

**ВЛАСТИВОСТІ НАНОМОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ,  
АРМОВАНОГО ТЕКСТИЛЬНОЮ АРМАТУРОЮ**

**PROPERTIES OF NANOMODIFIED CONCRETE REINFORCED  
WITH TEXTILE REINFORCEMENT**

**Шишкіна О.О., к.т.н., доц. (Криворізький національний  
університет)**

**Shyhkina O.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Kryvyi Rih  
National University)**

*Показано результати дослідження впливу надмалих доз поверхнево-активних речовин на міцність дрібнозернистого бетону, армованого текстильною арматурою*

*The results of research into the physical and mechanical properties of modified textile-reinforced concrete are presented. Two types of high-strength reinforcing cloths made of glass and carbon fiber were used for the production of samples. In combination with a cement matrix, reinforcing cloths form a new class of construction structures - textile-reinforced, which are currently one of the most promising materials for use in construction. Compared to traditional reinforced building structures, structures reinforced with textile reinforcement have a number of undeniable advantages, such as high corrosion resistance, lower weight, etc. At the same time, there are modern methods of improving the physical and mechanical properties of concrete, which consist in the application of the mechanism of action of ultra-low concentrations of both organic and inorganic substances, as well as a mixture of fine-grained concrete aggregates. It is obvious that these methods will make it possible to further improve the physical and mechanical properties of textile-reinforced structures. The main goal of the work is to determine the effect of cement matrix activation on the strength of structures reinforced with textile reinforcement, due to the use of ultra-small doses of surface-active substances and a mixture of small concrete aggregates. To achieve the goal, it is necessary to establish how the strength characteristics of textile-reinforced concrete depend on the structure and composition of the concrete matrix. As part of the study, the received samples were tested for transverse bending, their limits of bending and compressive strength, as well as the effectiveness of reinforcement, were determined. It has been proven that samples of modified concrete with textile reinforcement have higher strength characteristics compared to samples of unmodified concrete. In addition, the deformation behavior of textile-reinforced concrete was analyzed. It was determined that the advantage of such concrete is a greater residual bearing capacity, which allows preserving the integrity of the structure without destruction after extreme mechanical effects.*

*Ключові слова: текстильно-армований бетон, активований дрібнозернистий бетон, міцність, деформативність*

*Keywords: textile-reinforced structures, activated fine-grained concrete, strength, deformability*

### **Постановка проблеми**

На даний час високоміцні текстильно-армовані бетони знаходять нові застосування у будівництві [1-5]. В якості текстильної арматури в основному застосовуються високоміцні та високомодульні полотна, такі як скляні, базальтові, вуглецеві та ін. [1,2]. У поєднанні з бетонною матрицею вони утворюють новий клас будівельних конструкцій – текстильно-армовані, які сьогодні є одними з найперспективніших матеріалів для будівництва. У порівнянні з традиційно армованими будівельними конструкціями, текстильно-армовані мають низку незаперечних переваг, таких як висока корозійна стійкість, менша вага тощо. Тому такий вид армування може знайти ефективне застосування у різних конструкціях, які поєднують у собі легкість, малі габарити та міцність – наприклад, оболонки, перегородки, а також елементи підсилення при реконструкції бетонних та залізобетонних споруд та виготовленні відносно тонких конструкцій порівняно з традиційним залізобетоном. На додаток до всього цього текстильна арматура має значну гнучкість та неповне використання міцнісних характеристик через відносно незначне деформування та міцність бетонної матриці.

На відміну від дискретних армуючих волокнистих елементів, саме в текстильних полотнах широко реалізуються властивості їх складових. Механізм роботи текстильно-армованого композиту з цементною матрицею значно відрізняється від роботи аналогічного композиту на полімерній матриці через величину подовження цементної матриці, яка значно менша за подовження матеріалу, який застосовується для армування. Тому цементна матриця зруйнується раніше, ніж будуть повністю реалізовані деформативні та міцнісні властивості матеріалу армування.

Структура армуючих елементів зазвичай складається з осередків певної геометричної форми, яка може змінюватися, що сприяє проникненню цементної матриці. Від розмірів осередків полотна залежить величина ступеню цілісності матриці і, як наслідок, механічні властивості при однаковому об'ємі армування. Чим більший розмір осередку, тим

вища міцність на зріз матриці, що збільшує характеристики міцності композиту.

