

С.Ю. Берестянська, Є.І. Галагура, М.О. Ковальов, Л.Б. Кравців, О.В. Опанасенко

*Український державний університет залізничного транспорту, Україна***ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ФІБРОБЕТОНУ ЯК ЯДРА ДЛЯ СТАЛЕБЕТОННИХ КОЛОН КВАДРАТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ**

У статті розглядається ефективність використання фібробетону як ядра для сталобетонних колон. Для цього на першому етапі проведено розрахунок сталобетонної колони з використанням як ядра перерізу бетону марки С20/25. На наступному етапі дослідження підібрано поперечні перерізи з використанням фібробетону зі сталевую та базальтовою фібрами при різних значеннях товщини сталеві оболонки.

Ключові слова: фібробетон, сталобетон, колона, несуча здатність.

Постановка проблеми

Сталобетонні конструкції використовують у різноманітних будівлях і спорудах, зокрема як опорні конструкції (колони). Одним з перспективних напрямків будівельних конструкцій є дисперсно-армовані бетони, використання яких дозволяє значно поліпшити несучу здатність та знизити ресурсопоживання при будівництві нових об'єктів та при реконструкції [1, 2]. У статті подано розрахунки несучої здатності сталобетонної колони з використанням фібробетону і сталобетонної колони з використанням звичайного бетону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Експериментальним та теоретичним дослідженням використання бетонів як ядра сталобетонних колон присвятили свої роботи: Кришан О.Л., Мельничук А. С., Шахворостов А. І., Бондаренко В.М. та інші вчені. Питаннями створення та використання фібробетону в конструкціях займалися: Талантова К.В., Рабинович Ф.Н., Сакварелідзе А.В., Ізбаш М.Ю. та інші вчені. Але не всі питання достатньо вивчені. Існуючі методи розрахунків не враховують особливості використання фібробетону. Зокрема недостатньо вивченою є робота сталобетонних колон квадратного поперечного перерізу з ядром із фібробетону. Аналіз останніх досліджень дозволив зробити висновок о доцільності використання сталеві та базальтової фібри.

Мета статті

Метою дослідження є отримання методики розрахунку для визначення несучої здатності сталобетонної колони з ядром із фібробетону та оцінка економічності його застосування. Для досягнення сформульованої мети потрібно: визначити призмові напруження фібробетону зі сталевую та базальтовою фібрами.

Виклад основного матеріалу

Визначення несучої здатності сталобетонних колон виконуємо, використовуючи уніфікований метод [3] на прикладі колони довжиною $l = 500$ мм із розмірами поперечного перерізу $100 \times 100 \times 3$ мм (рис. 1).

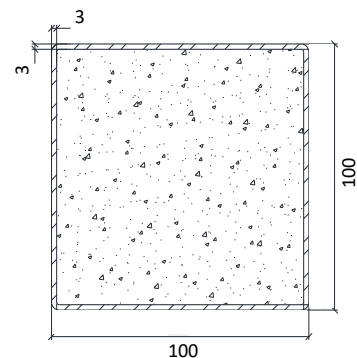


Рис. 1. Поперечний переріз колони

Несуча здатність сталобетонних колон полігонального поперечного перерізу згідно з [3] визначається за формулою:

$$N = f_{sk} \cdot A_{sk} = \left(1 + 0,5 \cdot k_e \cdot \frac{\xi}{1+\xi}\right) \cdot (f_y \cdot A_s + f_{ck} \cdot A_c), \quad (1)$$

де f_{sk} – узагальнена міцність сталобетонних колон;

A_{sk} – площа перерізу сталобетонної колони;

k_e – приведений коефіцієнт ефективності, $k_e = k_h \cdot k_n$;

k_h – коефіцієнт ефективності пустот (у нашому випадку пустот немає, тому $k_h = 1$);

k_n – коефіцієнт полігональності, який визначається згідно з [3], $k_n = 0.33$;

f_y – межа текучості сталі, $f_y = 220$ МПа;

A_s – площа перерізу сталеві оболонки,
 $A_s = 11.64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;
 f_{ck} – призмova міцність бетону, $f_{ck} = 20 \text{ МПа}$;
 A_c – площа перерізу бетонного ядра,
 $A_c = 88.36 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;
 ξ – коефіцієнт зведення, $\xi = \frac{A_s \cdot f_y}{A_c \cdot f_{ck}}$. $\xi = 1.81$.

Виконавши розрахунки за формулою (1), отримаємо значення несучої здатності сталобетонної колони: $N = 464 \text{ кН}$.

