

УДК 624.012

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.280323.32.942

## ВПЛИВ ВИДУ ЗВАРЮВАННЯ НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ З'ЄДНАНЬ АРМАТУРНИХ СТРИЖНІВ ІЗ МЕТАЛЕВОЮ ПЛАСТИНОЮ

КОНОПЛЯНИК О. Ю.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,КОТОВ М. А.<sup>2\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,ВОЛЧУК В. М.<sup>3</sup>, докт. техн. наук, проф.,ІЛЬЄВ І. М.<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup> Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. + 38 (067) 76-22-455, e-mail: [konoplianiuk.alexander@gmail.com](mailto:konoplianiuk.alexander@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>2\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [38kotokoto38@gmail.com](mailto:38kotokoto38@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

<sup>3</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [volchuky@gmail.com](mailto:volchuky@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

<sup>4</sup> Кафедра прикладної математики та інформаційних технологій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 76-96-99, e-mail: [ilyev.ilya@gmail.com](mailto:ilyev.ilya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-9515-7734

**Анотація.** *Вступ.* У залізобетонних конструкціях закріплення кінців арматурних стрижнів у бетоні – анкерування здійснюється запуском арматури за перетин, що розглядається, на довжину зони передачі зусиль з арматури на бетон, а також за допомогою анкерних пристроїв. У разі неможливості забезпечення необхідної розрахункової довжини арматури застосовуються спеціальні заходи щодо анкерування арматурних стрижнів [1, п. 5.36]. Один із таких засобів – пристрій на кінцях поздовжніх стрижнів спеціальних анкерних пристроїв у вигляді пластин. При влаштуванні анкерних пристроїв у вигляді пластин особлива увага приділяється виду зварювання пластини зі стрижнем, яка повинна виключити висмикування стрижня під час застосування поздовжніх зусиль від зовнішнього навантаження. *Матеріали та методика.* Як матеріал для дослідження прийняті арматурні стрижні класу А400С діаметром 25 і 32 мм, з'єднані на кінцях із металевими пластинами контактним зварюванням. У металевих пластинах були просвердлені отвори діаметром, що дорівнює діаметру арматури. Стрижні вставляли у отвори врівень із поверхнею пластин і приварювали до пластин одностороннім і двостороннім зварюванням. Всього на кожен вид зварного з'єднання використовували по два стрижні. Міцність зварного з'єднання арматурних стрижнів із пластинами визначали на розривній машині ГМС-100 шляхом докладання максимального розтягувального зусилля до арматурних стрижнів. Наголошували на характері руйнування кожного з'єднання арматурного стрижня з пластиною. *Результати експерименту.* Установлено, що руйнування з'єднання обох арматурних стрижнів діаметрами 25 мм та 32 мм з металевією пластиною за одностороннього зварювання сталося через руйнування зварного з'єднання та висмикування стрижнів із пластини. У випадку двостороннього з'єднання стрижнів висмикування їх із пластини не відбулося. При цьому одне з'єднання стрижня діаметром 25 мм вийшло з ладу через розрив стрижня в зоні контакту зі зварюванням, а інше – через вичерпання ним межі фізичної текучості. Руйнування з'єднання арматурних стрижнів діаметром 32мм з металевією пластиною при двосторонньому зварюванні сталося через розрив одного стрижня в зоні його контакту зі зварюванням та через тріщиноутворення контакту іншого стрижня зі зварюванням. *Висновки.* Експериментально встановлено, що показники міцності зварного з'єднання арматурних стрижнів діаметром 25 мм і 32 мм з металевією пластиною при двосторонньому зварюванні в 1,33–1,36 рази вищі, ніж при односторонньому зварюванні.

