблеми створення технологічних засад монолітного висотного будівництва. Новизна дослідження полягає в обґрунтуванні з позицій системної концепції технологічної системи збірної та збірно-монолітного каркасного малоповерхового житлового будівництва як цілісної, відкритої, організованої, адаптивної структури з неоднорідних складових, що дозволило визначити заходи щодо вдосконалення адаптивності, стратегію оптимізації.

### **Методи дослідження**

Методи дослідження включали: загальнологічні - аналіз, узагальнення, аналогія та абстрагування; емпіричного дослідження - спостереження, експеримент, опис, вимірювання та порівняння; теоретичні - ідеалізація та формалізація, а також систематизації наукових знань - типологізація та класифікація стосовно теорії та практики побудови організаційно-технологічних моделей. Застосовувалися також методи дослідження як метод загальної теорії систем, системно-структурного аналізу.

### **Результати та їх обґрунтування**

Традиційні технології побудови несучих конструктивних елементів припускають використання штучного дрібнорозмірного каменю, дрібних

блоків, монолітного або збірного залізобетону, дерева або металу [24]. Виробництво робіт та з використанням перерахованих матеріалів є традиційним для вітчизняного домобудування та серйозних проблем при виконанні будівельно-монтажних робіт не виникає. При цьому вищезгадані матеріали є універсальними і можуть використовуватися як при будівництві малоповерхових житлових будівель, так і при багатоповерховому будівництві, і деякі більше підходять для багатоповерхових, ніж для малоповерхових будинків. Крім того, при використанні ряду матеріалів для малоповерхових багатоквартирних будівель, для деяких технологій характерний великий запас несучої здатності, при якому експлуатаційний термін будівлі значно перевищує термін морального старіння. При цьому під час зведення таких будинків трудовитрати збільшуються, що несе за собою збільшення кошторисної вартості будівництва.

Альтернативними системами для зведення малоповерхових будинків, як найперспективнішими, є: дерев'яна каркасно-стійкова система, комбінація легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК) та структурних ізоляційних панелей (СІП), монолітний залізобетон та каркасні будинки за повнозбірною технологією – варіант використання методу «платформи» у категорії каркасно-щитових дерев'яних будинків [4], [5], [6].

Ця технологія передбачає укладання в щити комунікацій та теплоізоляції. Крім цього, можливе заповнення віконних отворів та первинної (чорнової) обробки стін. Усі зазначені операції проводять у заводських умовах [7], та на будівельному майданчику здійснюється поелементний монтаж.

Між тим, дослідження функціональних і технологічних допусків на монтаж конструкцій каркасів малоповерхових будівель дозволяють виявити протиріччя між ними, які у свою чергу призводять до зменшення рівня збирання конструкцій, і, як результат, підвищення трудомісткості монтажу конструкцій з застосуванням сучасних стикових з'єднань болтового, штирьового та муфтового типу. В першу чергу ці протиріччя пов'язані зі зменшенням зазорів посадки системи «отвір-штир». По-друге, вони пов'язані з наявністю допусків на поворот опорних поверхонь, що характеризуються системами «конструкція-опора» та «поліспасть-конструкція».

Дослідження щодо конструктивних параметрів стикових з'єднань, а також параметрів розташування стиків в об'ємі будівлі дають можливість визначити перелік значущих чинників впливу на трудомісткість монтажного процесу - зазори в системі стикових з'єднань типу «штир-отвір» та кути відхилення опорних поверхонь і фіксаторів у відповідності до наявної системи функціональних допусків, прийнятих для конструкцій каркасів в малоповерхових будівлях (рис. 2). Такі дослідження дозволяють провести

оцінку ситуації з переміщенням конструкцій стосовно допустимих відхилень, які фіксуються кутом повороту конструкцій в просторі за умови певних співвідношень параметрів конструкцій і обмежуючої оснастки.

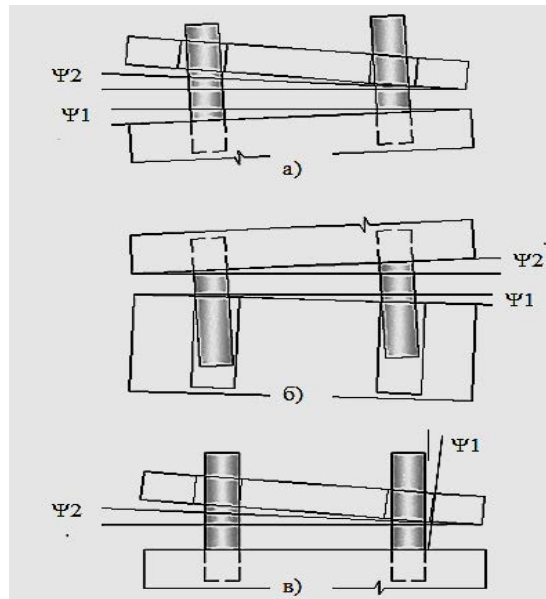


Рис. 2. Схеми повороту конструкцій та опор в вузлах рам каркасів:  
а) – для вузлів 2, 3 та 4; б) – для вузлів 4; в) – для вузлів 1 [1].

Виходячи з розмірів зазорів (табл. 1), норми на відхилення осей збірних колон у верхньому перерізі від вертикалі при довжині колони у 3...16 м дуже великі по відношенню до розмірів зазорів. При такому співвідношенні параметрів не гарантоване повне збирання конструкцій каркасу.


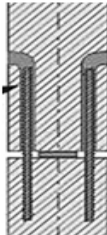

Сучасні каркасні універсальні повнозбірні архітектурно-будівельні системи дозволяють з одного набору будівельних конструкцій проектувати і будувати житлові та громадські будівлі різного призначення. При прийнятому кроці колон 6,7 м проліт може бути від 2,1 до 7,2 м. [26]. Використовувана сітка колон може бути і більше, при цьому планувальні рішення приміщень та будівлі в цілому можуть бути найрізноманітнішими, що залежать тільки від вимог замовника, призначення та фантазії архітектора. Особливістю конструктивної системи в цьому випадку є технологія складання вузлів з'єднання основних несучих елементів із застосуванням обтискних муфт, що до цього часу застосовувалася лише у монолітному будівництві. Для збірного домобудівництва використання цієї технології потребувало досліджень деформацій і переміщень елементів, що у процесі обтискання муфт. Підбір обтискного обладнання, режимів та розробка спеціального технологічного оснащення дозволили вирішити цю проблему та суттєво зменшити обсяги зварювальних робіт під час монтажу. Ще однією особливістю конструктивної системи є використання спеціальних гумометалічних опор, що дозволяють



збільшити сейсмостійкість житлового будинку до 8 балів. При цьому сам рамно-зв'язковий каркас забезпечує сейсмостійкість будівель 7 балів.

