

УДК 624.012.45

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОТКИХ СТАЛЕБЕТОННИХ КОЛОН
НА СТАТИЧНІ ВПЛИВИ**

Асп. М. Т. Хаммуд, Р. М. Пчолкін

**EXPERIMENTAL STUDY OF SHORT STEEL CONCRETE COLUMNS ON STATIC
INFLUENCES**

Postgraduate student M. T. Hammoud, R. M. Pcholkin

Анотація. У статті розглянуто питання планування експерименту з випробування зразків коротких сталобетонних колон на статичні впливи. Експериментальні зразки подано трьома серіями: бетонні круглі колони (6 шт.), бетонні колони в сітчастій обоймі (6 шт.) та бетонні колони в сітчастій обоймі, підкріпленій шпангоутами (6 шт.). Наведено процедуру визначення необхідної кількості дослідних зразків та їх підготовки до

випробовування. Наведено конструктивні особливості зразків трьох дослідних серій. Отримано результати визначення міцності бетону на стиск.

Ключові слова: бетонні колони, шпангоут, сітчаста обойма, просічно-витяжний лист.

Abstract. The paper considers the issues of planning an experimental tests of samples of short reinforced concrete supports for static effects. The procedure for determining the required number of samples and their preparation for testing is given. To determine the needed amount of supports the Latin square is used. The variable parameters for such type of construction are the followed: concrete class, the thickness of the expanded-exhaust sheet, the size of the cell of the average-exhaust sheet, geometric parameters of the support (diameter and height), diameter and pitch of frame and the degree of adhesion of concrete to metal. Experimental samples are presented in three series: round concrete supports(6 pcs.), concrete supports in a mesh holder (6 pcs.) and concrete supports in a mesh holder supported by outer frames (6 pcs.). The height of each support is about 1000mm, the diameter is 450 mm. Based on the presented methodology, 18 prototypes were prepared for testing, which were made on the construction site of "Avantazh" ICC. For convenience of production of supports concreting is executed in a disposable cardboard framework. The diameter of the mesh holder is 400 mm, thus, the protective layer of concrete is 25 mm. The connection of the holder is made by butt welding without overlays. The frames are made of Ø12A400C reinforcement bars of periodic profile. Before conducting a series of experimental studies, standard tests of structural materials were performed, in particular, determination of the cubic strength of concrete. Simultaneously with the testing of standard samples of cubes, the establishment of the actual concrete classes of the test samples was performed using a non-destructive test with the ONYX-2.5 device. Together with determining the concrete classes, geometrical characteristics of samples were defined. A P-500 hydraulic press for testing of building structures is used as the main power plant. The loading of the samples is planned to be realized stepwise through two headers in the form of steel disks till the moment of distruction.

Keywords: concrete support, frame, mesh holder, flat-exhaust sheet.

Вступ. Важливою частиною будь-яких досліджень є експериментальна верифікація теоретичних результатів. Ця обставина особливо важлива при розробці нових конструктивних рішень, оскільки надає змогу отримати найбільш повну інформацію про поведінку конструктиву під навантаженням та особливості його напружено-деформованого стану. Раніше [1–3] було запропоновано конструктивне

рішення бетонної колони, яка являє собою бетонний елемент трубчастого типу, укладений в сітчасту сталеву обойму. Співвідношення діаметра та висоти бетонного циліндра таке, що виключається втрата стійкості. Додатково запропоновано підсилення бетонної колони в сітчастій обоймі арматурними кільцями, що розташовуються з однаковим кроком зовні сітчастої оболонки (рис. 1).

