

УДК 691.88

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.250-255](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.250-255)

І. О. Скриннік, доц., канд. техн. наук, **М. О. Федотова**, канд. техн. наук,
В. В. Дарієнко, доц., канд. техн. наук, **В. В. Яцун**, проф., канд. техн. наук,
Д. Ю. Артеменко, доц. канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький Україна
e-mail: Skrynnik_2002@ukr.net*

Дослідження технологічних рішень при зведенні залізобетонних будівель та споруд в будівництві

У статті висвітлено сучасний стан проблеми та здійснено аналіз конструктивних і організаційно-технологічних рішень, що застосовуються при зведенні полегшених залізобетонних конструкцій. Процес створення ефективних будівельних систем безпосередньо пов'язаний із технологією їх реалізації, оскільки технологічні обмеження нерідко стають ключовим чинником, що впливає на доцільність впровадження тих чи інших інженерних рішень. Одним з таких рішень є застосування вкладок-порожнистих, що не виймаються після тверднення бетону. Такі елементи дають змогу формувати внутрішню геометрію конструкцій, забезпечуючи зменшення матеріаломісткості та вагових характеристик без зниження несучої здатності.

залізобетонні конструкції полегшені, вкладка-порожниста, бетон самоущільнювальний, технологічні характеристики, незнімна опалубка

Постановка проблеми. Проектування та процес будівництва будівель та споруд безпосереднім чином взаємопов'язані технологічними аспектами при монтажі та самому будівництві. Вдосконалення полегшених залізобетонних конструкцій повинно здійснюватися у взаємозв'язку з розробкою відповідних технологічних процесів. Одним із перспективних підходів до зменшення ваги та матеріаломісткості конструкцій є застосування вкладок-порожнинистих, що не виймаються. Вони дозволяють формувати внутрішню геометрію залізобетонних елементів без втрати їх несучої здатності. Використання таких вкладок значно скорочує витрати на матеріали, покращує теплоізоляційні властивості конструкцій та знижує навантаження на фундамент. Проте впровадження таких технологій супроводжується низкою проблем:

1. Конструктивні обмеження – необхідність оптимального розташування пустот для забезпечення рівномірного розподілу напружень у конструкції.

2. Технологічні труднощі – забезпечення якісного ущільнення бетону навколо вкладок, особливо при використанні самоущільнюючих бетонів.

3. Організаційно-економічні аспекти – необхідність коригування існуючих норм і стандартів, а також забезпечення економічної доцільності застосування таких рішень.

4. Міцність та довговічність – вплив порожнин на тріщиностійкість та експлуатаційні характеристики конструкції.

Враховуючи ці аспекти, необхідно здійснювати комплексний підхід до проектування, що включає розрахункові моделі, експериментальні дослідження та оптимізацію будівельного процесу. Таким чином, раціоналізація параметрів зведення полегшених залізобетонних конструкцій сприяє підвищенню їх ефективності, економічності та довговічності, що є важливим чинником сталого розвитку будівельної галузі [1,3]. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розроблення методологічних засад підвищення ефективності процесу зведення полегшених залізобетонних конструкцій шляхом раціоналізації конструктивно-технологічних параметрів вертикальних і горизонтальних елементів. Зокрема, розглядається використання самоущільнювальних бетонів та вкладок-порожнистих, що залишаються

