

## НОВА КОНСТРУКТИВНА ФОРМА ЖОРСТКОГО З'ЄДНАННЯ МОНОЛІТНОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ З ТРУБОБЕТОННОЮ КОЛОНОЮ

© Кущенко В. М., Галушчак Ю. Г., 2017

Запропоновано нову конструктивну форму жорсткого з'єднання труобетонної колони з монолітним залізобетонним перекриттям, яке створюється за рахунок використання сталевих елементів жорсткості, що складається з вертикальних сталевих пластин, що перетинають бетонне ядро колони і з'єднані з сталеву трубою зварними швами. Для забезпечення жорсткого з'єднання з труобетонною колоною, конструкція перекриття містить сталеве полосове зовнішнє армування. Порівняльне чисельне моделювання напружено-деформованого стану конструкцій залізобетонного монолітного перекриття з різними умовами з'єднання з труобетонною колоною, та наявністю зовнішнього сталевих полосового армування, показало ефективність запропонованого конструктивного рішення.

**Ключові слова:** монолітні конструкції, залізобетонне перекриття, зовнішнє полосове армування, труобетонні конструкції.

V. Kushchenko, Y. Halushchak

Lviv Polytechnic National University,  
Department of building construction and bridges

## NEW CONSTRUCTIVE FORM OF RIGID CONNECTION OF SITECAST REINFORCED CONCRETE CEILING TO CONCRETE FILLED TUBE COLUMN

© Kushchenko V., Halushchak Y., 2017

Basing on existent concrete filled tube to reinforced concrete ceiling joining constructive form research and investigation in reinforced concrete area analyzing, the new constructive form of rigid connection of concrete filled tube to sitecast reinforced concrete ceiling, which is enhanced by using steel rigid element which consists of vertical steel plates, which cross column concrete core, and welded to steel tube was offered. For providing the rigid connection with concrete filled tube column, construction of ceiling includes the stripes of external steel plate reinforcing, welded to steel rigid element and to concrete filled tube column's steel casing. The comparative finite element modeling (FEM) analysis of tension-strain conditions of sitecast reinforced concrete ceiling construction with 477mm diameter concrete filled tube columns with soft and rigid conditions of joining of ceiling and column and using the stripes of external steel plate reinforcement in case of rigid connection was made using the Robot Structural Analysis. The first model included the regular sitecast reinforced concrete ceiling. The second model included the reinforced concrete ceiling with external steel plate reinforcement, modeled by equivalent rigidness finite elements. The comparative FEM proved the effectiveness of offered constructive decision by decreasing the bending moments in plate middle area on 42 %.

**Key words:** sitecast constructions, reinforced concrete ceiling, external plate steel reinforcing, concrete filled tube constructions.

**Вступ.** Фундаментальні дослідження довели ефективність використання трубобетонних конструкцій у висотних будинках [1, 2]. Недоліком, що ускладнює використання трубобетонних колон у висотних будинках з монолітними залізобетонними перекриттями, є складність влаштування вузла жорсткого з'єднання трубобетонної колони з монолітним залізобетонним перекриттям [9]. Такий тип з'єднання дає змогу зменшити конструктивну висоту перекриття, та, має певну перевагу порівняно з перекриттями по балках сталевих каркасу [9].

**Огляд наукових джерел і публікацій.** Фундаментальні дослідження в галузі дійсної роботи трубобетону провів Лукша Л. [1], Стороженко Л. [2] та ін. вчені [6]. Ці дослідження довели те, що трубобетонні елементи є одними з найефективніших при роботі на позацентровий стиск, та мають значні переваги при використанні їх у колонах висотних будівель. На відміну від звичайних залізобетонних колон, трубобетонні колони не потребують влаштування внутрішнього армування. Висока ефективність трубобетонних елементів, також, зумовлена всестороннім стиском бетонного ядра з боку сталеві оболонки, внаслідок чого приблизно вдвічі збільшується несуча здатність бетону [1]. Ізольований від впливу навколишнього середовища бетон знаходиться в кращих умовах, ніж неізольований, тому що з часом набагато менше проявляються мікротріщини і деформації повзучості [2].