Таблиця 1

## Основні конструктивні характеристики сучасних стикових з'єднань [1]

Тип з'єднань:	Конструктивні характеристики:					Позначення:
колон на болтах	марка	d <sub>ст</sub>	d <sub>от</sub>	h	a <sub>1</sub>	 a <sub>1</sub> – розмір зазору в системі «отвір-штир», мм;
	НРКМ	18	28	15	10	
		20	31	20	11	
		24	35	30	11	
		30	40	45	10	
	РЕС	24	35	30	11	
		30	45	45	15	
	36	54	50	18		
колон на штирях	марка	d <sub>ст</sub>	d <sub>от</sub>	h	a <sub>1</sub>	
	GCC	20	40	600	20	
		24	45	800	21	
		30	50	800	20	
		36	60	900	24	
		45	70	900	25	
		52	80	1000	28	
ригелів на штирях і болтах	h	a <sub>1</sub>				
	400	20				
	400	21				
	500	20				
	500	24				
	700	25				
	900	28				

Завдання сьогодні також полягають у розробці методик, будівельних систем та методів принципово нового високотехнологічного та енергоефективного будівництва швидкокомтованих будівель різної поверховості за рахунок зміни структури трудового та енергетичного балансу монтажного процесу, що дозволяє вийти на високоефективні конструктивно-технологічні та організаційно-економічні рішення застосування трансформованих перекриттів (модулів), запровадження універсальної високотехнологічної будівельної системи з автоматичним позиціонуванням модулів та інтерактивних систем контролю якості монтажу з використанням малолюдних та енергоефективних роботизованих телескопічних монтажних підйомників.

Незважаючи на наявність «мокрих» процесів і зварювання при використанні залізобетонних повнозбірних систем, розроблена будівельна система «сухого» збирання багатопверхових повнозбірних будівель, які швидко зводяться, що змінює традиційне уявлення про повнозбірне будівництво (рис. 3). Плити перекриття являють собою плити перекриття кесонного типу, що мають внутрішні пази з відсутніми нижніми гранями, сполучені між собою за допомогою круглих отворів для прокладання

інженерних мереж. Безригельний безкапільний залізобетонний каркас будівлі, порівняно з базовим об'єктом, забезпечує спрощення монтажу конструкцій каркасу, зниження трудомісткості робіт зі зведення каркасу будівлі. Конструкція плит перекриття дозволяє інтегрувати в них інженерні мережі, що дозволяє скоротити термін будівництва та зменшити вимоги до оснастки для методів монтажу.

монтажу.

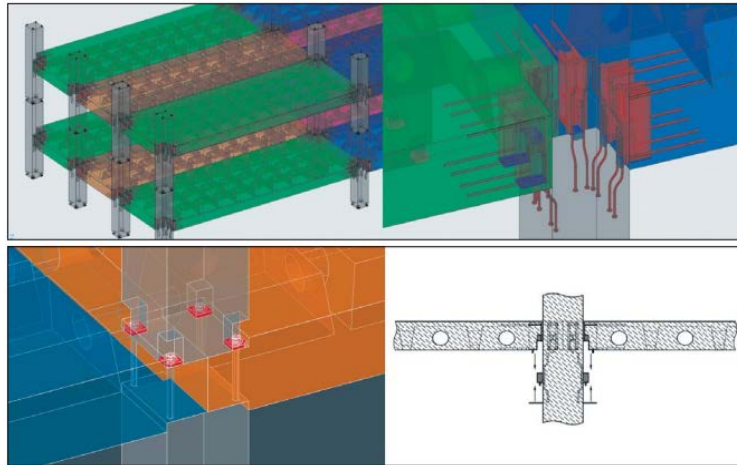


Рис. 3. Загальний вигляд будівельної системи повнозбірних будівель, що швидко зводяться в збірному залізобетоні

На рис. 4 показані варіанти «сухих» вузлів сполучення при використанні залізобетонних конструкцій.

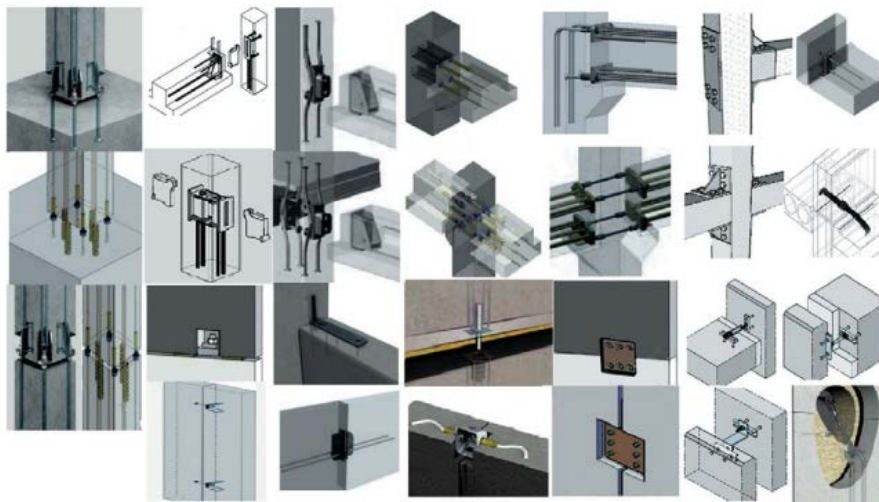


Рис. 4. Варіанти «сухих» вузлів сполучення при використанні залізобетонних конструкцій

Дослідження параметрів конструкцій і системи «поліспаст-конструкція» дозволили визначити, що для конструкцій каркасів малоповерхових будівель загальний кут повороту опор і системи стропування конструкцій не перевищує

2 градуси. Це може викликати заклинювання конструкцій в процесі посадки на фіксатори «штир-отвір» групового типу. Обов'язковим для таких стикових з'єднань є застосування монтажної оснастки для повернення конструкцій, що наводяться, у вертикальне положення зі зменшенням кута до  $\Psi = 0.5...1 \pm 0,25$ . Також, знайдені зусилля для наведення і орієнтування конструкцій при посадці на опори (450...1500 Н) для отриманих значень параметрів системи «поліспаст-конструкція-опора» - їх необхідно враховувати при створенні і конструюванні модулів маніпуляторів та обмежувачів.