в конструкції після завершення бетонування. У сучасних наукових дослідженнях, присвячених удосконаленню конструктивних, організаційно-технологічних рішень і комплексної механізації при монтажі та будівництві конструкцій залізобетонних які повинні мати значно меншу вагу, встановлено, що їх монтаж супроводжується специфічними особливостями [3,6]. Водночас теоретичні та практичні аспекти цієї проблематики залишаються недостатньо розробленими, а оптимізація організаційно-технологічних рішень потребує подальшого удосконалення. Серед невирішених наукових проблем можна виділити такі аспекти: відсутність комплексної методики проектування будівель та споруд, використання сучасних технологічних рішень в самому будівництві; недостатнє дослідження впливу точності їх монтажу на потенційну енергію та її розподіл у конструкції; фрагментарність принципів організаційно-технологічного проектування процесу зведення; відсутність методологічних підходів до експериментальних досліджень, спрямованих на математичне прогнозування основних параметрів зведення таких конструкцій. Окрім цього, до актуальних завдань можна віднести розроблення конструктивних рішень з довільною геометрією та широкими можливостями об'ємно-просторової трансформації; створення умов для реалізації гнучких внутрішніх планувальних рішень; раціоналізацію витрат матеріалів і зменшення маси конструкцій при збереженні необхідних несучих характеристик; забезпечення мінімальної деформативності та формування ефективних технологій зведення полегшених залізобетонних конструкцій [2,5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наявних технічних і організаційно-технологічних рішень, що застосовуються під час зведення полегшених залізобетонних конструкцій, виявив низку актуальних проблем. Зокрема, існує необхідність у науковому обґрунтуванні методологічних основ забезпечення ефективності будівництва таких конструкцій шляхом раціоналізації параметрів виконання робіт. Запропоноване рішення передбачає застосування самоущільнюючих бетонів та вкладок-порожнистих, які залишаються в конструкції, для формування горизонтальних і вертикальних елементів. Питання технології та організації будівельного виробництва знайшли своє відображення в системних дослідженнях провідних учених, серед яких: С.С. Атаєв [3], М.С. Будніков [3], А.Д. Єсипенко [5], В.К. Черненко. Вагомий внесок у вивчення технологічних аспектів бетонування здійснили С.А. Бугаевский [1], П.Є. Григоровський, [4], а також зарубіжні дослідники С. Albrecht, J. Höfler[6], J. Schlumpf. Суттєвий прогрес у сфері розробки організаційно-технологічних рішень та механізації процесів будівництва полегшених залізобетонних конструкцій досягнуто завдяки роботам таких учених, як М.В. Савицький, А.О. Задорожний, В.С. Шмуклер, Nguyen-Thoi T., Jun-Seon Yoon, Melbye[7], J. Jasiczak, W. Majchrzak. Фундаментальними принципами обґрунтування ефективності використання вкладок-порожнистих є: зниження ваги конструкції за рахунок видалення неефективного матеріалу без втрати її несучої здатності; можливість створення перекриттів із більшими прольотами; зменшення навантаження на фундамент, що сприяє оптимізації проектних рішень; скорочення витрат на бетонну суміш та арматурну сталь; зниження трудомісткості та підвищення продуктивності будівельних процесів. Виконана класифікація методів зведення полегшених перекриттів із використанням полімерних вкладок, з урахуванням міжнародного досвіду, дозволила ідентифікувати чинники, що перешкоджають широкому впровадженню таких рішень у будівельну практику України. Основними проблемами є:

- недостатня виробнича база для масового виготовлення вкладок різних геометричних форм;

- висока вартість полімерних порожниноутворювачів;
- обмежені можливості варіювання форми внутрішніх пустот, що зумовлює типові рішення з обмеженням порожнистості до 30%;
- складність виконання армування та бетонування через велику кількість вкладок на одиницю площі перекриття;
- невідповідність стандартним методам раціоналізації перерізів інших конструктивних елементів, зокрема фундаментів, колон та діафрагм жорсткості.

Таким чином, необхідність розробки нових організаційно-технологічних підходів до зведення полегшених залізобетонних конструкцій є актуальною науковою проблемою, що потребує подальших досліджень і розробок.

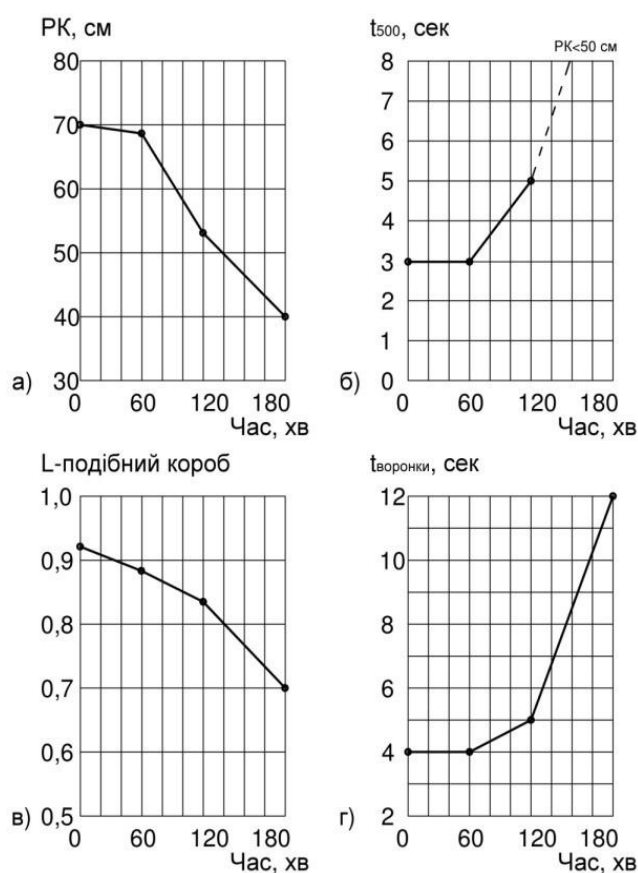
Постановка завдання. Метою даної роботи є використання в будівництві вкладок-порожнистих, що є ефективним рішенням для зменшення матеріаломісткості, покращення експлуатаційних характеристик конструкцій та скорочення витрат на будівництво. Чисельне моделювання підтверджує доцільність такого підходу, особливо в умовах обмеженого бюджету та необхідності підвищення ефективності будівельних процесів.

