

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ДОСВІДУ ПРОЕКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ З ЗАСТОСУВАННЯМ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

© Кущенко В. М., Галушак Ю. Г., 2016

Проаналізовано існуючі конструктивні форми вузлів з'єднання трубобетонних колон з різними типами перекриття, їхні переваги та недоліки. Визначено сучасні тенденції, які впливають на впровадження в будівництво трубобетонних конструкцій. Досліджено напрямки практичного застосування трубобетонних та сталобетонних конструкцій. Проведено порівняльний розрахунок моделі залізобетонного перекриття у випадку жорсткого та шарнірного з'єднання з трубобетонною колоною. Виведено чотири основні якісні характеристики ефективності конструктивних форм вузлів з'єднання трубобетонних колон з конструкціями перекриття, такі як: створення безригельних каркасів, сприйняття від'ємного моменту в приопорній зоні конструкцією вузла, створення просторово-жорсткого каркаса та включення в роботу бетонного ядра колони. Проаналізовано конструктивні форми з'єднання трубобетонних колон з ригелями та плитами перекриття залежно від жорсткості кріплення та включення бетонного ядра трубобетонної колони в роботу. На основі аналізу існуючих конструктивних форм вузлів з'єднання трубобетонних колон з різними типами перекриття визначено доцільність дослідження жорсткого вузла з'єднання трубобетонної колони з монолітним сталезалізобетонним перекриттям, який характеризується відповідністю чотирьом основним якісним характеристикам ефективності конструктивних форм вузлів з'єднання колон із конструкціями перекриття.

Ключові слова: монолітні конструкції, збірні конструкції, сталезалізобетон, трубобетонні конструкції.

The thesis is devoted to the analysis of existent constructive forms of joint of concrete filled tube columns to various types of ceilings, their advantages and disadvantages. The actual tendencies, which react on introduction concrete filled tube constructions into civil engineering, were identified. The trends of practical appliance of concrete filled tube and steel reinforced concrete constructions were investigated. The model of reinforced concrete ceiling comparative calculation in case of rigid and link connection to concrete filled tube column were conducted. The four main quality parameters of effectiveness of joints of concrete filled tube columns to ceiling constructions constructive forms were inducted, such as: creation of girderless frames, bearing the negative moment beside the support by construction of joint, creation the rigid three-dimensional frame and including the concrete core of column in work. The analysis of constructive form of joint concrete filled tube columns with girder and ceiling slabs in relation with stiffness of joint and including the core of concrete filled tube in work were conducted. Based on analysis of prevailing joints of concrete filled tube columns with varied types of ceiling expediency of investigating the rigid joint of concrete filled tube with sitecast steel reinforced ceiling, which distinguish by respond the four main quality parameters of effectiveness, were identified.

Key words: sitecast constructions, precast constructions, steel reinforced concrete, concrete filled tube constructions.

Постановка проблеми. Сьогодні в будівництві дедалі ширше застосовують сталезалізобетонні конструкції, зокрема трубобетонні стрижневі елементи, що працюють на позакентровий

стиск. Застосування сталезалізобетонних конструкцій дає змогу значно підвищити економічність та часто зумовлено наявністю складних архітектурно-планувальних рішень.

В умовах техніко-економічного розвитку будівництва та масового впровадження монолітного будівництва зростає кількість та якість елементів опалубки, що дає змогу виготовляти складні сталезалізобетонні конструкції безпосередньо на будівельному майданчику. Проте виникає проблема кріплення монолітного залізобетонного перекриття до труобетонної колони, оскільки сталева оболонка відділяє бетонне ядро колони від бетону залізобетонної плити, отже, вузол повинен працювати за рахунок з'єднання сталевих елементів плити зі сталевією оболонкою труобетонної колони в поєднанні з бетонним ядром. Але сьогодні відсутні ефективні конструктивні рішення жорсткого з'єднання монолітної залізобетонної плити з труобетонною колоною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджували труобетонні конструкції такі вчені, як Л. К. Лукша [1], Л. І. Стороженко [2], В. І. Єфіменко [3, 4] та інші.