Труба, наповнена бетоном, має набагато кращий опір корозії, тому що бетон захищає її внутрішню поверхню. Бетонне ядро колони значно збільшує загальну стійкість та згинальну міцність сталеві труби, а також підвищує загальну вогнестійкість каркасу будівлі [2].

Ф. Клименко провів фундаментальне дослідження роботи залізобетонних елементів з зовнішнім армуванням [3]. У результаті цих досліджень були створені методи розрахунку залізобетонних елементів з пластинами зовнішнього армування, вирішення анкерування, та питання практичного влаштування таких конструкцій. Сучасні результати досліджень в галузі трубобетону та сталобетону містяться в положеннях нормативних документів: ДБН В.2.6-160:2010 [4] та Eurocode 2 [5].

Американські вчені Alostaz Y. та Schneider S. провели системне дослідження різноманітних типів з'єднання сталевих двотаврових балок з трубобетонними колонами [6]. В результатах цього дослідження приведені кілька варіантів з'єднання трубобетонної колони зі сталевими двотавровими балками. Найефективніші варіанти з'єднання містять елементи, що перетинають бетонне ядро колони, що дозволяє зменшити концентрацію напружень у сталевій трубі.

Сучасні конструктивні форми [7, 8] вузлів з'єднання трубобетонної колони з монолітним залізобетонним перекриттям містять приховані у товщині плити капітелі, які забезпечують шарнірне з'єднання трубобетонної колони з монолітним залізобетонним перекриттям.

Порівняння різних типів з'єднання конструкцій перекриття з трубобетонними колонами показало, що жорстке з'єднання трубобетонної колони може бути досягнене при застосуванні смугового зовнішнього армування монолітної залізобетонної плити та має багато переваг порівняно з іншими типами з'єднання, і, створює перспективну галузь для подальших досліджень [9].

**Мета та завдання дослідження** полягає в обґрунтуванні доцільності створення нової конструктивної форми з'єднання трубобетонної колони з монолітним залізобетонним перекриттям та в представленні її до широкого огляду.

**Теоретичні дослідження.** Щоб забезпечити сприйняття від'ємних згинальних моментів у з'єднанні монолітної залізобетонної плити з трубобетонною колоною, необхідна значна концентрація розтягнутого армування в приопорній ділянці. Для цього вигідно поєднати монолітне залізобетонне перекриття зі сталобетонною балкою, створеною з використанням зовнішнього полосового армування. Для створення такого жорсткого з'єднання залізобетонної плити з трубобетонною колоною можна використовувати способи жорсткого приєднання сталевих балок, які описані в роботі Alostaz Y., Schneider S. Connections to concrete-filled steel tubes [5].

Для обґрунтування доцільності створення нової конструктивної форми з'єднання трубобетонних колон з монолітним залізобетонним перекриттям проведено порівняльне моделювання

напружено-деформованого стану двох варіантів конструктивної схеми залізобетонного перекриття з труботетонною колоною, яке було виконане в програмному комплексі Autodesk Robot Structural Analysis.

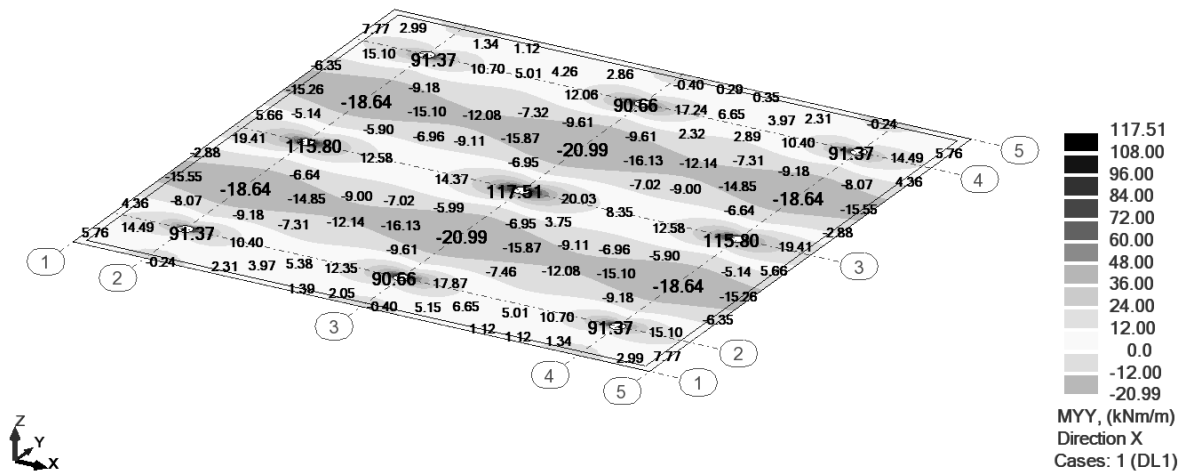


Рис. 1. Розподіл моментів в напрямку осі Y в плиті з шарнірним з'єднанням з труботетонною колоною