**Ключові слова:** анкерування; арматурні стрижні; металева пластина; зварювання; зварне з'єднання

## THE INFLUENCE OF WELDING TYPE ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF CONNECTIONS OF REINFORCING BARS WITH A METAL PLATE

KONOPLIANYK O.Yu.<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,KOTOV M.A.<sup>2\*</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

VOLCHUK V.M.<sup>3</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
ILIEV I.M.<sup>4</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

<sup>1</sup> Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 76-22-455, e-mail: [konoplianiik.alexander@gmail.com](mailto:konoplianiik.alexander@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>2\*</sup> Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: [38koto38@gmail.com](mailto:38koto38@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

<sup>3</sup> Department of Materials Science, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [yolchuky@gmail.com](mailto:yolchuky@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

<sup>4</sup> Department of Computer Sciences, Information Technologies and Applied Mathematics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 76-96-99, e-mail: [ilyev.ilya@gmail.com](mailto:ilyev.ilya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-9515-7734

**Abstract. Introduction.** In reinforced concrete structures, the ends of reinforcing bars are anchored in the concrete by launching the reinforcement beyond the considered section for the length of the force transfer zone from the reinforcement to the concrete as well as by using anchoring devices. If the required design length of the reinforcement cannot be ensured, special measures to anchor the reinforcement bars are applied [1, p. 5.36]. One of these measures is to install special anchoring devices in the form of plates at the ends of the longitudinal bars. When anchoring devices in the form of plates, special attention is paid to the welding type of the plate with the bar, which should prevent the bar from being pulled out when longitudinal forces from external load are applied. **Materials and methodology.** The material to be investigated was reinforcing bars of class A500C with diameters of 25 and 32 mm, connected at the ends to metal plates by means of contact welding. Holes with a diameter equal to the diameter of the reinforcement were drilled in the metal plates. The bars were inserted into the holes flush with the surface of the plates and welded to the plates by one and double sided welding. A total of two bars were used per welded joint. The strength of welded connection of reinforcing bars with plates was determined on the tensile testing machine HMS-100 by applying maximum tensile force to reinforcing bars. The fracture pattern of each reinforcing bar to plate joint was noted. **The results of the experiment.** As a result of the experiment, it was found that the destruction of the connection between the two reinforcing bars of 25 mm and 32 mm diameter and the metal plate during one-sided welding occurred by destroying the welding connection and pulling the bars out of the plate. When the bars were joined on both sides, there was no pulling out of the plate. In this case, one 25-mm-diameter bar joint is out of service due to bar breakage in the area of contact with the weld and the other is due to the exhaustion of its physical yield strength. The destruction of the 32mm diameter bars and metal plate joint in the two-sided welding process was due to the rupture of one bar in the area of its contact with the weld and the cracking of the other bar's contact with the weld. **Conclusions.** As a result of the experiment, it was found that the strength values of the welded connection between reinforcing bars 25 mm and 32 mm in diameter and a metal plate at bilateral welding were 1,33–1,36 times higher than those at one-sided welding.

**Keywords:** *anchoring; reinforcing bars; metal plate; welding; welded joints*

### Постановка проблеми

У залізобетонних конструкціях закріплення кінців арматурних стрижнів у бетоні – анкерування здійснюється запуском арматури за перетин, що розглядається, на довжину зони передачі зусиль з арматури на бетон, а також за допомогою анкерних пристроїв. У разі неможливості забезпечення необхідної розрахункової довжини арматури застосовуються спеціальні засоби щодо анкерування арматурних стрижнів [1, п. 5.36]. Один із таких засобів – пристрій на кінцях поздовжніх стрижнів спеціальних анкерних пристроїв у вигляді пластин. Під час улаштування анкерних пристроїв у вигляді пластин особлива увага приділяється виду зварювання пластини зі стрижнем, яка

повинна виключити висмикування стрижня під час застосування поздовжніх зусиль від зовнішнього навантаження. Слід зазначити, що натурні іспити – один із точних методів оцінення якості матеріалів, незважаючи на те, що останнім часом активно впроваджуються в матеріалознавстві методи неруйнівного контролю, включаючи математичне моделювання, зокрема, фрактальний підхід [3–8] та ін.

### Мета роботи

Визначення міцності зварних з'єднань арматури з металевими пластинами.

### Виклад матеріалу

Для випробувань чотири зразки арматури класу А400С діаметром 25 мм були з'єднані з металевими пластинами квадратного перерізу з розмірами сторони

89–91 мм та товщиною 19,4–19,8 мм. Два зразки арматури діаметром 25 мм з'єднали з металевими пластинами двостороннім зварюванням (з внутрішньої та зовнішньої сторін кожної пластини), а два зразки – з'єднані з пластиною одностороннім зварюванням (з зовнішнього боку пластини).