Виклад основного матеріалу. Сама процедура визначення для складу бетонних сумішей які мають ваду самоущільнюватись, відповідно до якого найбільш раціональним виявилось використання мінеральної добавки в кількості 20% від маси цементу, а також збільшення сумарного вмісту цементу та мінеральної добавки з 440 кг/м³ до 480–504 кг/м³. Додатково, підвищення частки піску за рахунок зменшення вмісту щебеню забезпечило здатність суміші долати перешкоди. Однак застосування модифікаторів в'язкості супроводжувалося або зниженням міцності бетону, або значною втратою рухливості суміші при збільшенні їх дозування.

Застосування двоетапного введення добавок, при якому використовується виключно суперпластифікатор, дозволяє підтримувати необхідні характеристики бетонної суміші без потреби у додаткових сповільнювачах або прискорювачах тверднення. Аналіз змін основних показників у часі свідчить, що за відсутності активного перемішування рухливість суміші, визначена методом розпливу конуса, починає помітно знижуватись вже через 60 хвилин після приготування. Водночас інші характеристики залишаються відносно стабільними протягом тривалішого періоду (рис. 1).

У процесі виконання робіт із влаштування залізобетонних перекриттів які складаються із використанням вкладок-порожнистих (вкладок) можуть виникати зміщення цих елементів відносно їхнього проєктного положення. Подібні відхилення можуть мати суттєвий вплив на конструктивну цілісність та експлуатаційні характеристики всієї системи перекриття. Серед основних причин таких зміщень виділяють технологічні особливості бетонування, похибки під час монтажу, а також зовнішні механічні впливи. Зокрема, при виконанні бетонування в дві стадії, фіксація положення вкладок здійснюється шляхом їх часткового занурення в щойно укладену бетонну суміш або завдяки певній послідовності укладання бетону у верхній частині плити. Такий метод фіксації не гарантує повної стабільності положення вкладок, особливо у випадку незначних коливань рівня бетонної суміші або при динамічному навантаженні під час виконання робіт. При бетонуванні в одну стадію стабілізація вкладок досягається через їх закріплення до арматурних елементів конструкції. Проте, у разі неправильного стикування арматурних каркасів або сіток, можливе зміщення як арматури, так і вкладки, що призводить до відхилення від проєктних параметрів. Крім того, мають місце й інші потенційно небезпечні фактори: недбале укладання вкладок під час монтажу може спричинити зменшення товщини нижньої обшивки, що, у свою

чергу, ускладнює належне бетонування та порушує цілісність поверхні. У випадках, коли бетон має високу рухливість, можливе спливання вкладок, що порушує рівномірність структури. Також зафіксовані випадки механічного впливу з боку працівників чи обладнання — наприклад, падіння ланок бетоноводу під час його збирання та розбирання — що може змістити вкладки в горизонтальній або вертикальній площині. Для дослідження впливу подібних відхилень було проведено експериментальне моделювання фрагмента полегшеного залізобетонного перекриття. Основною метою дослідження було визначення характеру переміщень конструкції та аналіз розподілу потенційної енергії залежно від положення вкладок. Розглядалися типові варіанти зміщень: вертикальне зсування внаслідок порушення товщини верхньої або нижньої обшивки, і поворот вкладки, який виникає через нерівномірне вертикальне зміщення при бетонуванні в одну стадію. Математичне та комп'ютерне моделювання здійснювалося з використанням програмного комплексу ЛІРА, що дозволяє точно оцінити напружено-деформований стан конструктивних елементів (рис.2).