Знаючи вирази для визначення площ бетонного ядра та сталеві оболонки (2, 3), можна побудувати графік залежності площ A_c та A_s від товщини

сталеві листа δ (рис. 2). Це дозволяє при відомій товщині сталеві листа визначати площу сталеві оболонки та площу бетонного ядра.

$$A_c = b^2 - 4 \cdot \delta(b - \delta), \quad (2)$$

$$A_s = 4 \cdot \delta(b - \delta), \quad (3)$$

де A_c – площа фібробетонного ядра,
 A_s – площа перерізу сталеві оболонки,
 δ – товщина стінки обойми,
 b – розмір поперечного перерізу колони.

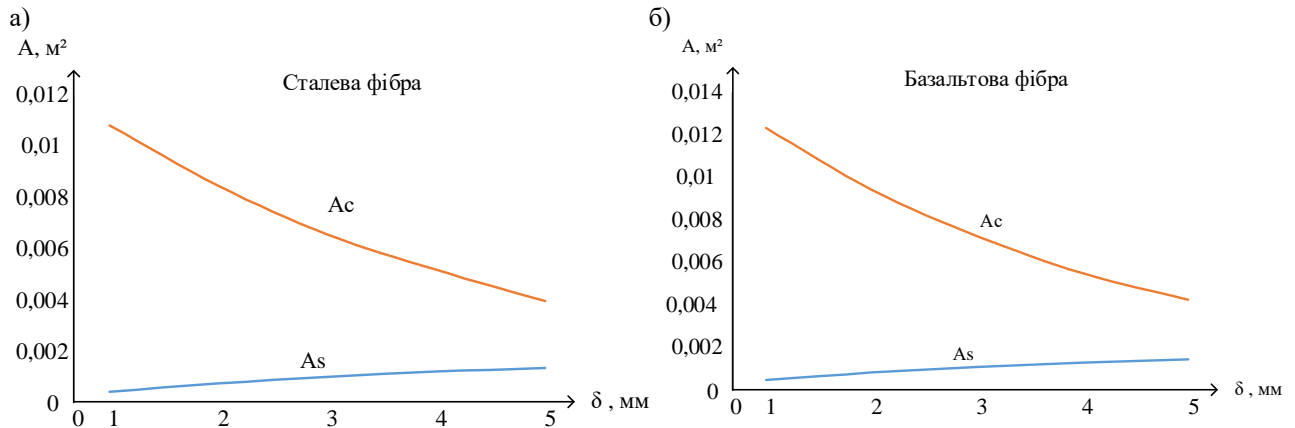


Рис. 2 Залежність площі бетонного ядра A_c та площі сталеві оболонки A_s від товщини сталеві оболонки δ : а) – сталеві фібра, б) – базальтова фібра.

У теперішній час дисперсно-армовані матеріали зазнають широкого розповсюдження завдяки тримірному зміцненню бетонної матриці. Тому вважаємо доцільним використання таких матеріалів в якості бетонного ядра сталобетонної колони. Механічні властивості композитних матеріалів, армованих різними волокнами, залежать від ряду факторів: виду самої фібри, кількості фібри на одиницю маси чи об'єму, розміру фібри (довжина та поперечний розмір), тощо. У [1, 2, 4] розглянуто різні види фібр і зроблено висновок о доцільності використання сталеві та базальтової фібри для несучих конструкцій, запропоновано оптимальний вміст та розмір сталеві та базальтової фібри.

Для визначення економічного ефекту порівняємо колони з однаковою несучою здатністю, виконані з бетонним ядром із звичайного бетону, фібробетону зі сталеві фіброю, та фібробетону з базальтової фіброю. Для порівняння зупинимось на бетоні марки С20/25. Бетонна суміш мала наступний склад: портландцемент М 400 – 437.5 кг/м³, щебінь фракції 5-10 мм – 1158.12 кг/м³, пісок річний - 552.6 кг/м³, вода - 210 л/м³. Водоемність визначалась по графіку Міронова. Саме такий склад бетонної суміші був розрахований виходячи з рухомості бетонної суміші 5 см [5]. У [2, 4, 6] показано раціональні характеристики для базальтової і сталеві фібр. Зокрема, для встановлення призмовой міцності використовувалась

сталеві фібра «Чілябінка», яка вводилась з розрахунку 32.536 кг/м³ бетону [7]. Для встановлення призмовой міцності бетону з базальтової фіброю, використовувалась фібра довжиною 12 мм, і додавалась у кількості 0.2% від маси цементу [7].