Також чотири зразки арматури класу А400С діаметром 32 мм були з'єднані з металевими пластинами квадратного перерізу з розмірами сторони 108,6–111,0 мм і завтовшки 23,2–24,7 мм. З'єднання арматурних стрижнів діаметром 32 мм були виконані такими, як і з'єднання стрижнів діаметром 25 мм.

Випробування проводили у лабораторії кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій 29 січня 2020 року.

Для випробувань нами запроваджено таке маркування арматурних стрижнів:

1<sub>1</sub> і 1<sub>2</sub> – для стрижнів діаметром 25 мм при їх двосторонньому з'єднанні зварюванням з пластиною;

2<sub>1</sub> і 2<sub>2</sub> – для стрижнів діаметром 25 мм при їх односторонньому з'єднанні зварюванням з пластиною;

3<sub>1</sub> і 3<sub>2</sub> – для стрижнів діаметром 32 мм при їх односторонньому з'єднанні зварюванням з пластиною;

4<sub>1</sub> і 4<sub>2</sub> – для стрижнів діаметром 32 мм при їх двосторонньому з'єднанні зварюванням із пластиною.

У процесі проведення досліджень фіксували геометричні розміри стрижнів та їх масу, розміри пластин та параметри зварювання.

Максимальне зусилля застосування розтягувального навантаження визначали на розривній машині ГМС-100.

Під час проведення та аналізу результатів випробувань використовували такі нормативні документи [1; 2].

У таблицях 1, 2 наведено узагальнені результати проведення випробувань. Міцність зварного з'єднання арматури з пластинами визначали шляхом відношення максимально прикладеного навантаження до площі пластини в першому випадку та відношення максимально прикладеного навантаження до площі зварювання у другому випадку.

Як видно з таблиці 1, руйнування з'єднання арматурних стрижнів діаметром 25 мм з металевою пластиною у разі двостороннього з'єднання сталося за зусилля 29,5 тс для стрижня 1<sub>1</sub> і зусилля 29,0 тс для стрижня 1<sub>2</sub>. Огляд зразків після зняття навантаження показав, що стався розрив стрижня 1<sub>2</sub> в зоні його контакту зі зварюванням. Стрижень 1<sub>1</sub> вийшов з ладу через вичерпання фізичної границі плинності арматури в зоні контакту його зі зварюванням. Зварне з'єднання виявилось не зруйнованим.

Таблиця 1

Параметри випробуваних зразків арматури

Маркування стрижня	Стрижень				Пластина			
	Діаметр стрижня, мм	Довжина стрижня, мм	З'єднання	Маса стрижня, з пластиною, г	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм	Площа, см <sup>2</sup>
1 <sub>1</sub>	25	990,5	Двостороннє	5118	90,8	90,8	19,8	82,45
1 <sub>2</sub>		993,0		5115	90,5	89,2	19,5	80,73
2 <sub>1</sub>	25	983,5	Одностороннє	5076	89,8	90,1	19,4	80,91
2 <sub>2</sub>		987,0		5067	89,4	89,0	19,7	79,57
3 <sub>1</sub>	32	983,0	Одностороннє	8463	109,3	111,0	23,8	121,32
3 <sub>2</sub>		985,0		8358	109,2	108,8	23,75	118,81
4 <sub>1</sub>	32	986,0	Двостороннє	8412	109,8	108,6	24,5	119,24
4 <sub>2</sub>		984,5		8440	109,7	108,8	24,55	119,35