На базі методики цілочисельного нормування автором були встановлені норми часу на монтажні операції процесу монтажу колон, ригелів та плит перекриття за умов впливу факторів відхилень в системі «конструкція-опора», причому був врахований фактор обмежень (зазорів) в системі «штир-отвір» стикових з'єднань при реалізації примусових методів виконання операцій посадки, вивірки та закріплення.

В цілях визначення трудомісткості та вартості процесів монтажу конструкцій з примусовою посадкою та вивіркою були створені варіанти сіткових моделей монтажу конструкцій з різними варіантами монтажної оснастки і стиків (табл. 2).

Таблиця 2

Варіанти сіткових моделей для різних стикових з'єднань і монтажної оснастки [1]

№ п/п	Найменування процесу	Шифр	Формалізація
Процес монтажу колон ( $f_1$ )			
1	З вільною посадкою і вивіркою	$M_{1.1f_1}$	$(a_0 U d_1)$
2	З обмеженою посадкою і вільною вивіркою	$M_{2.1f_1}$	$(a_1 U b_1 U d_1)$
3	З примусовою посадкою без вивірки	$M_{3.1f_1}$	$(a_2 U b_1 U d_1)$
4	З вільною посадкою і вивіркою	$M_{1.2f_1}$	$(a_0 U d_2)$
5	З обмеженою посадкою і вільною вивіркою	$M_{2.2f_1}$	$(a_1 U b_1 U d_2)$
6	З примусовою посадкою без вивірки	$M_{3.2f_1}$	$(a_2 U b_1 U d_2)$
Процес монтажу ригелів ( $f_2$ )			
1	З вільною посадкою і вивіркою	$M_{1.1f_2}$	$(a_0 U d_1)$
2	З обмеженою посадкою і вільною вивіркою	$M_{2.1f_2}$	$(a_1 U b_1 U d_1)$
3	З примусовою посадкою без вивірки	$M_{3.1f_2}$	$(a_2 U b_1 U d_1)$
4	З вільною посадкою і вивіркою	$M_{1.3f_2}$	$(a_0 U d_1 U d_2)$
5	З обмеженою посадкою і вільною вивіркою	$M_{2.3f_2}$	$(a_1 U b_1 U d_1 U d_2)$
6	З примусовою посадкою без вивірки	$M_{3.3f_2}$	$(a_2 U b_1 U d_1 U d_2)$
Процес монтажу плит перекриттів ( $f_3$ )			
1	З вільною посадкою і вивіркою	$M_{1.1f_3}$	$(a_0 U d_0)$

З використанням сіткових моделей, автор у своїх попередніх дослідженнях побудував модель процесів монтажу конструкцій каркасів різних циклів монтажного потоку. Це дозволяє використовувати переваги

комбінування комплексних моделей та проводити дослідження шляхом визначення технологічних параметрів процесу (рис. 5).

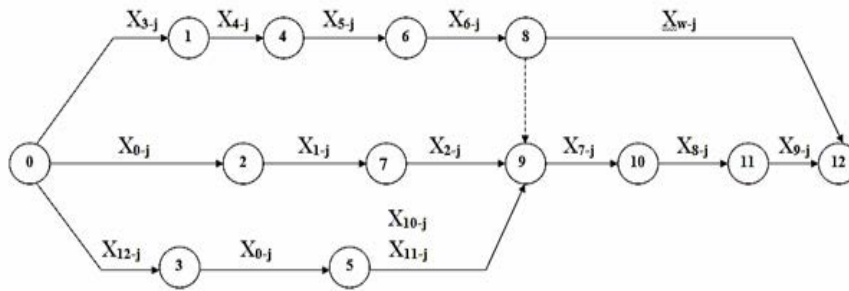


Рис. 5. Зразок сітьової моделі варіанту ( $M_{3.1fi}$ ) для типового циклу [1]

У результаті вивчення всіх операцій процесу з монтажу колон, ригелів та плит можливим є оцінювати складність і відповідальність дій по групах, де тривалість виконання монтажних операцій визначається як [1]:

$$t_i = \sum_1^n t_w^1 + \sum_1^m t_w^2 + \sum_1^r t_w^3 \quad (1)$$

де:  $t_w^1, t_w^2, t_w^3$  - тривалість однієї дії, відповідно для простого характеру дії - 1 хв, для дії середньої складності - 2 хв і для складних дій - 3 хв;  
 $n, m, r$  - кількість дій відповідної складності в розглянутій операції.

Аналіз даних щодо процесу монтажу колон дозволяє відмітити, що за оптимальні варіанти кількості конструкцій, що послідовно монтуються в одному потоці, можна вважати схеми з 6 – 10 шт. конструкцій (рис. 6 а) б) в) г)). У всіх випадках розглядався автомобільний кран з телескопічною стрілою. Застосування баштових кранів не призводить до зміни варіантів принциповим чином. При моделюванні процесів, для кожного типу конструкцій розглядалися перший монтажний цикл, декілька типових циклів і завершальний цикл.

Тривалість будівництва в основному залежить від обсягу робіт, пов'язаних із зведенням фундаментів, заливкою пінобетону, внутрішнім та зовнішнім оздобленням, прокладанням комунікацій та встановленням обладнання. Як показує досвід будівництва, коробку будинку площею 100 м<sup>2</sup> під дах закінчує протягом 10 днів бригада із 4-х осіб. Заливку пінобетону забезпечує бригада із трьох осіб при використанні серійної установки БС-0,25 за шість днів. Вартість всього комплексу мобільного обладнання для заливки пінобетону – \$6000. Обладнання важить 0,5 т. Вартість 1 м<sup>2</sup> каркасно-монолітної будови складає \$500-550. Виробничі потужності такого домобудівництва вимагають витрат тільки на лісопиляння, столярню та мобільну установку виготовлення неавтоклавного пінобетону, тому такий вид домобудівництва є найбільш прибутковим та найменш капіталомістким.

Відповідно до цього, каркасно-монолітне будівництво може бути освоєно у невеликих містах, лісових селищах та агропромисловому комплексі, де інші види домобудівництва дорогі та неефективні.