Визначимо розміри поперечного перерізу, площу фібробетонного ядра та сталеві оболонки, виходячи з умови однакової несучої здатності при різній товщині сталеві оболонки. За відправну несучу здатність візьмемо $N = 464 \text{ кН}$, яку отримано на початку статті. Для цього у формулі (1), для фібробетону призмovu міцність бетону f_{sk} необхідно замінити на приведену призмovu міцність, яку було визначено експериментально у [5] для сталеві та базальтової фібри. Так призмova міцність фібробетону зі сталеві фіброю становить $R_c = 30.1 \text{ МПа}$, з базальтової фіброю $R_c = 26.2 \text{ МПа}$.

Результати розрахунків зведено у таблиці 1 і таблиці 2.

На підставі досліджень, проведених у табл. 1 та 2, можна зробити наступні висновки. Застосування фібробетону в якості ядра сталобетонної колони прямокутного поперечного перерізу значно поліпшує цілий ряд характеристик. Так, при однаковій несучій здатності і товщині оболонки, вартість колони з ядром, із сталеві фібробетону

зменшується на 15%, вага на 26%, розмір поперечного перерізу на 13%, у порівнянні з бетоном без фібри. Вартість колони з ядром, із базальтофібробетону зменшується на 12%, вага на 21%, розмір поперечного перерізу 9%, у порівнянні з бетоном без фібри.

При збільшенні товщини сталеві оболонки, значно зростає вартість колони завдяки вартості металу оболонки. Але, збільшення товщини сталеві оболонки значно зменшує розміри поперечного перерізу. Так, для колони з ядром із сталевібробетону при товщині оболонки $\delta=1$ мм, розмір колони складає 106 мм, вартість 78.26 грн, вага 14.65 кг. А при товщині оболонки $\delta=5$ мм,

розмір колони складає 73 мм, вартість 213.54 грн, вага 10.04 кг. Тобто, при змінненні товщини оболонки з $\delta=1$ мм до $\delta=5$ мм, розмір колони зменшується на 31 %, вага на 26 %, але вартість зростає на 173 %. Для колони з ядром із базальтофібробетону при товщині оболонки $\delta=1$ мм, розмір колони складає 113 мм, вартість 82.6 грн, вага 16.28 грн. А при товщині оболонки $\delta=5$ мм, розмір колони складає 75 мм, вартість 219.17 грн, вага 10.04 кг. Тобто, при змінненні товщини оболонки з $\delta=1$ мм до $\delta=5$ мм, розмір колони зменшується на 34 %, вага на 38 %, але вартість зростає на 118 %.

Таблиця 1

Порівняння вартості і характеристик фібробетонної колони зі сталевіброю при несучій здатності $N = 464$ кН і довжиною $l = 0.5$ м в залежності від товщини сталеві оболонки δ

	Товщина оболонки δ , мм					Звичайна колона
	1	2	3	4	5	
Несуча здатність, N , кН	462.3	464.7	463.7	468.5	463	464
Розмір колони, b , мм	106	96	87	80	73	100
Площа бетонного ядра, A_c , м ²	0.010816	0.008464	0.006561	0.005184	0.003969	0.008836
Площа сталеві оболонки, A_s , м ²	0.00042	0.000752	0.001008	0.001216	0.00136	0.001164
Вартість колони, грн	78.26	126.13	162.91	193.03	213.54	191.74
Вартість бетону*	13.89	10.87	8.42	6.66	5.09	13.34
Вартість оболонки*	64.37	115.26	154.49	186.37	208.45	178.4
Вага колони, кг	14.56	13.05	11.77	10.93	10.04	16.02

Таблиця 2

Порівняння вартості і характеристик фібробетонної колони із базальтовою фіброю при несучій здатності $N = 464$ кН і довжиною $l = 0.5$ м в залежності від товщини сталеві оболонки δ

	Товщина оболонки δ , мм					Звичайна колона
	1	2	3	4	5	
Несуча здатність, N , кН	466	465.4	466.3	462.3	463.7	464
Розмір колони, b , мм	113	101	91	82	75	100
Площа бетонного ядра, A_c , м ²	0.012321	0.009409	0.007225	0.005476	0.004225	0.008836
Площа сталеві оболонки, A_s , м ²	0.000448	0.000792	0.001056	0.001248	0.0014	0.001164
Вартість колони, грн	82.06	131.61	169.71	197.24	219.17	191.74
Вартість бетону*	13.4	10.23	7.86	5.96	4.59	13.34
Вартість оболонки*	68.66	121.38	161.85	191.28	214.578	178.4
Вага колони кг.	16.28	14.18	12.64	11.32	10.44	16.02

* Ціни взято з мережі інтернет станом на 04.04.2024р.