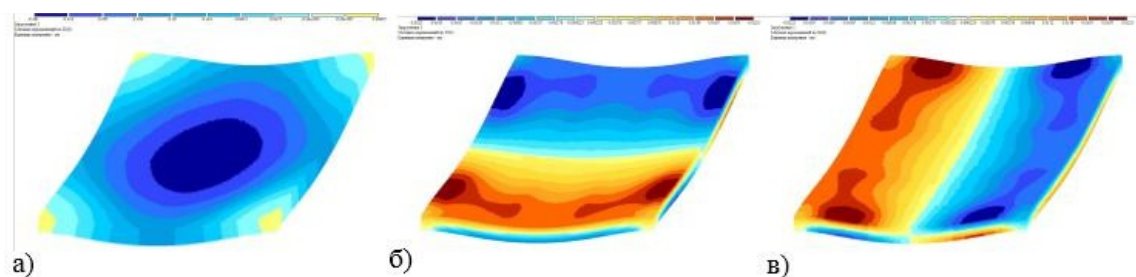
а) розпливання бетонної суміші з конуса; б) час при якому бетона суміш розтікається до діаметру 500 мм; в) час при якому бетонна суміш долає перешкоду з арматурними стержнями; г) час при якому бетонна суміш витікає із воронки V-подібної форми

Рисунок 1 – Графічне зображення даних бетонної суміші, яка має властивість самоущільнюватись, у часі (при температурі зберігання 22°C)

Джерело: розроблене авторами

Результати моделювання свідчать, що ключовим чинником, який впливає на стійкість та міцність перекриття, є точне положення вкладки по висоті. Відхилення від проектної висоти можуть призвести до зменшення жорсткості елемента, появи локальних деформацій та концентрації напружень, особливо у зонах переходу між обшивками і вкладками. Таким чином, дотримання точності геометрії під час монтажу

вкладок, забезпечення надійної фіксації та контроль за процесом бетонування є критичними умовами для досягнення проектної міцності та експлуатаційної надійності конструкції.



а) деформація по вісі Z; б) деформація по вісі Y; в) деформація по вісі X

Рисунок 2 – Переміщення у плиті перекриття від зсуву вкладок

Джерело: розроблене авторами

Висновки. Доведено, що зведення полегшених залізобетонних конструкцій являє собою багатокомпонентну стохастичну систему, у якій комбінації окремих елементів формують основу для оптимізації конструктивних, технологічних та організаційних рішень, особливо під час проектування об'єктів із раціональною геометрією. Виявлено дефіцит ефективних технологій створення внутрішніх порожнин складної конфігурації, що обумовлює актуальність розробки інноваційних підходів у цьому напрямі. Встановлено, що двоетапне введення суперпластифікатора забезпечує стабільність та оптимальні фізико-механічні характеристики бетонної суміші в процесі формування та тверднення. Показано, що вилучення неефективних у роботі матеріальних об'ємів дозволяє знизити масу конструкцій без зменшення їх несучої здатності. Аргументовано, що зниження власної ваги конструктивних елементів сприяє можливості перекриття більших прольотів, що розширює функціональні властивості архітектурних об'єктів. Обґрунтовано, що впровадження вставок при монтажі дозволяє зменшити трудомісткість робіт, скоротити тривалість будівельного циклу та знизити витрати на оплату праці.

Список літератури

1. Бугаєвський С.О. Теоретико-методологічні основи формування організаційно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08 / Харків. нац. ун-т. Харків, 2021. 398 с.
2. Мельник І.В. Напружено-деформований стан та експериментальне впровадження порожнистих бетонних і залізобетонних конструкцій: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Львів. нац. ун-т. Львів, 2021. 294 с.
3. Анпилов С.М., Атаєв С.С., Балицький В.С., Будніков М.С., Гусаков А.А., Данилов Н.Н., Литвинов О.О., Нестле Х., Теличенко В.І. *Дослідження технологічних рішень при зведенні залізобетонних будівель та споруд в будівництві. Будівельні матеріали та вироби*. Київ, 2023. Вип. 5. С. 12–17.
4. Арутюнян І.А., Бабиченко В.Я., Білоконь А.І., Галінський О.М., Галушко В.О., Гончаренко Д.Ф., Григоровський П.Є. *Вплив технологічних процесів на якість залізобетонних конструкцій. Технології бетону*. Київ, 2021. Вип. 7. С. 33–40.
5. Єсипенко А.Д., Кравчуновська Т.С., Менеїлюк О.І., Млодецький В.Р. *Інноваційні методи механізації процесів будівництва полегшених залізобетонних конструкцій. Механізація будівництва*. Київ, 2020. Вип. 2. С. 58–65.
6. Albrecht C., Höfler J., Schlumpf J. Technological advancements in concrete construction: A European perspective. *European Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 27, №. 4. P. 289–298.