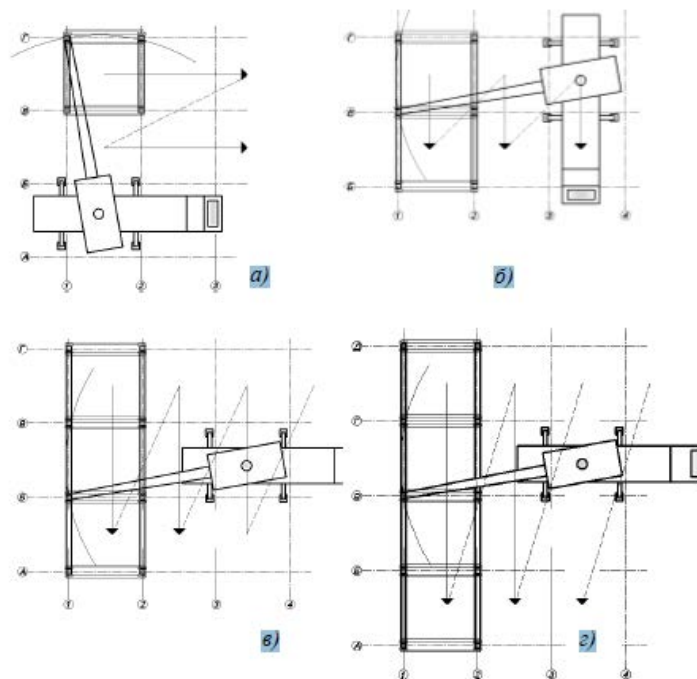


Рис. 5. Схеми монтажу конструкцій каркасу з різною кількістю компонок оснастки у комплектах: а – з двома компоновками; б – з трьома компоновками; в – з чотирма компоновками; г – з п'ятьма компоновками [1].

Згідно з дослідженнями, велику частку трудовитрат при зведенні монолітних конструкцій займає проведення опалубних і бетонних робіт [9]. При виборі опалубки звертають увагу на особливості щодо застосування вантажопідйомних механізмів, трудомісткості, вартості, якості та швидкості будівництва. Можливе застосування монолітних технологій зі знімною опалубкою (щитових, об'ємно-переставних або тунельних, ковзних) та з незнімною опалубкою (з пінополістиролу, арболіту, фіброліту, скломагнезиту та ін.). Досвід показує, що в малоповерховому домобудівництві доцільно застосовувати легкі розбірно-переставні опалубки, що служать виконанню опалубних робіт за безкрановою технологією і забезпечують високий рівень якості бетонування конструкцій.

При зведенні малоповерхових монолітних будівель застосовуються три основні типи опалубки: переставна, ковзна та їх поєднання. Ці види опалубки служать проектуванню певної архітектурної форми монолітної будівлі.

У монолітному будівництві малоповерхових будівель, що мають криволінійну просторову форму, застосовують пневматичну опалубку. Можливо поєднувати ковзну опалубку для стін перших поверхів монолітних

котеджів, щитову опалубку для перекриттів та пневматичну опалубку для монолітного будівництва котеджів з другого поверху. Пневматична опалубка використовується тільки для монолітного будівництва малоповерхових будівель, що є тонкостінними конструкціями з важкого бетону, захищені від промерзання і перегріву шаром ефективного утеплювача [11].

Існуючі нині у світі принципи виробництва, складання, а також силова схема побудови жорсткої просторової рами ідентичні, як і основні вузли каркасу та технологія будівництва. Особливість такої ідентичності характеризується великою кількістю ручних операцій на місці будівництва, витратами тимчасових та фінансових ресурсів, низькою якістю будівництва та високими експлуатаційними витратами, коротким життєвим циклом будівельного продукту. Кожне архітектурно-планувальне рішення унікальне і, як правило, є продуктом одноразового застосування, при його проектуванні вимоги модульної координації розмірів дотримуються меншою мірою або взагалі не дотримуються. Критеріям уніфікації, типізації та модульності така будівельна продукція відповідає найменшою мірою. Зростання кількості типорозмірів переважно визначається незначними розбіжностями конструктивних розмірів деталей і конструкцій при обмеженому виборі планувальних параметрів.

Всі ці недоліки багато компаній Європи та Північної Америки, які виробляють комплекти та збірні конструкції для будівництва, намагаються нівелювати шляхом впровадження цифровізації та автоматизації виробничих процесів, проте залишаючись у полоні застарілої парадигми ящичного будівництва. Незважаючи на різноманітність виробів, сфера застосування дерев'яних технологій вкрай обмежена, тим більше спиратися на них з метою розробки на їх основі будь-якої індустріальної будівельної системи непрофесійно. У цьому зв'язку «...необхідно, по-перше, отримати уроки зі своїх попередніх помилок, а по-друге, розглянути можливість проведення комплексних досліджень для оцінки та усунення перешкод на шляху ширшого застосування таких методів, щоб уникнути аналогічних соціальних та економічних проблем» [25].

У розробці нових технологій все дуже непросто. В даний час спостерігається криза фундаментальних інновацій абсолютно в усьому світі, причому у багатьох сферах. Наприклад, у технологіях перетворення матеріалів та енергії — у кінцевому продукті споживається не більше 7% видобутої природної сировини, решта йде у відвал або використовується марно. Ситуація, що склалася, призвела до нових тенденцій розвитку будівельних виробничих технологій:

- перехід від дискретних (циклічних) технологій до безперервних (потоків) виробничих процесів, як найбільш ефективних та економічних;
- використання безвідходних технологічних циклів у складі виробництва, як найбільш екологічно доцільних;
- Підвищення наукомісткості «високих» технологій, як найбільш пріоритетних у будівництві [2].

Однією з таких екологічно чистих і доступних технологій є будівництво будинків із комплектів 3D-панелей, що мають унікальні характеристики.

Основа технології використання 3D-панелей з пінополістиролу та застосування методу торкретування. Дана передова технологія унікальна за своєю простотою та економічністю, вона забезпечує теплозбереження та теплоізоляцію будинку, зниження енерговитрат, дозволяє скоротити як витрати на будівництво, так і терміни цього будівництва.

3D-панель це універсальний елемент, який використовується для створення практично всіх основних елементів та конструкцій будинку (фундамент, підлога, стіни, перегородки, перекриття, дах, сходи). Вона є просторовою конструкцією, що складається з плити пінополістиролу («сердечник»), з обох боків якої закріплені арматурні сітки, виготовлені з високоміцного дроту. Сітки з'єднані стрижнями, що пронизують пінополістирол, розкосами зі сталевого дроту, привареними до сіток під кутом, що надає конструкції просторову жорсткість, а заодно не дозволяє зміщуватися сердечнику плити [3].