Перша розрахункова модель являє собою апроксимацію залізобетонного безбалкового перекриття двомірними скінченими елементами за умов шарнірного з'єднання з труботетонною колоною. Сітка колон 3x3, з кроком 6м, та консольним виносом 2м, з товщиною залізобетонного перекриття 250мм. На перекриття діє рівномірно розподілене навантаження  $9.0 \text{ kN/m}^2$  (рис. 1). Сталева оболонка труби діаметром 377 мм. Моделювання з'єднання з труботетонною колоною було проведено шляхом влаштування отвору в плиті та шарнірного закріплення крайових скінчених елементів.

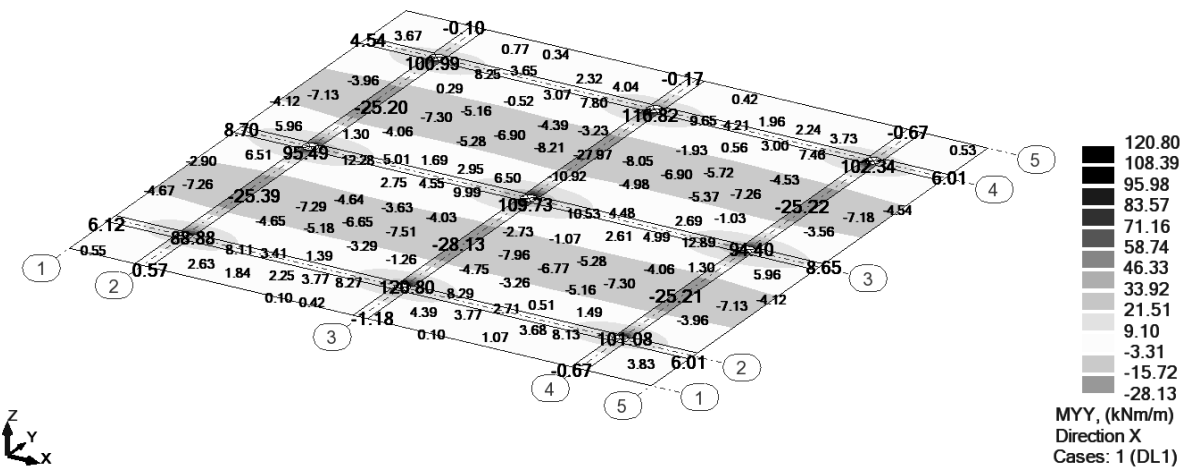


Рис. 2. Розподіл згинальних моментів в напрямку осі Y в плиті зі зовнішнім армуванням сталевими пластинами і жорстким з'єднанням з труботетонною колоною

Друга розрахункова модель являє собою апроксимацію залізобетонного безбалкового перекриття двомірними скінченими елементами, за умов жорсткого з'єднання з труботетонною колоною з застосуванням зовнішнього армування сталевими пластинами (змодельованого за допомогою двомірних скінчених елементів еквівалентної жорсткості з зовнішнім сталевим полосовим армуванням шириною 400мм), з аналогічними геометричними розмірами в плані і навантаженням (рис. 2). Жорстке з'єднання змодельоване шляхом жорсткого закріплення крайових скінчених елементів.