Одними із найефективніших форм сталезалізобетонних конструкцій є труобетонні конструкції. Труобетонна конструкція являє собою комплексне поєднання сталевієї труби і бетонного ядра, які працюють сумісно. Труобетонні конструкції найефективніше працюють на позакентровий стиск, тому здебільшого використовуються як колони багатопверхових просторових каркасів. На відміну від звичайної залізобетонної колони, в труобетонній колоні немає необхідності встановлювати внутрішнє армування, оскільки його функцію виконує сталева оболонка, яка сприймає зусилля у всіх напрямках [1]. Високу ефективність при роботі на стиск можна пояснити ефектом усебічного стиску бетону, що підвищує його несучу здатність приблизно вдвічі [2].

Ефект всебічного стиску бетону покращується внаслідок набухання та розширення бетону в трубі під час процесу тужавіння. Внаслідок відсутності обміну вологи між бетоном і навколишнім середовищем значно зменшується деформація усадки та спостерігається розширення бетону, яке зберігається протягом багатьох років [3].

Ізольований від впливу зовнішнього середовища бетон знаходиться в набагато кращих умовах для роботи, ніж неізольований. У неізольованому бетоні з часом розвивається процес поширення мікротріщин, а також протягом місяця спостерігається нелінійність деформації повзучості [4].

Заповнена бетоном сталева труба має більшу протикорозійну стійкість, оскільки бетон захищає від корозії її внутрішню поверхню. Також заповнення бетоном збільшує загальну стійкість елемента та місцеву стійкість оболонки, що підвищує вогнестійкість конструкції загалом.

Колони круглого перерізу, виконані з труобетону мають низку конструктивних переваг порівняно з колонами прямокутного перетину. За однакової площі кругла колона має майже вдвічі більший момент інерції, ніж колона квадратного перерізу. Колона круглого перерізу є рівностійкою в усіх напрямках при однакових розрахункових довжинах, що визначаються умовами закріплення. За однакової площі елемент круглого перерізу має вищу жорсткість на кручення, ніж елементи будь-яких інших форм перерізів. Для того, щоб досягнути максимального ефекту від використання труобетону, необхідно включити бетонне ядро колони в роботу [1].

Американські вчені Alostaz Y. та Schneider S. провели фундаментальне дослідження, в якому розглянули різноманітні варіанти вузлів кріплення металевих двотаврових балок перекриття до труобетонної колони. Серед варіантів конструктивних форм вузлів з'єднання металевих двотаврових балок перекриття варто виділити такі [7]:

1. Влаштування зовнішньої діафрагми в площинах верхньої та нижньої полиць балки. Діафрагма, яка спрощує процес монтажу металевих балок на будівельному майданчику, також забезпечує рівномірний розподіл згинальних напружень від балки на оболонку труобетонної колони.

2. Влаштування вертикального ребра, що проходить через бетонне ядро колони. Вертикальне ребро кріпиться до стінки двотаврової балки та дозволяє включити в роботу ядро перерізу труобетонної колони. Проте згинальні зусилля від балки сприймаються виключно оболонкою труобетонної колони, що знижує надійність конструкції через концентрацію напружень у сталевій трубі.

3. Проходження двотаврової балки через ядро перерізу трубобетонної колони. Такий варіант з'єднання дозволяє повністю включити бетонне ядро колони в роботу, проте вимагає складного процесу монтажу на будівельному майданчику.

4. Проходження горизонтальних пластин через ядро перерізу трубобетонної колони. Горизонтальні пластини являють собою продовження полицок двотаврової балки. За рахунок такого типу кріплення включається в роботу бетонне ядро колони та зменшується концентрація напружень у сталевій оболонці трубобетонної колони.