Дана технологія дозволяє будувати без обстеження умов будівництва та без геологічного розрізу. Вона легко застосовна при реконструкції або збільшенні поверховості, при цьому не потрібно використовувати посилення несучих конструкцій. Також вона може застосовуватися в капітальному та якісному будівництві, де мають місце масові стихійні лиха або масові руйнування та обмежене навантаження на ґрунт. Конструкції, які були виконані за даною технологією, будуть мати високу міцність і їх можна застосовувати у вигляді перекриттів довжиною до шести метрів, не використовуючи при монтажі техніку. Впевнено можна сказати, що буде присутнє рівномірне осідання фундаменту, відсутня деформація отворів, не з'являтимуться тріщини в подальшій експлуатації. Панелі мають високу стійкість до сейсмології і витримують максимальну потужність дев'ять балів, при ще одному плюсі гарантії в 100 років.

Розглянемо докладніше технологію зведення та монтаж елементів в одне ціле. 3D-панель є просторовою ферменною конструкцією, що складається з арматурних сіток і стрижнів з високоякісного дроту, приварених під кутом до сіток, сердечника з пінополістиролу і двох шарів бетону, нанесених методом

торкретування (рис. 6). Це метод нанесення на поверхню бетонних чи залізобетонних конструкцій шару бетону чи інших будівельних розчинів (штукатурки, глини). Розчин, тобто торкрет, наноситься під тиском стисненого повітря, внаслідок чого частинки цементу щільно взаємодіють із поверхнею конструкції, заповнюючи тріщини, раковини та дрібні пори (рис. 7).

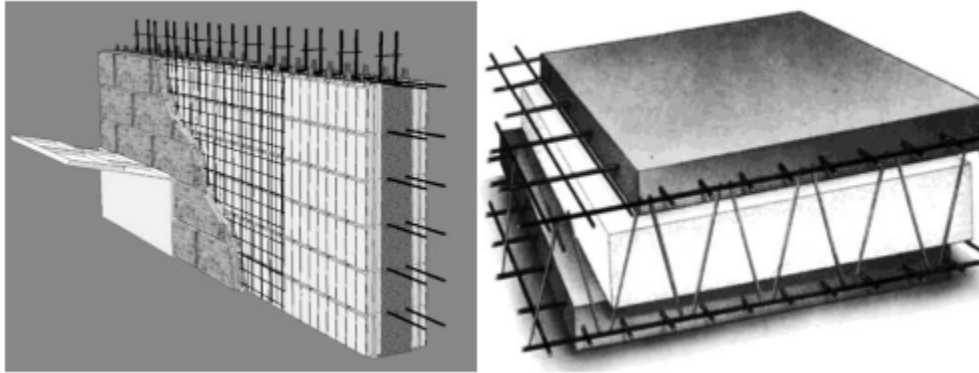


Рис. 6. Вигляд 3D-панелі

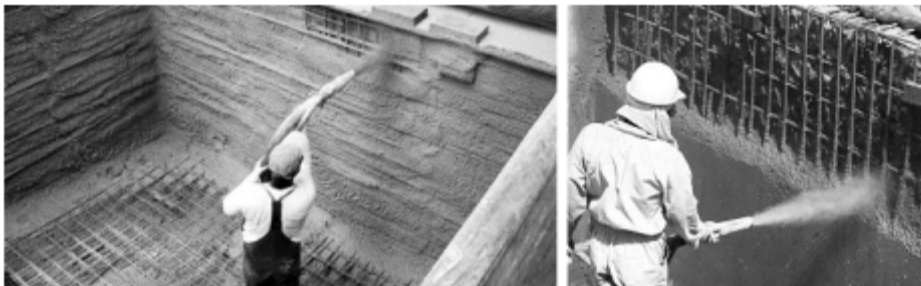


Рис. 7. Метод торкретування

За цим методом 3D-панель будується в такий спосіб. Застосовують високоміцні цементы (високомарочні - М500 або цемент, що швидко твердне) величиною близько 60 міліметрів. Далі закладається арматурна сітка з триміліметрового дроту, в'яжеться комірка розміром п'ять на п'ять сантиметрів, укладається пінополістирол і обв'язується все оцинкованим або нержавіючим дротом діаметром чотири міліметри по діагоналі. Уточнимо, що торкретування виконується в кілька підходів і другий шар бетону наноситься в середньому через пару годин після нанесення попереднього, а потім його обробляють, вирівнюють і затирають. Товщина такої конструкції має бути не менше 30 міліметрів. Кожен проект може бути зведений за допомогою 3D панелей, як усередині, так і зовні, тим самим технологія стає основою для архітектурних форм або фасадних елементів будівлі [3].

Всі можливі будівельні системи та методи проектування, які використовуються в сучасному світі, будуть доступнішими та простішими завдяки 3D-панелям.



Наприклад, щоб забезпечити просторову жорсткість, монтаж панелей починають від кута будівлі, плавно приєднуючи нові панелі, потім підсилюють арматурними стрижнями, закріплюючи м'яким дротом. Монтаж панелей одного із поверхів займає в середньому від двох до трьох днів. Задати потрібний розмір панелі та створити отвори в такій конструкції можна наступним способом: проводиться підрізування арматурної сітки та пінопластового сердечника. Аналогічним способом виготовляють віконні та дверні отвори. При цьому великі завжди вирізують до установки панелей, а невеликі (під вікна у ванній кімнаті, отвори для вентиляції тощо) можна робити у вже зібраній стіні (рис. 8).



Рис. 8. Монтаж віконних та дверних отворів

Також, для влаштування покрівлі, перш за все, не потрібно ніяких додаткових конструкцій, можливе зведення будь-якого кута нахилу, що підкреслює ще одну важливу перевагу перед іншими конструкціями. Формування покрівлі здійснюється безпосередньо від конструкції зведених стін та утеплювачем є перекриття. Рівна поверхня дозволяє встановлювати абсолютно будь-який вид або тип покриття, а по незастиглому бетону, за допомогою ручних штампів, покрівлі можна надати будь-який візерунок - під шифер, під черепицю, під металочерепицю тощо.

### **Обговорення**

На сьогоднішній день у європейських країнах існує безліч передових технологій зведення окремого житлового будинку, серед яких можна виділити такі:

1. Каркасні будинки за системами «Платформа» та SIP. Сучасне будівництво в Європі здійснюється і за канадськими технологіями — такими як «Платформа» та SIP. У першому випадку для зведення будівлі застосовується попередньо зібрана платформа, яка складається з лаг та орієнтовано-

стружкових плит. На неї встановлюють спеціальні щитові стіни, які збирають або на заводі, або безпосередньо на місці будівництва. Після встановлення щитів їх обов'язково заповнюють ефективним утеплювачем. Система SIP має аналогічний принцип, за винятком того, що щити, що використовуються тут, мають менші розміри, і заповнення утеплювачем проводиться на заводі. Переваги обох технологій полягають у простоті та швидкості зведення, а також у високій міцності конструкції.