Якщо за критерій взяти вартість колони, то найбільш економічною є колона з ядром із сталевібробетону при товщині оболонки $\delta=1$ мм.

Якщо важливим фактором є розміри колони, то найбільш раціональною є колона з ядром із

сталефібробетону при товщині оболонки $\delta=5$ мм, при цьому така колона має найменшу вагу.

Висновки

У статті проведено розрахунок сталебетонної колони розмірами $100 \times 100 \times 3$ мм, довжиною 500 мм з використанням як ядра перерізу бетону марки С20/25. Показано залежність площі бетонного ядра A_c та площі сталеві оболонки A_s від товщини сталеві оболонки δ . Визначено порівнянні характеристики та вартість і фібробетонних колон зі сталеві фіброю та базальтовою фібрами при несучій здатності $N = 464$ кН і довжиною $l = 0.5$ м в залежності від товщини сталеві оболонки δ . Показано, що при однаковій несучій здатності і товщині оболонки, вартість колони з ядром, із сталефібробетону зменшується на 15%, вага на 26%, розмір поперечного перерізу на 13%. Вартість колони з ядром, із базальтофібробетону зменшується на 12%, вага на 21%, розмір поперечного перерізу 9%. Змінюючи товщину сталеві оболонки можна також впливати на характеристики колони, зокрема зменшувати розміри поперечного перерізу і вагу. Але при цьому збільшується вартість колони.

Література

1. Опанасенко Е.В., Берестянская А.А. Види фибрового армування. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне. 2015. Вип. №30. С. 57–64.
2. Vatulia G., Berestianskaya S., Opanasenko E., Berestianskaya A. Substantiation of concrete core rational parameters for bending composite structures. DYN-WIND'2017 – MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 107. 00044 2017.
3. Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye. A unified formulation for circle and polygon concrete filled steel tube columns under axial compression. Engineering Structures. 2013. № 49.P. 1–10.
4. Веревишева М.А., Берестянская А.А., Дериземля С.В. Выбор рациональных параметров фибрового армування. Строительство, материаловедение, машиностроение Днепропетровск. 2015. Вып. 82. С. 60-69.
5. Berestianskaya S., Galagurya E., Opanasenko O., Berestianskaya A., Bychenok I. Experimental Studies of Fiber-Reinforced Concrete Prisms Exposed to High Temperatures. Key Engineering Materials. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. 2020. Vol. 864. pp 3-8.
6. Vatulya G., Berestianskaya S., Berestianskaya A., Opanasenko E. Theoretical and Numerical Analyses of Thermal-Load Behavior of Steel-Concrete and Steel-Fiber-Concrete Slabs. Journal of Civil Engineering and Construction. Volume 5, Number 2 (2016).
7. Берестянская С.Ю., Опанасенко Е.В., Берестянская А.А. Предпосылки для проведения экспериментальных исследований фибробетонных конструкций на температурные воздействия. Тезисы докладов 6-й международной научно-технической конференции «Проблемы надёжности на долговечности инженерных сооружений та будівель на залізничному транспорті». Харків, 2017. С.101-102.
8. Пособие по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.01-84)

9. Кришан А.Л. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром: дис. ... докт. техн. наук : 05.23.01.Магнитогорск, 2011. – 335 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-215:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу.