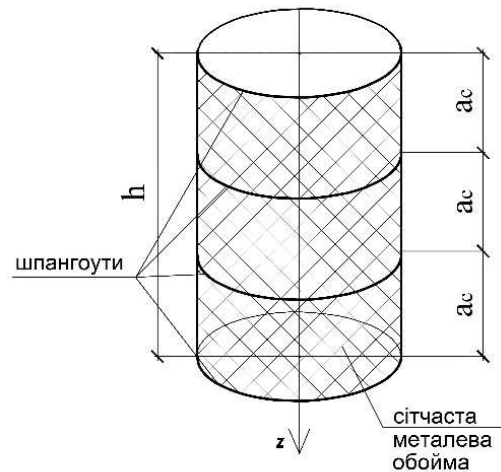


Рис. 1. Загальний вигляд бетонної колони в сітчастій обоймі зі шпангоутами:
 h – висота колони; a_c – крок шпангоутів

На розвиток вирішеної задачі раціоналізації структури циліндричної залізобетонної колони [1–3] запропоновано проведення циклу експериментальних досліджень на дію статичних навантажень для підтвердження отриманих теоретичних результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування сталобетонних несучих елементів набуло розповсюдження у світовій практиці будівництва у вигляді колон цивільних та промислових будівель, опор залізничних та автомобільних мостів тощо. На даний момент найбільш поширені трубобетонні конструктиви, що передбачають заповнення бетоном суцільних металевих труб [4]. Це рішення дозволяє знизити витрати бетону, відмовитись від опалубних робіт та збільшити несучу здатність конструктиву у порівнянні з традиційними залізобетонними колонами, проте вимагає додаткового антикорозійного захисту сталевої оболонки.

Більш раціональним шляхом економії металу і бетону є застосування непрямого армування [5–7]. Зокрема, сьогодні разом зі спіральним армуванням також відоме рішення, що передбачає виготовлення зовнішніх армувальних сіток з просічно-втяжного листа [8]. Автором [9] отримані теоретичні та експериментальні результати,

які підтверджують, що несуча здатність таких колон рівнозначна несучій здатності колон в суцільній металевій оболонці, та визначений коефіцієнт збільшення несучої здатності досліджуваних зразків у залежності від орієнтування чарунок просічної обойми. Таким чином, елементи в просічно-втяжній обоймі вирізняються простішою технологією виготовлення, меншою вагою та кращою вогне- та корозійною стійкістю, ніж відомі аналоги.

Визначення мети та завдання дослідження. У зв'язку із вищезазначеним у цій роботі подано процедуру підготовки дослідних зразків коротких сталобетонних колон у просічній обоймі для випробування на дію статичних впливів. *Метою роботи є встановлення несучої здатності для бетонних зразків, які подано трьома серіями, описаними далі.*

Основна частина дослідження. В ході проведення випробувань з метою перевірки якості будівельних конструкцій і виробів, оцінки їх міцності і деформативності виконуються вимірювання певних технічних параметрів. Проведення експериментальних досліджень вимагає їх завчасного і всебічного планування, визначення числа і умов постановки експериментів, необхідних і достатніх для вирішення задачі із заданим ступенем точності. В даний час, з

розвитком теорії подібності та розмірностей, можливе лабораторне проведення випробувань з використанням моделей конструкцій [10]. Це дозволяє істотно спростити процес вивчення об'єкта, скласти деякі закономірності його поведінки, а також проаналізувати характер і особливості напружено-деформованого стану. Крім того, лабораторні дослідження надають можливість створення певних умов довкілля.

Планування експерименту [11] розглядає сам експеримент як предмет дослідження, результатом вивчення якого є отримання інформації про досліджуваний об'єкт, будь то конструкція, будівля або споруда. Дослідження і подальша оптимізація складних систем за допомогою методів планування експерименту [12] проводиться в кілька етапів. У першу чергу слід створити умови, які сприятимуть виявленню впливу чинників, які пов'язані з шуканою характеристикою конструкції. Відповідно до норм, при виборі умов випробувань слід відібрати фактори, що впливають на питому характеристику, описати функціональну залежність характеристики від цих чинників,

встановити діапазон їх зміни, визначити область факторного простору, в якому слід проводити експеримент, а також оцінити необхідну кількість експериментів і порядок їх реалізації.

Так, при визначенні несучої здатності бетонних колон в обоймі найбільш значущими факторами слід назвати такі:

- клас бетону;
- товщина та розміри чарунки просічно-втяжного листа;
- діаметр та крок шпангоутів;
- геометричні параметри колони (діаметр та висота);
- ступінь адгезії бетону до металу.