Удосконалення технології монтажу багатоквартирних будинків із SIP-панелей може відбуватися шляхом спрощення процесу монтажу за рахунок:

- повної заводської підготовки всіх елементів;
- якості їх виготовлення (не потрібне припасування за місцем),
- створення базової номенклатури елементів;
- відпрацювання техніки монтажу;
- використання якісних кріпильних виробів;
- докладної розробки всіх етапів монтажних робіт.

2. Каркасно-рамні конструкції. Такий метод будівництва каркасного будинку є найбільш зручним і практичним для самостійного будівництва. Технологія будівництва каркасно-рамкового будинку проста на відміну від зазначених каркасних будинків. Будівництво такого будинку не вимагає застосування спецтехніки, зводиться безпосередньо на місці будівництва, а також, на відміну від каркасних будинків заводського виготовлення, каркасно-рамний метод будівництва має необмежені конструктивно-архітектурні рішення.

3. Шведські каркасні будинки (ШКС) – це каркасно-щитові будинки, побудовані за енергозберігаючою технологією та популярні для територій з низьким температурним режимом, розроблені у Швеції. Також, такі технології відомі як вищезазначені ЛСТК – легкі сталеві тонкостінні конструкції. Будинки, збудовані за такою технологією, мають невисоку вартість та зводяться за короткий термін. Несучі конструкції ШКС відрізняються тим, що перекриття, крокви та весь каркас виготовлені з оцинкованого сталевого профілю. Для зовнішніх стін використовують термопрофілі, які мають мінімальний поперечний переріз. На його центральній полиці виконується перфорація, яка є оригінальними насічками. Ця перфорація є перешкодою витокам тепла. Їхнє розташування та довжина мають фізичні обґрунтування та розраховуються за формулами. В результаті, термопрофіль має низьку теплопровідність практично рівну нулю. Конфігурація профілю повністю виключає «містки холоду» з виділенням конденсату та подальшим гниттям. Така конструкція дозволяє отримати теплопровідність на 20% нижче порівняно з дерев'яним брусом такого ж розміру [16].

Незважаючи на технічні проблеми, характерні для малоповерхового житлового будівництва та багатоповерхівок, які виникли в середині 20 століття, збірні компоненти постійно використовувалися в ширшій будівельній галузі. Завдяки цивільному будівництву та технічним застосуванням промисловість збірних залізобетону продовжує розвиватися та вчитися на попередніх невдачах. Зв'язок між положенням арматури та довговічністю краще зрозумілий, і розроблено технічні стандарти щодо добавок. Бетон можна використовувати як міцну «підкладку» для обробки важких фасадів. Системи панелей тепер включають кілька шарів, включаючи ізоляцію та порожнини для захисту від погодних умов. Дизайнери все більше використовують потенціал бетону для підтримки або інтеграції кам'яної та цегляної кладки, щоб забезпечити виготовлені на заводі фасади з довговічною обробкою, що сприяє вирішенню багатьох проблем, які викликають легкі системи облицювання дощовиками.

Будівництво хрестоподібних стін є структурно ефективним і економічним способом будівництва, при якому збірні залізобетонні стіни, розташовані послідовно, передають навантаження на фундаменти. Стіни підтримують перекриття, балки та дахи, а також діють як зсувні стіни. Ця техніка, як правило, підходить для будівель до п'яти поверхів із поперечними стінами, розташованими вертикально, однак за допомогою гібридної системи можна будувати вищі будівлі. Комірчасте розташування забезпечує відмінні акустичні та протипожежні характеристики, не покладаючись на додаткове оздоблення [16].

Житлова асоціація Swan запровадила інноваційний підхід до швидшого будівництва більш надійних, якісних і доступних будинків. З 2017 році Swan і власна девелоперська компанія NU Living відкрили фабрику будинків «NU Build», де виготовляють модулі з крос-ламінованої деревини (CLT), встановлюють вікна та двері, а потім встановлюють кухні, ванні кімнати, сантехніку та фурнітуру перед тим, як модулі будуть транспортовані на місце. Однак, щоб досягти рівного доступу, дерев'яні підлоги встановлюються нижче рівня землі, створюючи так звану «вразливість» на порогах. Це повторювана проблема з об'ємною конструкцією.

Крім того, важливо відзначити, що процеси модульного інтегрованого будівництва (MiC) розвивалися протягом останніх років і досягли етапу, коли технологія стає головною точкою опори та центром. Взаємозв'язок між процесами MiC і технологіями є критично важливим, і використання цифрових інструментів і технологій (DTT) є суттєвим фактором. Різні цифрові технологічні інструменти є незамінними для загальної автоматизації будівельних процесів за межами об'єкта. Наприклад, інтеграція BIM на етапі

виробництва збірних будівель значно підвищила продуктивність виробничих процесів [17]. Завдяки застосуванню інтегрованих структур у реальному часі та перспектив, починаючи від організації, координації та впровадження, BIM було визначено як життєздатний DTT, а його переваги та важливість добре описані в існуючій літературі [26]. Досягнення автоматизованих процесів модульного будівництва стає легшим завдяки використанню кількох цифрових технологій, які покращили методи та механізми реалізації модульного будівництва на кожному з його етапів. Машинне навчання та загальні алгоритми, які керуються даними, допомогли стимулювати зростання та впровадження MiC через контрольоване навчання.

Швидко зростаюча галузь робототехніки в будівництві (RiC) висуває пропозиції щодо будівельного обладнання з роботизованими функціями (наприклад, роботизовані екскаватори), використання роботів з інших галузей промисловості для будівельних цілей (наприклад, дронів) і роботів, адаптованих для будівельної галузі. Однак впровадження робототехніки в будівельній галузі все ще стикається з багатьма проблемами через унікальні характеристики будівельного процесу. Особливо в порівнянні з обробною промисловістю (де робототехніка була широко поширена і її вплив є рушійною силою для впровадження робототехніки в будівельній галузі), будівельний процес має нижчий рівень стандартизації та контрольоване робоче середовище.