Аналіз результатів чисельних експериментів (рис. 1, 2) показав, що варіант з жорстким з'єднанням труботетонної колони з монолітною залізобетонною плитою (рис. 2) має на 42 % менші згинальні моменти в середній ділянці плити. Також спостерігається концентрація згинальних моментів у залізобетонній плиті в зонах зовнішнього армування, та в приопорній ділянці, а також

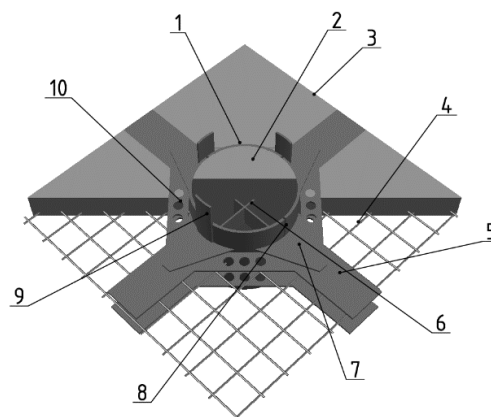
у трубобетонній колоні (див. рис. 2), що відповідає умові раціонального розподілу внутрішніх зусиль. Таким чином, створення жорсткого з'єднання трубобетонної колоні з монолітним залізобетонним перекриттям дозволяє досягти подвійного ефекту:

1) зменшення згинальних моментів у середній ділянці залізобетонної плити (за рахунок від'ємних моментів у приопорній ділянці);

2) за рахунок жорсткого з'єднання трубобетонних колон, з монолітними залізобетонними перекриттями, створюється просторовий рамний сталі-залізобетонний каркас, який, при наявності ядра жорсткості в будівлі, не потребує зв'язків.

Для реалізації ідеї жорсткого з'єднання монолітного залізобетонного перекриття з трубобетоною колоною, на підставі аналізу аналогів, існуючих патентів [7, 8], була запропонована нова конструктивна форма (рис. 3), яка захищена авторами свідоцтвом про патент [10]. Створення нової конструктивної форми вирішується додаванням до існуючих варіантів з'єднання трубобетонної колоні з монолітним залізобетонним перекриттям, сталевий елемент жорсткості та зовнішнього армування пластинами (рис. 3). Сталевий елемент жорсткості (поз. 6) складається з кількох сталевих вертикальних пластин зварених між собою, поміщених в пази в сталевій оболонці (поз. 1) трубобетонної колоні, і, приварених до неї. Пластини зовнішнього армування (поз. 5) розміщуються по аналогії до вузла з'єднання сталевий двотаврової балки з трубобетонною колоною [5]. Для забезпечення передачі згинальних моментів з плити на колону, сталеві пластини зовнішнього армування (поз. 5) приварені до сталевий оболонки колоні (поз. 1), використовуючи сталеві стикові накладки (поз. 7). Вертикальні сталеві накладки (поз. 9) забезпечують закриття монтажних пазів (поз. 8) у сталевий оболонці (поз. 1) трубобетонної колоні та полегшують монтаж наступних секцій сталевий оболонки.

*Рис. 3. Нова конструктивна форма жорсткого з'єднання трубобетонної колоні з монолітним залізобетонним перекриттям: 1 – сталевий оболонка трубобетонної колоні, 2 – бетонне ядро трубобетонної колоні, 3 – монолітна залізобетонна плита, 4 – арматурні каркаси залізобетонної плити, 5 – сталеві пластини зовнішнього армування, 6 – сталевий елемент жорсткості, 7 – сталеві стикові накладки, 8 – монтажні пази в сталевий оболонці трубобетонної колоні, 9 – сталеві вертикальні накладки, 10 – сталеві зв'язуючі пластини*



Влаштування з'єднання монолітного залізобетонного перекриття з трубобетонною колоною складається з таких кроків (рис. 3):

а) сталевий оболонку (поз. 1) трубобетонної колоні встановлюють у проектне положення;

б) у заздалегідь підготовлені пази (поз. 8) в сталевий оболонці (поз. 1) трубобетонної колоні встановлюють сталевий елемент жорсткості (поз. 6) і приварюють його до сталевий оболонки (поз. 1) трубобетонної колоні кутовими зварними швами;

в) встановлюють опалубку для бетонування плити перекриття;

г) до сталевий елемент жорсткості (поз. 6) приварюють сталеві пластини зовнішнього армування (поз. 5), з'єднані між собою поперечними стержнями, приварюють сталеві стикові накладки (поз. 7) до сталевий оболонки (поз. 1) трубобетонної колоні і до сталевий пластин зовнішнього армування (поз. 5);

д) до пластин зовнішнього армування (поз. 5), у стик приварюють сталеві зв'язуючі пластини (поз. 10);

е) арматурні каркаси залізобетонної плити (поз. 4) розміщуються в прольотах між пластинами зовнішнього армування (поз. 5);

- ж) сталеві вертикальні накладки (поз. 9) приварюють до сталевої оболонки (поз. 1) трубобетонної колони, закриваючи пази (поз. 8) і при потребі встановлюють таку оболонку;
- з) проводиться бетонування ядра трубобетонної колони (поз. 2) та монолітної залізобетонної плити перекриття (поз. 3).