Найбільш істотний вплив на несучу здатність і деформативність таких конструктивів панелей, при інших рівних факторах, мають перші три позиції, які головним чином визначають їх експлуатаційні характеристики. В такому випадку необхідно скористатися латинським квадратом (рис. 2), який враховує спільний вплив трьох найбільш значущих в даному випадку факторів. Кількість спостережень, які при цьому слід провести, буде мінімальною.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 \\ 3 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} (1, 1) & (2, 2) & (3, 3) \\ (2, 3) & (3, 1) & (1, 2) \\ (3, 2) & (1, 3) & (2, 1) \end{bmatrix}$$

Рис. 2. Ортогональні латинські квадрати

Число зразків, які слід випробувати, позначимо m . Щоб отримати результат з допустимою дисперсією S^2 , слід скористатися виразом

$$S^2 = \frac{\sigma^2 (M-m)}{m (M-1)}, \quad (1)$$

де M – загальне число виробів у партії;
 σ^2 – дисперсія досліджуваної характеристики.

Чимале M дозволяє покласти

$$S^2 = \frac{\sigma^2}{m}. \quad (2)$$

При проведенні експерименту належить випробувати m зразків коротких бетонних колон: суто бетонних, бетонних у металевій сітчастій обоймі та зі шпангоутами для визначення впливу

наявності обойми та шпангоутів на несучу здатність коротких колон.

Припустимо, що генеральна дисперсія по всій виборці з партії виробів дорівнює $S^2 = 0,1$, а допустима дисперсія $\sigma^2 = 0,6$, отримаємо

$$m = \frac{\sigma^2}{S^2} = \frac{0,1}{0,6} = 6. \quad (3)$$

Отже, в ході експерименту необхідно випробувати по шість зразків коротких колон в кожній партії (серії). Дана мінімальна вибірка є репрезентативною для виконання статистичної обробки отримуваних результатів.

На основі поданої методики для випробування підготовлено 18 дослідних зразків, що були виготовлені на буді-



вельному майданчику ІБК «Авантаж». Для зручності виготовлення колон бетонування виконане в одноразовій картонній опалубці товщиною 3,0 мм (рис. 3).

Дослідний зразок, в загальному випадку, являє собою коротку бетонну колону висотою близько 1000 мм та діаметром 450 мм. Серед забетонуваних колон виокремлено три серії зразків: БС-0 – суто бетонні стійки (рис. 4, а); БС-П – бетонні колони з сітчастою обоймою з просічно-витяжного листа (рис. 4, б); БС-ПШ – бетонні колони з обоймою з просічно-витяжного листа та додатково підкріплені арматурними шпангоутами (рис. 4, в). У кожній серії виготовлено по шість зразків.



Рис. 3. Загальний вигляд бетонних зразків до (зліва) та після (справа) видалення картонної опалубки

Діаметр просічної обойми складає 400 мм, таким чином, захисний шар бетону складає 25 мм. З'єднання обойми виконане зварюванням встик без накладок.

Шпангоути виконані з арматури періодичного профілю $\text{Ø}12 \text{ A400C}$ та встановлені з кроком відповідно до рис. 4, в.