Частина проблем криється у недостатній інтеграції інформаційних моделей та підрядників, частина – у технологічних рішеннях, частина – у процесах. Монтаж заздалегідь підготовлених елементів конструкції може виконуватися з порушеннями у разі використання застарілих інструментів та методів роботи. Внаслідок цього виникає необхідність ефективного впровадження технології, що дозволяє достовірно передавати технічні дані моделі та дані технологічних етапів її зведення. Цього можна досягти за допомогою роботів.

Крім того, застосування RFID та персональних цифрових помічників полегшує обмін інформацією в режимі реального часу з усіма зацікавленими сторонами з результатом покращення загального процесу будівництва. Таким чином, автоматизація процесів, пов'язаних із модульним будівництвом, має першочергове значення для його загального розвитку та сталості.

### **Висновки та рекомендації для подальшого дослідження**

Сучасні комплексні технології зведення багатоповерхових каркасних будівель повинні базуватися на раціональному розрізанні збірних конструкцій, ефективних вузлових з'єднаннях та системі заходів щодо підвищення монтажної технологічності збірних конструкцій та вузлових з'єднань, що дозволяє знижувати витрати праці та вартість зведення будівель.

Сучасні методи будівництва самі по собі не гарантують якість виготовлення. Дизайн лежить в основі всього, і інвестиції в дизайн на ранніх стадіях проекту можуть зменшити ризики будівництва за межами об'єкта. Повні та життєздатні детальні креслення та специфікації всіх компонентів, крім того, що вимагається у звичайній конструкції, є важливими перед початком виробництва. Незважаючи на те, що заводське виготовлення скорочує час роботи на місці, все одно необхідний догляд за операціями на місці, які не можна перенести на завод. Дійсно, там, де традиційна конструкція поєднується з точними компонентами, зібраними на заводі (наприклад, на стику зовнішніх стін і цокольного поверху), її потрібно будувати з більш жорсткими допусками, ніж зазвичай. Перевірки гарантії якості третьою стороною є ключовими. Перевірки повинні проходити протягом усього періоду, перш ніж продукти залишать завод, після їх встановлення на місці та під час інших операцій на місці.

Підсумовуючи, слід зазначити, що не існує «швидкого шляху» під час введення в експлуатацію та проектування зовнішніх будівельних систем. Ранні інвестиції в проектування, відповідний вибір системи та нагляд за діяльністю на місці є важливими для створення високоефективних, довговічних і гарних будинків, які відповідають розумним очікуванням їхніх мешканців. Якщо уроки минулого засвоєно – базова хороша практика деталізації конструкції дотримується; використовується стандартний шаблон, але будинки не виглядають одноманітними та адаптуються до своєї ділянки; і системи побудовані на існуючих збірних будівельних компонентах і використовують їх – будинки фабричного виробництва можуть допомогти у подоланні житлової кризи у будь-якій країні та сприяти подоланню надзвичайної кліматичної ситуації.

### Бібліографія

1. Лепська, Л.А. Формування комплектів оснастки для примусових методів монтажу малоповерхових каркасних будівель. Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08, К., 2015. 168 с.
2. Alwisy A. et al. A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings //International Journal of Construction Management. – 2019. – Т. 19. – №. 3. – С. 187-205.
3. An, Sh. et al. Automated verification of 3D manufacturability for steel frame assemblies // Automation in Construction. – 2020. – Т. 118 – С. 102382.
4. Ballast D.K. Handbook of construction tolerances. – John Wiley & Sons, 2007.
5. Barkokebas B., et al. Building information modelling and simulation integration for modular construction manufacturing performance improvement // 29th European Modeling and Simulation Symposium. – 2017. – С. 409–415.
6. R.A. BURGESS. Aspects of dimensional control in the production of large precast concrete units. International Journal of Production Research Vol. 10, Issue 2. 1972. P.113-127

7. Friedman A., Cammalleri V. Prefabricated wall systems and the North American home-building industry: North American survey of prefabricated panel systems conducted to examine the characteristics of the products and to determine their weakness in acquiring acceptance by the average builder // *Building Research and Information*. – 1993. – Т. 21. – №. 4. – С. 209-215.
8. Gunawardena T., Mendis P. Prefabricated building systems—design and construction // *Encyclopedia*. – 2022. – Т. 2. – №. 1. – С. 70-95.
9. Hogan-O’Neill W. Prefabricated and modular architecture: Aligning design with manufacture and assembly. - The Crowood Press, 2021.
10. Hong J. et al. Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost-benefit analysis // *Journal of cleaner production*. – 2018. – Т. 172. – С. 649-660.
11. Kibert Ch. Sustainable construction: green building design. – Wiley, 2021.
12. Liu P. et al. Dimensional tolerance control for prefabricated building components // *ACI Structural Journal*. – 2019. – Т. 116. – №. 4. – С. 101-114.
13. Long H, Luo X, Liu J, Dong S. The analysis and application of installation tolerances in prefabricated construction based on the dimensional chain theory // *Buildings*. – 2023. – Т.13. - №7. – С.1799.
14. Lu W. et al. Design for manufacture and assembly (DfMA) in construction: The old and the new // *Architectural Engineering and Design Management*. – 2021. – Т. 17. – №. 1-2. – С. 77-91.
15. Navaratnam S. et al. The challenges confronting the growth of sustainable prefabricated building construction in Australia: Construction industry views // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Т. 48. – С. 103935.
16. NHBC Foundation. Modern methods of construction. <https://www.nhbc.co.uk/binaries/content/assets/nhbc/foundation/modern-methods-of-construction-2.pdf>
17. Olawumi T. et al. Automating the modular construction process: A review of digital technologies and future directions with blockchain technology // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Т. 46 – С. 103720.
18. Rausch C. et al. Optimum assembly planning for modular construction components // *Journal of computing in civil engineering*. – 2017. – Т. 31. – №. 1. – С. 04016039.
19. Roggema R., Roggema A. Smart and sustainable cities and buildings. – Springer, 2020.
20. Shahtaheri Y. et al. Managing risk in modular construction using dimensional and geometric tolerance strategies // *Automation in construction*. – 2017. – Т. 83. – С. 303-315.
21. Wallace D. The future of modular architecture. – Routledge, 2021.
22. Talebi S. et al. Critical review of tolerance management in construction. – 2016.
23. Thai H.T., Ngo T., Uy B. A review on modular construction for high-rise buildings // *Structures*. – Elsevier, 2020. – Т. 28. – С. 1265-1290.
24. Toole T.M. Strengthening Sustainability Rating Credit for Off-Site Construction WHY OFF-SITE CONSTRUCTION IS INHERENTLY SUSTAINABLE // *Proceedings of the 2016 Modular and Offsite Construction (MOC) Summit* (pp. 107–114). Edmonton.
25. Xiao Y., Bhola J. Design and optimization of prefabricated building system based on BIM technology // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. – 2022. – Т. 13. – №. Suppl 1. – С. 111-120.
26. Yin X. et al. Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. *Automation in Construction*. – 2019. – Т. 101. – С. 72-91.