References

1. Opanasenko E., Berestyanskaya A. (2015). Types of fiber reinforcement. *Resource-saving materials, constructions, buildings and structures*. Rivne, 30, 57-64.
2. Vatulia G., Berestianskaya S., Opanasenko E., Berestianskaya A. (2017). Substantiation of concrete core rational parameters for bending composite structures. *DYN-WIND'2017 – MATEC Web of Conferences*, 107, 00044 2017.
3. Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye. (2013). A unified formulation for circle and polygon concrete filled steel tube columns under axial compression. *Engineering Structures*, 49, 1-10.
4. Verevicheva M., Berestyanskaya A., Derizemlya S. (2015). Selection of rational parameters for fiber reinforcement. *Construction, materials science, mechanical engineering*. Dnipropetrovsk, 82, 60-69.
5. Berestianskaya S., Galagurya E., Opanasenko O., Berestianskaya A., Bychenok I. (2020). Experimental Studies of Fiber-Reinforced Concrete Prisms Exposed to High Temperatures. *Key Engineering Materials*. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 864, 3-8.
6. Vatulya G., Berestianskaya S., Berestianskaya A., Opanasenko E. (2016). Theoretical and Numerical Analyses of Thermal-Load Behavior of Steel-Concrete and Steel-Fiber-Concrete Slabs. *Journal of Civil Engineering and Construction*. 5 (2).
7. Berestyanskaya S., Opanasenko E., Berestyanskaya A. (2017). Prerequisites for conducting experimental studies of fiber-reinforced concrete on temperature effects. *Abstracts of the 6th international scientific and technical conference "Problems of reliability on the durability of engineering products and life in the transport industry"*. Kharkiv, 101-102.
8. Manual on the design of self-stressed reinforced concrete structures (to SNiP 2.03.01-84).
9. Krishan A.L. (2011). *Strength of pipe-concrete columns with a pre-compressed core*: dis. ... doc. tech. sciences: 05.23.01. Magnitogorsk, 335.
10. DSTU B V.2.7-215:2009 *Building materials. Concretes. Rules for the selection of the composition*.

Автор: БЕРЕСТЯНСЬКА Світлана Юрївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, Український державний університет залізничного транспорту,

Svitlana BERESTIANSKAYA

PhD (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics and Hydraulics,

Ukrainian State University of Railway Transport

E-mail – s.berestyanskaya@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4111-3138>

Автор: ГАЛАГУРЯ Євгеній Іванович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, Український державний університет залізничного транспорту,

Evgeniy GALAGURYA,

PhD (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics and Hydraulics,

Ukrainian State University of Railway Transport

E-mail – evgeniygalagurya@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3075-8651>

Автор: КОВАЛЬОВ Максим Олександрович,

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки,

Український державний університет залізничного транспорту,

Maksym KOVALOV,

PhD (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics and Hydraulics,

Ukrainian State University of Railway Transport

E-mail – maks_kov@ukr.net

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2104-3061>

Автор: КРАВЦІВ Лариса Богданівна,

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки,

Український державний університет залізничного транспорту,

Larysa KRAVTSIV,

PhD (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics and Hydraulics,

Ukrainian State University of Railway Transport

E-mail – laura.kravtsiv030413@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4632-6148>

Автор: ОПАНАСЕНКО Олена Вікторівна,

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки,

Український державний університет залізничного транспорту,

Olena OPANASENKO,

PhD (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics and Hydraulics,

Ukrainian State University of Railway Transport

E-mail – opanasenko_bmg@kart.edu.ua

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5437-5818>

EFFICIENCY OF USING FIBER CONCRETE AS CORE FOR STEEL CONCRETE COLUMNS OF SQUARE CROSS SECTION

S. Berestianskaya, E. Galagurya, M. Kovalov, L. Kravtsiv, O. Opanasenko

Ukrainian State University of Railway Transport

The article examines the effectiveness of using fiber concrete as a core for reinforced concrete columns with a square cross-section. For this, at the first stage, the calculation of a steel-concrete column with dimensions of 100×100×3 mm, length of 500 mm was carried out using as a core a cross-section of concrete grade C20/25. At the next stage of the research, based on the conditions of the same bearing capacity of the columns, cross-sections were selected using fiber concrete with steel and basalt fibers at different values of the thickness of the steel shell. Steel fiber "Chilyabinka" was used, which was introduced at the rate of 32,536 kg/m³ of concrete. Basalt fiber was used with a length of 12 mm, and was added in the amount of 0.2% of the mass of cement. The dependence of the area of the concrete core and the area of the steel shell on the thickness of the steel shell is plotted. A comparison of the cost and characteristics of reinforced concrete columns with the use of ordinary concrete and fiber concrete with two types of fibers as a core cross-section was also carried out: steel and basalt. Based on research, the following conclusions can be drawn that the use of fiber concrete as the core of a steel concrete column of rectangular cross-section significantly improves a number of characteristics. Thus, with the same bearing capacity and thickness of the shell, the cost of a column with a core made of steel fiber concrete is reduced by 15%, weight by 26%, cross-sectional size by 13% compared to concrete without fiber. The cost of a column with a core made of basalt fiber concrete is reduced by 12%, weight by 21%, cross-sectional size by 9% compared to concrete without fiber. By changing the thickness of the steel shell, you can also influence the characteristics of the column, in particular, reduce the cross-sectional dimensions and weight. But at the same time, the cost of the column increases.

Keywords: *fiber concrete, steel concrete, column, bearing capacity*