Параметри випробуваних зразків арматури та результати випробувань

Маркування стрижня	Зварне з'єднання				Руйнівне зусилля, тс (кгс)	Межа міцності до пласт.тс/см <sup>2</sup> (кгс/см <sup>2</sup> )	Межа міцності до зварювання тс/см <sup>2</sup> (кгс/см <sup>2</sup> )
	довжина, мм	ширина, мм	товщина, мм	площа, см <sup>2</sup>			
1 <sub>1</sub>	39,35	44,25	41,8	13,72	29,5 (29 500)	0,358 (357,8)	2,15 (2 150,1)
1 <sub>2</sub>	39,9	43,0	41,45	13,49	29,0 (29 000)	0,359 (359,22)	2,15 (2 149,7)
2 <sub>1</sub>	–	45,8	–	16,47	25,62 (25 620)	0,317 (316,6)	1,56 (1 555,6)
2 <sub>2</sub>	–	46,6	–	17,05	27,33 (27 330)	0,3435 (343,47)	1,6 (1 602,9)
3 <sub>1</sub>	–	67,1	–	35,34	43,73 (43 730)	0,36 (360,45)	1,24 (1 237,4)
3 <sub>2</sub>	–	59,7	–	27,98	38,2 (38200)	0,322 (321,52)	1,365 (1 365,3)
4 <sub>1</sub>	52,2	63,6	57,9	26,32	46,95 (46 950)	0,394 (393,41)	1,784 (1 783,8)
4 <sub>2</sub>	52,95	65,1	59,03	27,35	45,92 (45 920)	0,385 (384,75)	1,68 (1 678,9)

При цьому межа міцності на розтяг у зварному з'єднанні по відношенню до зварювання практично однакова в обох стрижнів і становить 2,15 тс/см<sup>2</sup>.

Руйнування з'єднання обох арматурних стрижнів діаметром 25 мм з металевою пластиною при односторонньому з'єднанні сталося шляхом руйнування зварювального з'єднання та висмикування стрижня з пластини (рис. 1) за зусилля 25,62 тс для стрижня 2<sub>1</sub> і за зусилля 27,33 тс для стрижня 2<sub>2</sub>. При цьому межа міцності на розтяг у зварному з'єднанні обох стрижнів по відношенню до зварювання відрізняється незначно і становить 1,56 тс/см<sup>2</sup> для стрижня 2<sub>1</sub> і 1,6 тс/см<sup>2</sup> для стрижня 2<sub>2</sub>. Середня межа міцності на розтяг у зварних з'єднаннях стрижнем діаметром 25 мм з одностороннім зварюванням становить 1,58 тс/см<sup>2</sup>.

Таким чином, показники міцності зварного з'єднання стрижнів діаметром 25 мм з металевою пластиною при двосторонньому зварюванні в 1,36 раза вищі, ніж в аналогічних стрижнів при односторонньому зварюванні.

Як видно з таблиць 1, 2, руйнування з'єднання обох арматурних стрижнів

діаметром 32 мм з металевою пластиною при односторонньому з'єднанні сталося шляхом руйнування зварного з'єднання та висмикування стрижня з пластини (рис. 2, 3) за зусилля 43,73 тс для стрижня 3<sub>1</sub> і за зусилля 38,2 тс для стрижня 3<sub>2</sub>. При цьому межа міцності на розтяг у зварному з'єднанні обох стрижнів по відношенню до зварювання становить 1,24 тс/см<sup>2</sup> для стрижня 3<sub>1</sub> і 1,36 для стрижня 3<sub>2</sub>. Середня межа міцності на розтяг у зварних з'єднаннях стрижнів діаметром 32 мм з одностороннім зварюванням становить 1,3 тс/см<sup>2</sup>.

Руйнування з'єднання арматурних стрижнів діаметром 32 мм з металевою пластиною при двосторонньому з'єднанні сталося при зусиллі 46,95 тс для стрижня 4<sub>1</sub> і зусилля 45,92 тс для стрижня 4<sub>2</sub>. Огляд зразків після зняття навантаження показав (рис. 1, 4), що стався розрив стрижня 4<sub>2</sub> у зоні його контакту зі зварюванням. Стрижень 4<sub>1</sub> вийшов з ладу через тріщиноутворення контакту його зі зварюванням. Зварне з'єднання виявилось не зруйнованим. При цьому межа міцності на розтяг у зварному з'єднанні по відношенню до зварювання становить 1,784 тс/см<sup>2</sup> для

стрижня  $4_1$  і  $1,68$  тс/см<sup>2</sup> для стрижня  $4_2$ . Середня межа міцності на розтяг у зварних з'єднаннях стрижнів діаметром 32 мм  $1,732$  тс/см<sup>2</sup>.

Таким чином, показники міцності зварного з'єднання стрижнів діаметром

32 мм з металевою пластиною при двосторонньому зварюванні в 1,33 раза вищі, ніж в аналогічних стрижнів при односторонньому зварюванні.