5. Проходження арматурних стрижнів через ядро перерізу трубобетонної колони. Арматурні стрижні приварюються до полицок двотаврової балки. За допомогою стрижнів бетонне ядро колони включається в роботу. Стрижні заводяться в бетон колони на довжину, визначену з розрахунку на висмикування.

6. Анкерування оболонки в приопорній зоні за допомогою стержневих анкерів з головкою. Таке анкерування дозволить передати зусилля зі сталевій оболонки колони на бетонне ядро, а також підвищити місцеву стійкість оболонки.

Сучасні конструктивні рішення [5, 6] вузлів з'єднання трубобетонних колон з монолітним залізобетонним перекриттям виконуються як сховані в товщі плити консолі або капітелі, які сприймають поперечні зусилля в плиті і передають їх на колону, проте не забезпечують жорсткого з'єднання трубобетонної колони з монолітною плитою перекриття.

Досі не було розглянуто питання конструкції вузла жорсткого з'єднання трубобетонної колони з монолітним залізобетонним перекриттям, що дає можливість для розвитку нового напрямку досліджень у галузі сталезалізобетону. Завдяки системі каркасів з жорстким поєднанням трубобетонної колони з монолітним залізобетонним перекриттям можна підвищити ефективність конструктивних рішень, оскільки зникає необхідність встановлення зв'язків та зменшуються напруження в монолітній плиті [8].

Мета роботи. Аналіз існуючих конструктивних форм вузлів з'єднання трубобетонних колон з основними типами конструкцій перекриття, визначення їх переваг і недоліків; визначення сучасних тенденцій у будівельній галузі, що впливають на впровадження в будівництво трубобетонних конструкцій; дослідження напрямків ефективного застосування цих конструкцій.

Результати досліджень. Використовувати трубобетонні конструкції найдоцільніше в багатоповерхових офісних або житлових будинках. В цих умовах при великих навантаженнях та відносно малих розрахункових довжинах стиснутих елементів трубобетонні колони можуть проявити всі свої позитивні якості [9]. В таких будинках особливо важливим параметром є товщина перекриття, що безпосередньо впливає не лише на витрату матеріалів, але й на висоту будівлі загалом, та наявність чи відсутність вертикальних зв'язків, які можуть створювати проблеми при плануванні приміщень.

Влаштуванням вузлів жорсткого з'єднання трубобетонних колон з монолітним залізобетонним перекриттям можна досягти подвійного ефекту: внаслідок від'ємного моменту на опорі середина прольоту плити розвантажується, а отже, виникає можливість зменшити товщину плити, а також за рахунок жорсткого з'єднання утворюється рамний просторовий каркас, який не вимагає влаштування вертикальних зв'язків.

Проведений порівняльний розрахунок в програмному комплексі Autodesk Robot Structural Analysis показав, що для конструкції з сіткою колон 3×3 з кроком 6 м та консольним виступом плити 2 м, для залізобетонної плити товщиною 250 мм, навантаженої рівномірно розподіленим навантаженням $2,5 \text{ кН/м}^2$, в варіанті з жорстким з'єднанням плити з трубобетонною колоною спостерігається зменшення згинальних моментів на 10 % та прогинів плити на 20 %.