Candidate of Technical Science, Associate Professor **Lepska Liubov**,  
Doctor of Technical Science, Professor **Tonkacheiev Hennadii**,  
**Shandra Olena**,  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## **IMPROVING THE TECHNOLOGICAL ASSEMBLY OF FRAME BUILDINGS: ADVANCED METHODS**

The most important factor contributing to the increase in labor productivity in construction is the introduction of advanced technology and progressive methods of work performance. In this regard, the issues of improving technology, installation equipment and installation methods are the most important for this study. The technology of prefabricated frame house construction is recognized as the most effective in construction, both economically and qualitatively. The essence of the problem considered in the work is the need to develop the technological foundations of frame low-rise construction, which characterizes the problem as scientific and applied one. Solving the problem is carried out on the basis of a systematic approach. It is shown that the technologies of construction of low-rise buildings of various purposes in modern mass construction are determined by their constructive-technological and volume-planning solutions, functional purpose, construction conditions, as well as requirements for ensuring energy conservation of buildings. The author analyzed the features of building construction, the principles of installation work, and the peculiarities of technological solutions used. The concept of a technological system of a frame low-rise residential construction as a complete, open, organized, adaptive structure of heterogeneous components is substantiated from the standpoint of a general system approach. This made it possible to determine the level of autonomy of the system, its organizational structure and functions, measures to improve adaptability, and optimization strategy.

Key words: construction; frame buildings; assembling; low-rise frame buildings

### **REFERENCES**

1. Lepska, L.A. Formuvannia komplektiv osnastky dlia prymusovykh metodiv montazhu malopoverkhovykh karkasnykh budivel. Dys. ... kand. tekhn.. nauk: 05.23.08, K., 2015. 168 s. { in Ukrainian }
2. Alwisy A. et al. A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings //International Journal of Construction Management. – 2019. – T. 19. – №. 3. – S. 187-205. {in English }

3. An, Sh. et al. Automated verification of 3D manufacturability for steel frame assemblies // *Automation in Construction*. – 2020. – Т. 118 – С. 102382.
4. Ballast D.K. Handbook of construction tolerances. – John Wiley & Sons, 2007. {in English}
5. Barkokebas B., et al. Building information modelling and simulation integration for modular construction manufacturing performance improvement // *29th European Modeling and Simulation Symposium*. – 2017. – С. 409–415. {in English}
6. R.A. BURGESS. Aspects of dimensional control in the production of large precast concrete units. *International Journal of Production Research* Vol. 10, Issue 2. 1972. P.113-127 {in English}
7. Friedman A., Cammalleri V. Prefabricated wall systems and the North American home-building industry: North American survey of prefabricated panel systems conducted to examine the characteristics of the products and to determine their weakness in acquiring acceptance by the average builder // *Building Research and Information*. – 1993. – Т. 21. – №. 4. – С. 209-215. {in English}
8. Gunawardena T., Mendis P. Prefabricated building systems—design and construction // *Encyclopedia*. – 2022. – Т. 2. – №. 1. – С. 70-95. {in English}
9. Hogan-ONEILL W. Prefabricated and modular architecture: Aligning design with manufacture and assembly. The Crowood Press, 2021. {in English}
10. Hong J. et al. Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost–benefit analysis // *Journal of cleaner production*. – 2018. – Т. 172. – С. 649-660. {in English}
11. Kibert Ch. Sustainable construction: green building design. – Wiley, 2021. {in English}
12. Liu P. et al. Dimensional tolerance control for prefabricated building components // *ACI Structural Journal*. – 2019. – Т. 116. – №. 4. – С. 101-114. {in English}
13. Long H, Luo X, Liu J, Dong S. The analysis and application of installation tolerances in prefabricated construction based on the dimensional chain theory // *Buildings*. – 2023. – Т.13. №7. – С.1799. {in English}
14. Lu W. et al. Design for manufacture and assembly (DfMA) in construction: The old and the new // *Architectural Engineering and Design Management*. – 2021. – Т. 17. – №. 1-2. – С. 77-91. {in English}
15. Navaratnam S. et al. The challenges confronting the growth of sustainable prefabricated building construction in Australia: Construction industry views // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Т. 48. – С. 103935. {in English}
16. NHBC Foundation. Modern methods of construction. <https://www.nhbc.co.uk/binaries/content/assets/nhbc/foundation/modern-methods-of-construction-2.pdf>



17. Olawumi T. et al. Automating the modular construction process: A review of digital technologies and future directions with blockchain technology // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Т. 46 – С. 103720. {in English}
18. Rausch C. et al. Optimum assembly planning for modular construction components // *Journal of computing in civil engineering*. – 2017. – Т. 31. – №. 1. – С. 04016039. {in English}
19. Roggema R., Roggema A. *Smart and sustainable cities and buildings*. – Springer, 2020. {in English}
20. Shahtaheri Y. et al. Managing risk in modular construction using dimensional and geometric tolerance strategies // *Automation in construction*. – 2017. – Т. 83. – С. 303-315. {in English}
21. Wallance D. *The future of modular architecture*. – Routledge, 2021. {in English}
22. Talebi S. et al. Critical review of tolerance management in construction. – 2016. {in English}
23. Thai H.T., Ngo T., Uy B. A review on modular construction for high-rise buildings // *Structures*. – Elsevier, 2020. – Т. 28. – С. 1265-1290. {in English}
24. Toole T.M. Strengthening Sustainability Rating Credit for Off-Site Construction WHY OFF-SITE CONSTRUCTION IS INHERENTLY SUSTAINABLE // *Proceedings of the 2016 Modular and Offsite Construction (MOC) Summit* (pp. 107–114). Edmonton. {in English}
25. Xiao Y., Bhola J. Design and optimization of prefabricated building system based on BIM technology // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. – 2022. – Т. 13. – №. Suppl 1. – С. 111-120. {in English}
26. Yin X. et al. Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. *Automation in Construction*. – 2019. – Т. 101. – С. 72-91. {in English}