Рис. 1. Загальний вигляд з'єднання арматурних стрижнів Ø25 мм із пластиною двостороннім зварюванням:  
 $1_1$ – $1_2$  – маркування зразків та його характер руйнування



Рис. 2. Загальний вигляд з'єднання арматурних стрижнів Ø25 мм із пластиною одностороннім зварюванням:  
 $2_1$ – $2_2$  – маркування зразків та його характер руйнування



Рис. 3. Загальний вигляд з'єднання арматурних стрижнів Ø32 мм з пластиною одностороннім зварюванням:  
 $3_1$ – $3_2$  – маркування зразків та його характер руйнування



Рис. 4. Загальний вигляд з'єднання арматурних стрижнів Ø32 мм із пластиною двостороннім зварюванням:  
4<sub>1</sub>–4<sub>2</sub> – маркування зразків та його характер руйнування

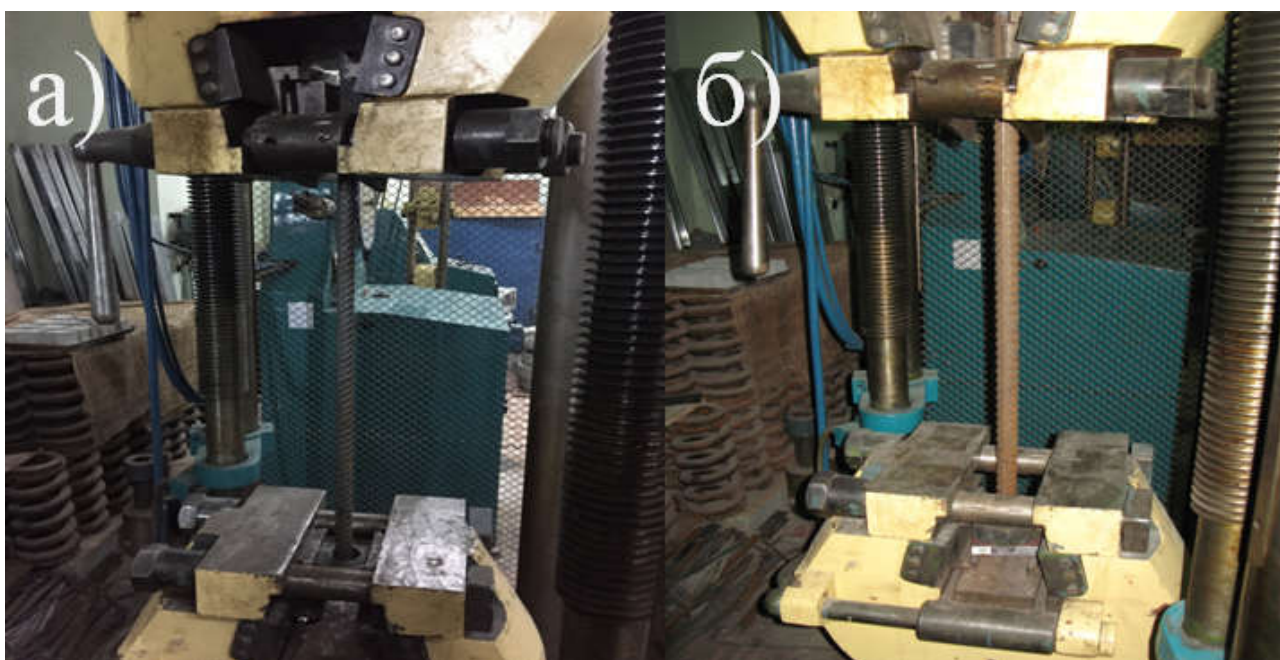


Рис. 5. Загальний вигляд розривної машини ГСМ-100: а – зі стрижнем, що випробовується, Ø25 мм;  
б – те саме, зі стрижнем Ø32 мм

### Висновки

В результаті експерименту встановлено, що показники міцності зварного з'єднання арматурних стрижнів діаметром 25 мм

і 32 мм з металевою пластиною при двосторонньому зварюванні в 1,33–1,36 раза вищі, ніж при односторонньому.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови (ISO 6935-2:1991, NEQ). Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 27 с.

2. ГОСТ 12004-81. Межгосударственный стандарт. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. Москва, 1983. 10 с.