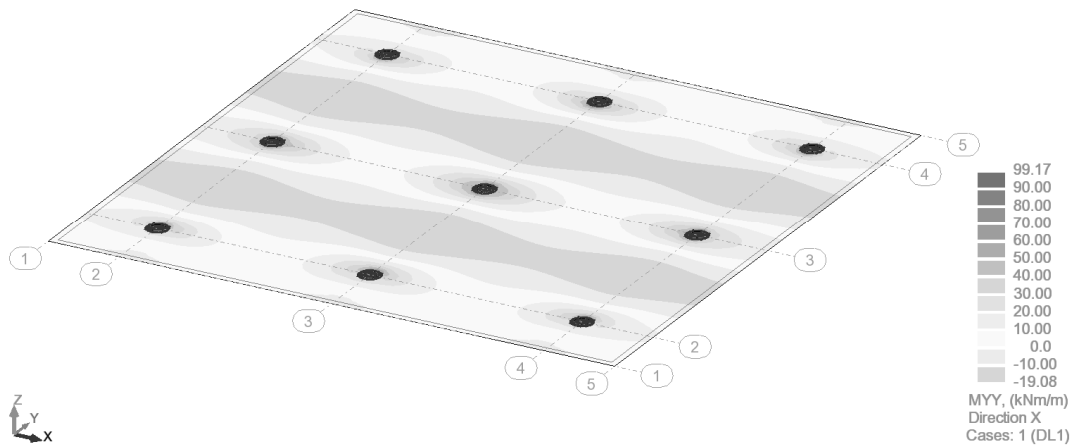


Рис. 1. Схема розподілу згинальних моментів в напрямку осі Y в плиті, жорстко з'єднаній з трубобетонними колонами

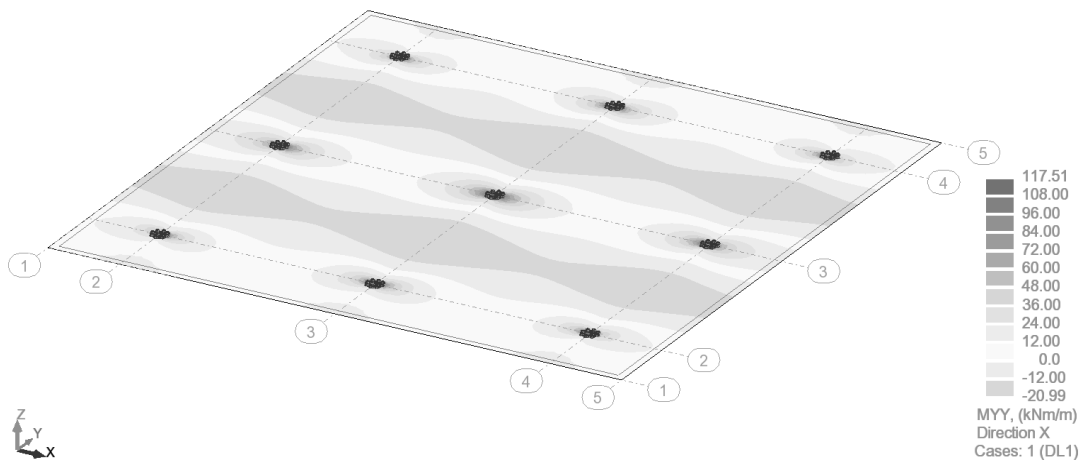


Рис. 2. Схема розподілу згинальних моментів в напрямку осі Y в плиті, шарнірно з'єднаній з трубобетонними колонами

Для з'єднання монолітної плити перекриття з трубобетонною колоною можна використувати ті самі методи, що й для сталевий двотаврової балки, зазначені в монографії “Connections to concrete-filled steel tubes” [7]. Таким чином можна досягти жорсткого з'єднання монолітної сталобетонної плити з трубобетонною колоною та забезпечити передачу зусиль на бетонне ядро.

Виділено наступні типи конструктивних форм вузлів з'єднання трубобетонних колон з конструкціями перекриття:

Іа – шарнірне кріплення ригеля до оболонки трубобетонної колони (рис. 3, а). В такому вузлі з'єднання виконується з обпиранням ригеля на консоль, приварену до оболонки трубобетонної колони або з болтовим з'єднанням стінки двотаврової балки з ребром, привареним до оболонки трубобетонної колони.

Іб – податливе кріплення ригеля до оболонки трубобетонної колони (рис. 3, б). У такому вузлі з'єднання виконується болтовим з'єднанням стінки та полицок двотаврової балки з накладками, привареними до оболонки трубобетонної колони.