### Висновки

1. Нова конструктивна форма дозволяє забезпечити жорстке з'єднання трубобетонної колони з монолітною залізобетонною плитою перекриття та передачу поперечних зусиль на сталеву оболонку та бетонне ядро трубобетонної колони.

2. Використання зовнішнього армування сталевими пластинами дозволяє зменшити згинальні зусилля в монолітній залізобетонній плиті перекриття на 42 % та забезпечити її жорстке з'єднання з трубобетонною колоною з метою створення рамних просторових вузлів каркасу.

1. Лукаша Л. К. Прочность трубобетона. – Минск: Высшая школа, 1977. – 96 с. 2. Стороженко Л. І. Трубобетонные конструкции. – К.: Будивельник, 1978. – 80 с. 3. Клименко Ф. Є. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием. – К.: Будивельник, 1984. – 83 с. 4. ДБН В.2.6-160:2010 Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2011-11-01]. 5. Eurocode 2: EN 1992-1-1: Design of concrete structures. 6. Alostaz Y., Schneider S. Connections to concrete-filled steel tubes. University of Illinois, 1996. – 311 с. 7. Патент РФ № 43892, E04B 5/43, 5/44 “Стыковое соединение безбалочного железобетонного перекрытия с колонной”. 8. Патент РФ № 2187607, E04B 5/43 “Безбалочное перекрытие”. 9. Куценко В. М., Галушчак Ю. Г. Аналіз сучасного досвіду проектування будівель з застосуванням трубобетонних елементів // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2016. – № 844 : Теорія і практика будівництва. – С. 120–126. 10. Патент UA № 111545, E04B 5/43, 1/04 “Вузол з'єднання трубобетонної колони з монолітним залізобетонним перекриттям”.

### References

1. Luksha L. K. Prochnost trubobetona [Concrete filled tube strength]. Minsk, Vysshaya shkola, 1977. – 96p. [in Russian]. 2. Storozhenko L. I. Trubobetonnnye konstruksii [Concrete filled tube construction]. Kyiv, Budivelnik, 1978. – 80 p. [in Ukrainian]. 3. Klymenko F. Stalobetonnnye konstruksii s vneshnim polosovym armirovaniem [Steel reinforced concrete constructions with external plate reinforcement]. Kyiv, Budivelnik, 1984. – 83 с. [in Russian]. 4. DBN B.2.6-160:2010. from 1<sup>st</sup> November 2011. Kiev: National standard of Ukraine [in Ukrainian]. 5. Eurocode 2: EN 1992-1-1: Design of concrete structures. 6. Alostaz Y., Schneider S. Connections to concrete-filled steel tubes. University of Illinois, 1996. – 311 p. 7. Patent RF No. 43892, E04B 5/43, 5/44 “Stykovoye soyedinenie bezbalochnoho zhelezobetonnogo perekrytiya s kolonnoy” [The joint connection of girderless reinforced concrete ceiling with column] [in Russian]. 8. Patent RF № 2187607, E04B 5/43 “Bezbalochnoye perekrytiye” [Girderless ceiling] [in Russian]. 9. Kushchenko V., Halushchak Y. Analiz suchasnoho dosvidu proektuvannya budivel z zastosuvanniam trubobetonnnykh elementiv [The analysis of modern experience in building designing with concrete filled tube elements application] // National university “Lviv polytechnic” Visnyk – 2016. – No. 844 : Theory and practice of building. – pp. 120–126. [in Ukrainian]. 10. Patent UA No. 111545, E04B 5/43, 1/04 “Vuzol z'yednannya trubobetonnnoi kolony z monolitnym zalizobetonnym perekryttyam” [The connection of concrete filled tube with sitecast reinforced concrete ceiling] [in Ukrainian].