7. Jasiczak J., Majchrzak W., Czajka W., Melbye T. Prefabrication and mechanization in modern concrete construction: Case studies from Europe. // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2016. Vol. 10, №. 3. P. 223–231.

References

1. Buhaievskiy S.O. (2021). *Teoretyko-metodolohichni osnovy formuvannia orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen zvedennia polehshenykh zalizobetonnykh konstrukttsii*. Doctor thesis. Kharkiv: (in Ukrainian).
2. Melnyk I.V. (2021). *Napruzhenno-deformovanyi stan ta eksperymentalne vprovadzhennia porozhnistykh betonnykh i zalizobetonnykh konstrukttsii*. Candidates thesis. Lviv: (in Ukrainian).
3. Anpylov S.M., Ataiev S.S., Balytskyi V.S., Budnikov M.S., Husakov A.A., Danylov N.N., Lytvynov O.O., Nestle Kh., Telychenko V.I. (2023). Doslidzhennia tekhnologichnykh rishen pry zvedenni zalizobetonnykh budivel ta sporud v budivnytstvi. *Budivelni materialy ta vyroby*. 5, 12–17 (in Ukrainian).
4. Arutiunian I.A., Babychenko V.Ia., Bilokon A.I., Halinskyi O.M., Halushko V.O., Honcharenko D.F., Hryhorovskiy P.Ie. (2021). Vplyv tekhnologichnykh protsesiv na yakist zalizobetonnykh konstrukttsii. *Tekhnolohii betonu*. 7. 33–40 (in Ukrainian).
5. Iesypenko A.D., Kravchunovska T.S., Meneiliuk O.I., Mlodetskyi V.R. (2020). Innovatsiini metody mekhanizatsii protsesiv budivnytstva polehshenykh zalizobetonnykh konstrukttsii. *Mekhanizatsiia budivnytstva*. 2. 58–65 (in Ukrainian).
6. Albrecht C., Höfler J., Schlumpf J. Technological advancements in concrete construction: A European perspective. *European Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 27, №. 4. P. 289–298.
7. Jasiczak J., Majchrzak W., Czajka W., Melbye T. Prefabrication and mechanization in modern concrete construction: Case studies from Europe. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. – 2016. Vol. 10, №. 3. P. 223–231.

Ivan Skrynnik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Marianna Fedotova**, PhD tech. sci.,
Victor Darienko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Artemenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Research of Technological Solutions in the Construction of Reinforced Concrete Buildings and Structures in Construction

The article highlights the current state of the problem and analyzes the constructive and organizational and technological solutions used in the construction of lightweight reinforced concrete structures.

The process of creating effective building systems is directly related to the technology of their implementation, since technological limitations often become a key factor affecting the feasibility of implementing certain engineering solutions. It is known that even the most innovative design concepts may remain unrealized due to the lack of appropriate technological support or the economic efficiency of their production. In this regard, the improvement of lightweight reinforced concrete structures should occur in close connection with the development of progressive technological processes aimed at ensuring the rational use of materials, reducing the dead weight of structures, and increasing their operational reliability. One of the promising areas is the use of hollow inserts that are not removed after the concrete hardens. Such elements allow you to shape the internal geometry of structures, ensuring a reduction in material consumption and weight characteristics without reducing the load-bearing capacity.

The use of such solutions requires a comprehensive approach, which includes: development of optimal structural parameters taking into account the geometric and mechanical characteristics of the inserts; numerical modeling of stress-strain processes to assess the effectiveness of the application of such technologies; economic feasibility analysis, which allows determining the balance between material costs and the resulting technical effect. Thus, the introduction of the latest technologies for manufacturing lightweight reinforced concrete structures is a promising direction that contributes to increasing the efficiency of construction production and the development of modern design methods.

lightweight reinforced concrete structures, hollow insert, self-compacting concrete, technological characteristics, fixed formwork

Одержано (Received) 14.04.2025

Прорецензовано (Reviewed) 30.04.2025

Прийнято до друку (Approved) 06.05.2025