### **Аналіз останніх досліджень**

За останні десятиліття розвитку текстильно-армованого бетону було присвячено значну кількість робіт. Зроблено системний підхід до вивчення композитних бетонних конструкцій [3].

У роботах [4–8] описані методи виготовлення і застосування текстильно-армованих конструкцій і посилених текстильно-армованими композитами бетонних конструкцій. Розглянуто залежність характеристик міцності композиту від структурних параметрів армуючих ровінгів і полотен [9-11]. У роботах [11-12] описуються результати застосування полімерів у текстильно-армованому бетоні та розглянуто можливість застосування вуглецевих волокнистих матеріалів і композитів на їх основі у бетонних конструкціях. У дослідженнях [13–16] вивчалися різні моделі, такі як комп'ютерна модель композитної конструкції з бетону, моделі, що описують поведінку конструкції під впливом тривалих навантажень і корозії. Існуючі способи підсилення залізобетонних конструкцій, включаючи підсилення композиційними матеріалами на основі вуглецевих волокон та полімерного в'язучого досліджені в роботі [17]. Збільшення міцності бетонних конструкцій може бути здійснено із застосуванням попередньо напружених текстильних полотен, а також модифікацією матриці мікронаповнювачами [18-21]. В цілому, технологія застосування армуючої сітки з високоміцних ровінгів має ряд переваг у порівнянні із залізобетоном.

У той же час із проаналізованих даних можна зробити висновок, що основними недоліками текстильно-армованих бетонів є значна різниця у міцності та деформативності бетонної матриці та текстильних полотен. Разом з тим, існують сучасні методи підвищення фізико-механічних властивостей бетонів [22-25], які полягають у застосуванні механізму дії надмалих концентрацій як органічних, так і неорганічних речовин. Означені методи вочевидь дозволять підвищити фізико-механічні властивості текстильно-армованих бетонів.

Основна мета роботи полягає у визначенні впливу на міцність текстильно-армованих бетонів модифікації цементної матриці застосуванням надмалих доз поверхнево-активних речовин. Для досягнення поставленої мети необхідно встановити, як характеристики міцності текстильно-армованого бетону залежать від величини надмалих доз поверхнево-активних речовин.

### **Виклад основного матеріалу**

За основний показник якості текстильно-армованого бетону прийнята його міцність при згині. Для можливості порівняння із результатами

досліджень інших дослідників, за прототип були покладена методика досліджень, прийнята в роботі [26]. Відповідно до цієї методики, для виготовлення дослідних зразків текстильно-армованих бетонів використовувався дрібнозернистий бетон із максимальною фракцією дрібного заповнювача 0.63 мм (межа міцності при стиску у віці 28 діб 26 МПа). В якості модифікатора цементної матриці застосовано вуглеводні, які мають нейтральну реакцію, тобто не збільшують лужність системи та не сприяють додатковому руйнуванню скловолокон. Розміри форм прямокутного перерізу для виготовлення зразків склали 56×200×20 мм. У кожен зразок було закладено по 24 полотна в поздовжньому напрямку склополотна симетрично до серединної площини зразка. Відстань між крайніми опорами становила 150 мм. Для випробувань кожного з видів армування було виготовлено серію із 6 зразків, які були випробувані на поперечний згин у віці 28 діб.

За результатами випробувань була визначена величина межі міцності при згині.

На рис. 1 показаний вплив кількості вуглеводню в бетоні на зміну міцності при згинанні текстильно-армованого бетону.