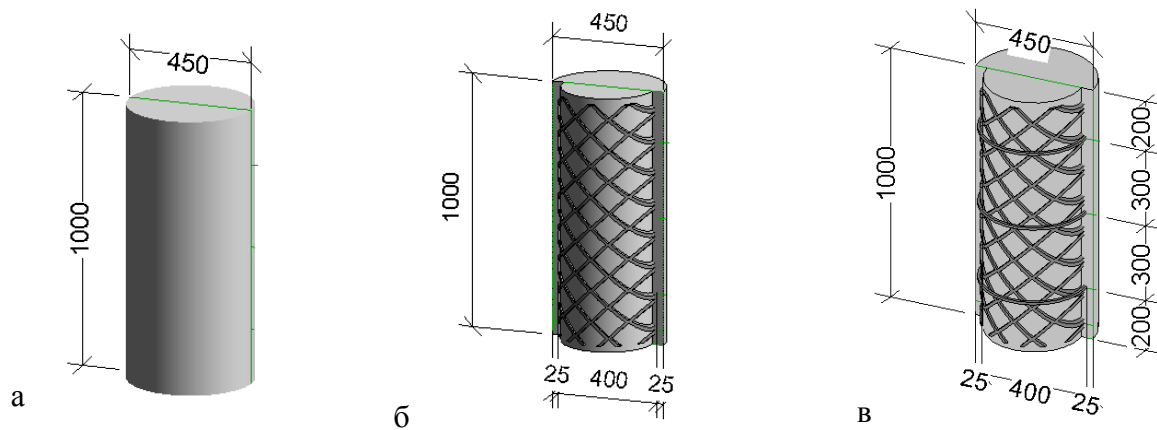


Рис. 4. Геометричні параметри бетонних зразків серій: а – БС-0; б – БС-П; в – БС-ПШ

Після видалення картонної опалубки стало очевидним, що для установаження зразків під час випробування в пресі верхня та нижня поверхні зразків є недостатньо горизонтальними. У зв'язку з цим для вирівнювання поверхонь та ідеального стикування з пластинами пресу застосована спеціальна високоміцна ремонтна суміш РС 3 виробництва «Prof Line» [13]. Для

зручності виокремлення кожної з серій (рис. 5) всі зразки були пронумеровані та замарковані за допомогою водоемульсійної фарби.

Перед проведенням циклу експериментальних досліджень виконані стандартні випробування матеріалів конструктиву, зокрема, визначення кубикової міцності бетону.



Рис. 5. Маркування серій зразків: а – бетонний зразок серії БС-0 (• 1-3); б – бетонний зразок з обіймою серії БС-П (X 1-3); в – бетонний зразок з обіймою і шпангоутами серії БС-ПШ (Ж 1-3)

Визначення міцності бетону виконано відповідно до діючого нормативу ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [14]. Визначення міцності полягає у визначенні мінімальних зусиль, що руйнують спеціально виготовле-

ні контрольні зразки бетону, при статичному навантаженні з постійною швидкістю зростання навантаження та подальшим визначенням напружень при цих зусиллях.

Для визначення міцності на стиск форма і номінальні розміри контрольного зразка відповідали стандарту [14], згідно з яким, у випадку найбільшого розміру зерна заповнювача 20 мм і менше, стандартний розмір куба складає 100 мм. Зразки виготовлені та випробувані в кількості шістьох штук. Відхилення від площини опорних поверхонь кубів, що прилягають до плит пресу, не перевищувало 0,1 мм; відхилення від перпендикулярності суміжних граней кубів не перевищувало 1 мм.

Відбір проб бетонної суміші для виготовлення контрольних зразків виконаний згідно з вимогами стандарту [14] одночасно з виготовленням експериментальних конструктивів. Зразки виготовлювались у повірених формах. Перед випробуванням зразки були піддані візуальному огляду. Дефекти у вигляді відколів ребер, раковин, чужорідних включень не виявлені.

При випробуваннях зразки-куби встановлювались однією з вибраних граней на нижню опорну плиту пресу центрально відносно його поздовжньої осі,

використовуючи риси, нанесені на плиту преса (рис. 6).

Максимальні зусилля, досягнуті в процесі випробувань, прийняті за руйнівне навантаження відповідного зразка (табл. 1). Зруйновані зразки також були піддані візуальному огляду з метою визначення характеру пошкоджень, наявності крупних (обсягом більше 1 см^3) раковин та каверн всередині зразка, наявності зерен заповнювача більше $1,5d_{max} = 30 \text{ мм}$, грудок глини, слідів розшарування. Зразків, що мають перераховані дефекти структури та характеру руйнування, виявлено не було.

Міцність бетону визначають з точністю до 0,01 МПа згідно зі стандартами [14] та ДБН [15] для кожного зразка за формулою

$$f_{ck, cube} = \alpha \frac{N_{руйн}}{A_c}, \quad (4)$$

де N – руйнівне навантаження, кН; A_c – площа робочого перерізу зразка, мм²; α – масштабний коефіцієнт для приведення міцності зразка до міцності бетону базового розміру та форми (для куба 100x100x100 $\alpha=1$).