Ів – жорстке кріплення ригеля до оболонки трубобетонної колони (рис. 3, в). У такому вузлі з'єднання виконується за допомогою приварених до ригеля накладок або приварених в стик з'єднувальних полицок або діафрагми, що співвісні з полицками ригеля. Накладки, з'єднувальні полицки та діафрагма приварені до оболонки трубобетонної колони.

Іа – шарнірне кріплення ригеля до оболонки трубобетонної колони з влаштуванням елементів, що проходять через бетонне ядро колони (рис. 3, г). В такому вузлі з'єднання виконується завдяки обпиранню ригеля на консоль, заведену в ядро трубобетонної колони або за

рахунок болтового з'єднання стінки двотаврової балки з ребром, що проходить через ядро трубобетонної колони.

Пб – податливе кріплення ригеля до оболонки трубобетонної колони з влаштуванням елементів, що проходять через бетонне ядро колони (рис. 3, д). В такому вузлі з'єднання виконується за рахунок болтового з'єднання стінки та полицок двотаврової балки з елементами, що проходять через ядро трубобетонної колони.

Пв – жорстке кріплення ригеля до оболонки трубобетонної колони з влаштуванням елементів, що проходять через бетонне ядро колони (рис. 3, е). В такому вузлі з'єднання виконується завдяки привареним до ригеля з'єднувальних елементів, що проходять через ядро трубобетонної колони або заведенням ригеля в трубобетонну колону з подальшим бетонуванням.

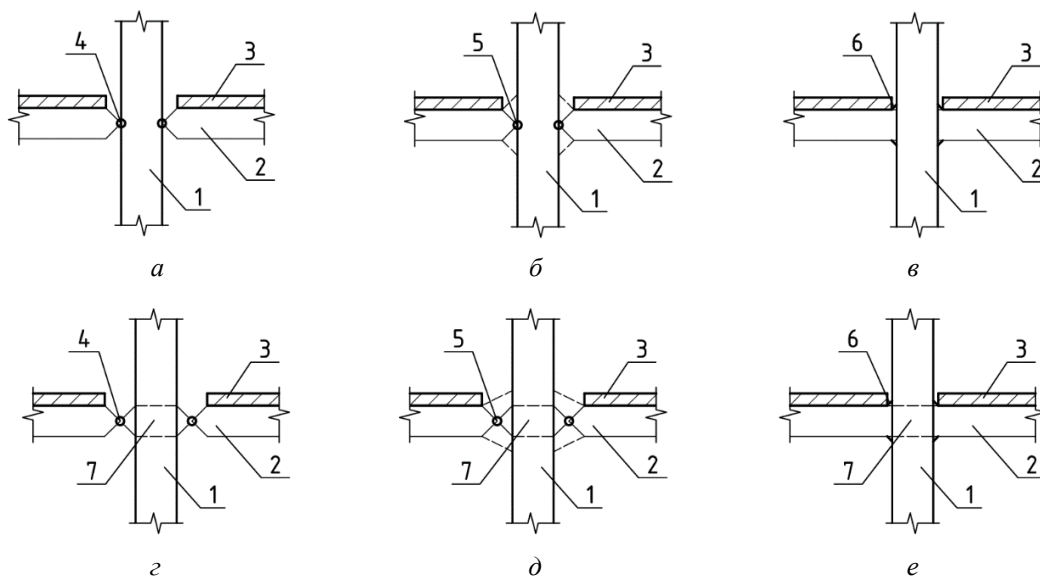


Рис. 3. Схеми конструктивних форм з'єднання ригелів перекриття з трубобетонною колоною: 1 – трубобетонна колона; 2 – ригель перекриття; 3 – плита перекриття або настил; 4 – шарнірне з'єднання ригеля з трубобетонною колоною; 5 – податливе з'єднання ригеля з трубобетонною колоною; 6 – жорстке з'єднання ригеля з трубобетонною колоною; 7 – елемент, що перетинає бетонне ядро трубобетонної колони

Ша – шарнірне кріплення перекриття до сталевій оболонки трубобетонної колони (рис. 4, а). В такому вузлі з'єднання виконується завдяки обпиранню залізобетонної плити перекриття на капітель у вигляді схованої в товщині плити діафрагми або на сховані в товщині плити консольні елементи, приварені до оболонки трубобетонної колони.