3. Большаков В. І., Волчук В. М., Котов М. А., Фісуненко Д. П. Аспекти застосування фрактального моделювання. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. Т. 2, № 2 (97). С. 7–18. URL: <https://doi.org/10.30838/J.PMNTM.2413.050722.7.858>

4. Volchuk V. M., Kotov M. A. Fractal express methods evaluation of a breaking stress of concrete. *Journal of Physics : Conference Series. IOP Publishing*. 2021. Vol. 1926, № 1. Pp. 012023. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012023>

5. Volchuk Volodymyr, Bolshakov Volodymyr, Kotov Mykola, Konoplyanik Alexander, Chaikovska Hanna. Influence of the multifractal characteristics of a macrostructure on cement mortar strength. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2678. P. 020024. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0118682>

6. Konoplianyk Oleksandr, Nikolay Kotov and Illia Iliev. Specific Design Features of Prefabricated Fire-Resistant Floor Slabs Made from Lightweight Concrete. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 2022. № 30.1. Pp. 1–7.

7. Bol'shakov V., Volchuk V., Dubrov Yu. Fractals and properties of materials : monograph. Saarbrucken : Lambert Academic Publishing, 2016. 140 p.
8. Volchuk V., Klymenko I., Kroviakov S., Orešković M. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism. *Tehnički glasnik – Technical Journal*. 2018. Vol. 12, № 2. Pp. 93–97. URL: <https://doi.org/10.31803/tg-20180302115027>
9. Ogunsanya I. G. and Hansson C. M. Influence of Sulphate on the Electronic and Electrochemical Properties of Passive Films Formed on Steel Reinforcing Bars. URL: <https://ssrn.com/abstract=3435687> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3435687>

## REFERENCES

1. DSTU 3760:2006. *Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruktsii. Zahalni tekhnichni umovy* [DSTU 3760:2006. Rolled reinforcement for reinforced concrete structures. General technical conditions] (ISO 6935-2:1991, NEQ). Kyiv : State Consumer Standard of Ukraine, 2007, 27 p. (in Ukrainian).
2. GOST 12004-81. *Mezhhgosudarstvennyy standart. Stal' armaturnaya. Metody ispytaniya na rastyazheni* [GOST 12004-81. Interstate standard. Reinforcing steel. Tensile test methods]. Moscow, 1983, 10 p. (in Russian).
3. Bolshakov V.I., Volchuk V.M., Kotov M.A. and Fisunen D.P. *Aspekty zastosuvannia fraktalnoho modeliuвання* [Aspects of the application of fractal modeling]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metal Science and Heat Treatment of Metals]. 2022, vol. 2, № 2 (97), pp. 7–18. URL: <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.050722.7.858> (in Ukrainian).
4. Volchuk V.M. and Kotov M.A. Fractal express methods evaluation of a breaking stress of concrete. *Journal of Physics : Conference Series*. IOP Publishing. 2021, vol. 1926, no. 1, pp. 012023. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012023>
5. Volchuk Volodymyr, Bolshakov Volodymyr, Kotov Mykola, Konoplyanik Alexander and Chaikovska Hanna. Influence of the multifractal characteristics of a macrostructure on cement mortar strength. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2678, pp. 020024, 15.02.2023. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0118682>
6. Konoplianyk Oleksandr, Nikolay Kotov and Illia Iliev. Specific Design Features of Prefabricated Fire-Resistant Floor Slabs Made from Lightweight Concrete. *Slovak Journal of Civil Engineering*. Vol. 30.1, 2022, pp. 1–7.
7. Bolshakov V., Volchuk V. and Dubrov Yu. Fractals and properties of materials. Saarbrucken : Lambert Academic Publishing, 2016, 140 p.
8. Volchuk V., Klymenko I., Kroviakov S. and Orešković M. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism. *Tehnički glasnik – Technical Journal*. 2018, vol. 12, no. 2, pp. 93–97.
9. Ogunsanya I.G. and Hansson C.M. Influence of Sulphate on the Electronic and Electrochemical Properties of Passive Films Formed on Steel Reinforcing Bars. URL: <https://ssrn.com/abstract=3435687> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3435687>

Надійшла до редакції: 21.01.2023.