Рис. 6. Стандартні випробування з визначення кубикової міцності бетону на стиск у пресі ПСУ-250

Міцність бетону визначалась як середнє арифметичне значення в серії з шести зразків за формулою

$$f_{ck, cube} = \frac{\sum f_{ck, cube}}{n}, \quad (5)$$

де n – кількість i зразків кубів.

У результаті проведених стандартних випробувань бетонних кубів на стиск було встановлено клас бетону, рівний С25/30.

Таблиця 1

Визначення кубикової міцності бетону

| № зразка | Розміри куба, мм | Площа куба A_c , 10^{-2} , m^2 | Руйнівне навантаження, кН | $f_{ck, cube, i}$ МПа | $f_{ck, cube}$ МПа | Згідно з ДБН В.2.6-98:2009 | |
|----------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| | | | | | | Встановлений клас бетону | $f_{ck, cube}$ МПа |
| 1 | 101x100x101 | 1.01 | 346 | 34.6 | 29.84 | С25/30 | 30.00 |
| 2 | 99x100x99 | 0.99 | 225 | 22.73 | | | |
| 3 | 100x100x99 | 1.00 | 271 | 27.1 | | | |
| 4 | 99x99x100 | 0.98 | 258 | 26.33 | | | |
| 5 | 100x100x101 | 1.00 | 268 | 26.8 | | | |
| 6 | 101x100x101 | 1.01 | 419 | 41.48 | | | |

Одночасно з випробуванням стандартних зразків кубів виконано встановлення фактичних класів бетону власне дослідних зразків за допомогою неруйнівного дослідження приладом ОНІКС-2.5. Виконано роботи з встановлення фактичних геометричних характеристик забетонованих колон (рис. 7). Результати вимірів геометричних та фізико-механічних характеристик зразків наведено в табл. 2. Як основна силова

установка використовується прес гідравлічний для випробування будівельних конструкцій П-500, верхня опорна плита якого закріплена на рухомій траверсі і має сферичну опору для самостійного установа (рис. 7). Навантаження зразків планується реалізувати ступінчасто через два оголовники у вигляді сталевих дисків з листа товщиною 20 мм.



Рис. 7. Підготовка зразків до випробувань

Таблиця 2

Встановлені фізико-механічні та геометричні характеристики зразків*

| № спроби: клас (міцність МПа) | Номери зразків | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | ●1 | ●2 | ●3 | X1 | X2 | X3 | Ж1 | Ж2 | Ж3 |
| 1 | B22.5 (31.4) | B25 (32.6) | B22.5 (29.5) | B22.5 (31.4) | B27.5 (38.4) | B30 (40.3) | B15 (22.9) | B25 (34.9) | B20 (28.8) |
| 2 | B27.5 (37.6) | B22.5 (30.7) | B22.5 (30.9) | B22.5 (29.7) | B25 (33.7) | B22.5 (30.1) | B20 (28.1) | B27.5 (37.0) | B25 (33.3) |
| 3 | B22.5 (32.0) | B22.5 (29.8) | B22.5 (30.8) | B27.5 (36.5) | B30 (40.2) | B22.5 (29.9) | B22.5 (29.9) | B20 (26.5) | B27.5 (34.3) |
| 4 | B25 (35.2) | B 25 (34.4) | B27.5 (38.5) | B25 (31.4) | B15 (23.3) | B25 (32.3) | B15 (23.2) | B22.5 (29.8) | B27.5 (36.3) |
| 5 | B25 (33.1a) | B35 (41.0) | B25 (32.6) | B20 (28.2) | B22.5 (30.0) | B25 (32.1) | B25 (32.3) | B22.5 (31.9) | B30 (40.8) |
| 6 | B22.5 (30.5) | B25 (37.5) | B22.5 (30.1) | B20 (26.6) | B25 (32.5) | B27.5 (35.4) | B20 (26.6) | B25 (32.1) | B25 (32.1) |
| Середня міцність, МПа | 32.93 | 33.8 | 31.10 | 30.175 | 33.65 | 32.475 | 26.875 | 29.875 | 34.0 |
| Встановле- ний клас за $f_{ck,cube}$ | C25/30 | C25/30 | C25/30 | C25/30 | C25/30 | C25/30 | C20/25 | C20/25 | C25/30 |
| Міцність $f_{ck,prism}$, МПа | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 18.5 | 18.5 | 22 |
| Висота зразка, см | 97.5 | 96.5 | 98.5 | 97.0 | 98.5 | 100 | 97.7см | 98.0 | 103см |