Шб – жорстке кріплення перекриття до сталевій оболонки трубобетонної колони (рис. 4, б). В такому вузлі з'єднання виконується за рахунок використання сталобетонних включень до монолітної залізобетонної плити, які приварюються до оболонки трубобетонної колони та забезпечують жорсткість з'єднання.

IVа – шарнірне кріплення плити перекриття до сталевій оболонки трубобетонної колони з влаштуванням елементів, що проходять через бетонне ядро колони (рис. 4, в). В такому вузлі з'єднання виконується за рахунок обпирання залізобетонної плити перекриття на капітель або на консольні елементи, заведені в бетонне ядро перерізу трубобетонної колони.

IVб – жорстке кріплення плити перекриття до сталевій оболонки трубобетонної колони з влаштуванням елементів, що проходять через бетонне ядро колони (рис. 4, г). В такому вузлі з'єднання виконується з використанням сталобетонних включень в монолітну залізобетонну плиту, які приварюються до оболонки трубобетонної колони та елементів, що проходять через ядро перерізу трубобетонної колони, що забезпечить жорсткість з'єднання та передачу навантаження на бетонне ядро трубобетонної колони.

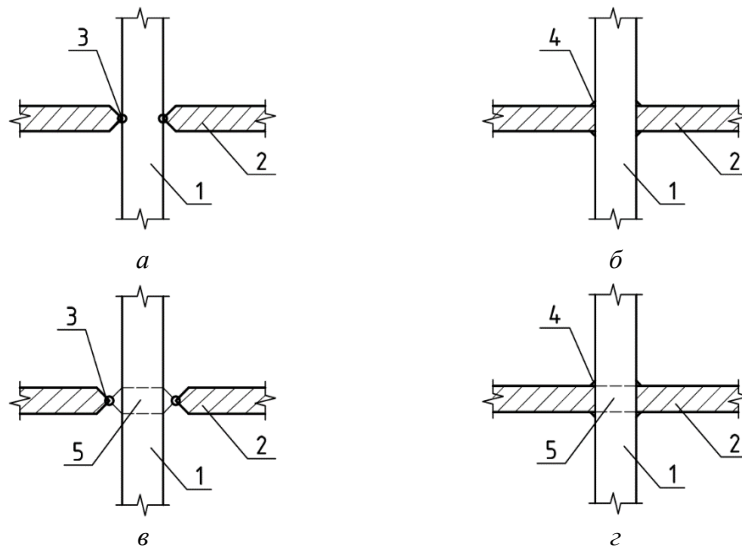


Рис. 4. Схеми конструктивних форм з'єднання збірних та монолітних плит перекриття з трубобетонною колоною: 1 – трубобетонна колона; 2 – плита перекриття; 3 – шарнірне з'єднання плити перекриття з трубобетонною колоною; 4 – жорстке з'єднання плити перекриття з трубобетонною колоною; 5 – елемент, що перетинає бетонне ядро трубобетонної колони

Виведено основні якісні характеристики ефективності конструктивних форм вузлів з'єднання колон з конструкціями перекриття, такі як:

- А – можливість створення безригельних каркасів.
- В – сприйняття від'ємного моменту в припорній зоні конструкцією вузла з'єднання.
- С – можливість створення просторово-жорсткого каркаса.
- Д – включення в роботу бетонного ядра колони.

В таблиці наведено результати системного аналізу ефективності конструктивних форм вузлів різних систем з'єднання трубобетонних колон з конструкцією перекриття.