*Кольором позначені спроби, які не враховувались при визначенні класів бетону

Висновки. В статті запропоновано конструктивне рішення залізобетонної колони в сітчастій оболонці з просічно-втяжного листа, підкріпленої арматурними шпангоутами. Наведено технологічну послідовність підготовки зразків до випробувань на статичні впливи та результати встановлення їх фізико-механічних та геометричних характеристик. У подальшому заплановано цикл випробувань позначених зразків на

статичні впливи для визначення руйнівного зусилля та поведінки конструктиву під навантаженням. Дослідження зразків проводитиметься шляхом порівняння та зіставлення отриманих результатів для трьох виготовлених серій (суто бетонних колон, бетонних колон у сітчастій оболонці та зразків в оболонці зі шпангоутами) між собою та з отриманими раніше результатами теоретичних досліджень [1–3].

Список використаних джерел

1. On the criterion of the Limit State for Concrete / H. Mohammad, V. Shmukler, P. Reznik and O. Petrova. Proc. of the 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Prague, Czech Republic, 2018. P. 593–599.
2. Shmukler V., Petrova O., Mohammad H. Rationalization of the parameters of the cylindrical bridge support (theoretical basis). MATEC Web of Conferences 230, 02031 (2018).

3. Shmukler V., Petrova O., Mohammad H. To the rationalization of the constructive solutions of the bridge supports. MATEC Web of Conferences 116, 02025 (2017).
4. Стороженко Л. І., Єрмоленко Д. А., Демченко О. В. Несуча здатність коротких сталевих труб, заповнених високоміцним бетоном. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. Серія: Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів жилищно-громадянського, промислового і транспортного призначення. 2013. Вип. 69. С. 492–496.
5. Ahmed M. El-Kholy, Hany Dahish. Improved confinement of reinforced concrete columns. *Ain Shams Engineering Journal*, 34(2). 2016. P. 717–728.
6. Jianqi Wang. Behaviour of ferrocement columns under static and cyclic loading. PhD dissertation. School of mechanical, aerospace and civil engineering, 2013.
7. Mohamed M. Masaoud, Ahmed M. El-Kholy, Magdy A. Abd El-Aziz. Enhanced Ferrocement Jackets for Strengthening Long Reinforced Concrete Columns. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)* Vol. 10, Issue 08, 2019. P. 61–72.
8. Синьковская Е. В., Суржан Е. А. Сталобетонные цилиндрические несущие элементы опор зданий и сооружений нового типа, их несущая способность. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 149. С. 169–178.
9. Шмуклер В. С., Синьковская Е. В. Экспериментальные исследования сталобетонных столбчатых мостовых опор при внецентренном малоцикловом сжатии. *Будівельні конструкції*. 2013. Вип. 79. С. 363–369.
10. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. Киев: Факт, 2005. 344 с.
11. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва: Наука, 1976. 280 с.
12. Зедгинидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. Москва: Наука, 1976. 390 с.
13. ТОВ «СБС-ІНВЕСТ». URL: <https://www.proflinew.ua/> (дата звернення: 10.12.2020 р.)
14. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011-06-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.
15. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. [Чинний від 2011-06-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.

Хаммуд Мохаммад Тахран, аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. ORCID ID: 0000-0002-5509-8741.

E-mail: hammoud.m.t@outlook.com.

Пчолкін Руслан Миколайович, директор з розвитку ТОВ «СБС-Інвест». E-mail: pcholkinrn@gmail.com.

Mohammad Hammoud Tahran, postgraduate student at the Department of Building Structures of O. M. Beketov NUUE in Khrakiv. ORCID ID: 0000-0002-5509-8741. E-mail: hammoud.m.t@outlook.com.

Pcholkin Ruslan, Development Director of «SBS-INVEST» LLC. E-mail: pcholkinrn@gmail.com.

Статтю прийнято 01.12.2020 р.