Порівняння основних типів конструктивних форм з'єднання трубобетонних колон з конструкціями перекриття

Типи конструктивних форм	Основні якості конструктивних форм з'єднання трубобетонних колон з конструкціями перекриття			
	А	В	С	Д
Ia (рис. 3, а)	-	-	-	-
Iб (рис. 3, б)	-	+	-	-
Iв (рис. 3, в)	-	+	+	-
IIa (рис. 3, г)	-	-	-	+
IIб (рис. 3, д)	-	+	-	+
IIв (рис. 3, е)	-	+	+	+
IIIa (рис. 4, а)	+	-	-	-
IIIб (рис. 4, б)	+	+	+	-
IVa (рис. 4, в)	+	-	-	+
IVб (рис. 4, г)	+	+	+	+

Отже, тип IVб (жорстке з'єднання плити перекриття із сталевією оболонкою трубобетонної колони з влаштуванням елементів, що проходять через бетонне ядро колони) поєднує всі основні якісні характеристики ефективності конструктивних форм вузлів з'єднання трубобетонних колон з конструкціями перекриття, що підтверджує доцільність дослідження такого типу конструктивної форми.

Висновки: 1. Зведення будівель з каркасом, що містить трубобетонні колони та монолітне сталезалізобетонне перекриття, повністю відповідає сучасним можливостям будівельних організацій. Дослідження вузлів жорсткого з'єднання трубобетонних колон з монолітним залізобетонним перекриттям є достатньо ефективним і прогресивним напрямком розвитку конструктивних форм, оскільки ця конструктивна форма має низку потенціальних переваг порівняно з іншими конструктивними формами з'єднання.

2. Моделювання залізобетонної плити перекриття показало, що при жорсткому з'єднанні залізобетонної плити перекриття з трубобетонною колоною спостерігається зменшення згинальних моментів в прольоті плити на 10 % та прогинів плити на 20 % порівняно з шарнірним з'єднанням. Результати моделювання підтверджують перевагу застосування конструктивної форми вузла жорсткого з'єднання монолітної плити перекриття з трубобетонною колоною порівняно з шарнірним.

3. На основі аналізу існуючих конструктивних форм вузлів з'єднання трубобетонних колон з різними типами перекриття визначено доцільність дослідження жорсткого вузла з'єднання трубобетонної колони з монолітним сталезалізобетонним перекриттям, який характеризується відповідністю чотирьом основним якісним характеристикам ефективності конструктивних форм вузлів з'єднання колон з конструкціями перекриття, таким як: створення безригельних каркасів, сприйняття від'ємного моменту в приопорній зоні конструкцією вузла, створення просторово-жорсткого каркасу та включення в роботу бетонного ядра колони.

1. Лукаша Л. К. *Прочность трубобетона*. – Минск: Высшая школа, 1977. – 96 с. 2. *Трубобетон: монографія* / Л. І. Стороженко, Д. А. Єрмоленко, О. І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2010. – 306 с. 3. Єфіменко В. І., Паливода О. А. Аналіз сучасного стану конструювання будівель зі сталезалізобетонними конструкціями // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. – 2013. – Вип. 25. – С. 549–554. 4. Єфіменко В. І. Експлуатаційна надійність сталезалізобетонних конструкцій // *Сталезалізобетонні конструкції*. Випуск 4. – Кривий Ріг, 2000. – С. 9–14. 5. Патент РФ № 43892, Е04В 5/43, 5/44 “Стыковое соединение безбалочного железобетонного перекрытия с колонной”. 6. Патент РФ № 2187607, Е04В 5/43 “Безбалочное перекрытие”. 7. Alostaz Y., Schneider S. *Connections to concrete-filled steel tubes*. University of Illinois, 1996. – 311 p. 8. Schneider S.P., Kramer D.R., Sarkkinen D.L. *The design and construction of concrete-filled steel tube column frames* // *13th World conference on earthquake engineering*. 2004. Paper No. 252. – 12p. 9. Sakino K., Nakahara H., Morino S., Nishiyama I. *Behavior of centrally loaded concrete-filled steel tube short columns* // *Journal of Structural Engineering*. – 2004. – Vol. 130(2). – P. 180–188.