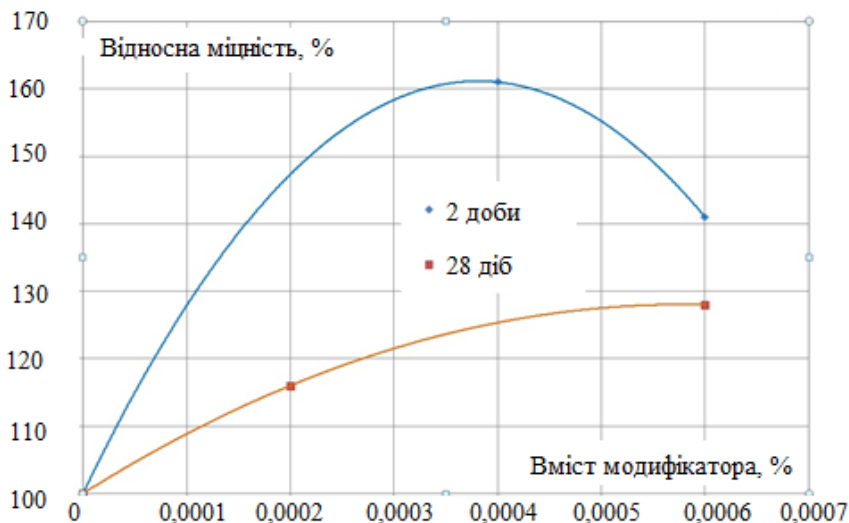


Рис. 1. Вплив вуглеводню на зміну міцності текстильно-армованого бетону

Аналізуючи отримані результати, можна зробити такі висновки. Межа міцності при згинанні неармованого бетону становить 5,2 МПа. Застосування армуючого полотна дає певний приріст у міцності: так, міцність зразків, армованих склоровінгами, досягає 9,5 МПа. Здатність зберігати форму та працездатність без руйнування при великих

деформаціях може знайти застосування у важливих областях, пов'язаних, наприклад, із сейсмостійкістю будівель і споруд.

Як показали експериментальні дані, ефективність застосування модифікатора бетону – вуглеводнів, при виробництві текстильно-армованих бетонів залежить від його кількості.

Зміну міцності при згині текстильно-армованого бетону в часі наведено на рис. 2.

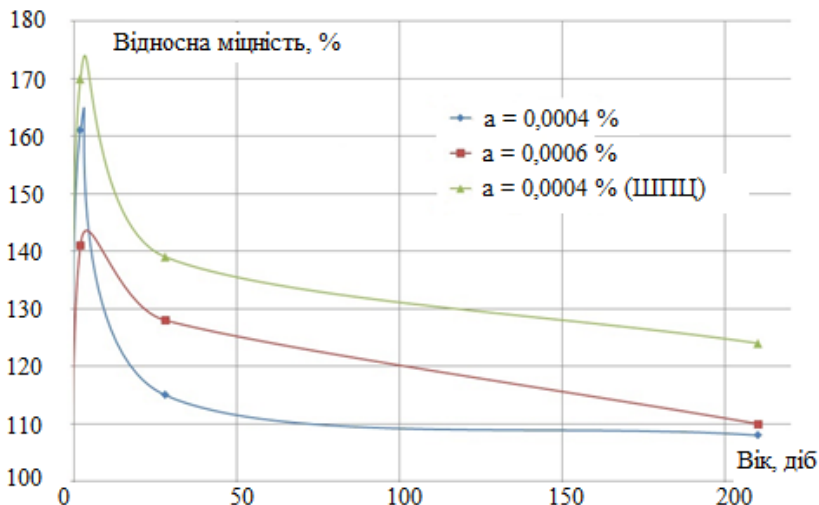


Рис. 2. Зміна міцності текстильно-армованих бетонів в часі (a – вміст модифікатора).

Для зразка модифікованого текстильно-армованого бетону на основі склоровінгів міцність при згинанні збільшилася у перші 7-12 діб на 70% з подальшим зменшенням ефективності (у віці 200 діб підвищення міцності бетону склало 10%). Найбільш ефективним виявилось застосування модифікації бетону на основі шлакопортландцементу.

Як показують результати дослідів (рис.2), ефективність застосування модифікатора, яка характеризується величиною відносної міцності, на протязі часу зменшується. Таким чином, застосування використаного модифікатора бетону при виготовленні текстильно-армованих бетонів ефективно в ранні терміни їх виготовлення і використання. Що особливо важливо при проведенні ремонтних робіт із підсиленням залізобетонних конструкцій.

Вплив активації бетону відбивається на величині найбільш суттєвого показника його міцності – міцності при згині (рис. 3).

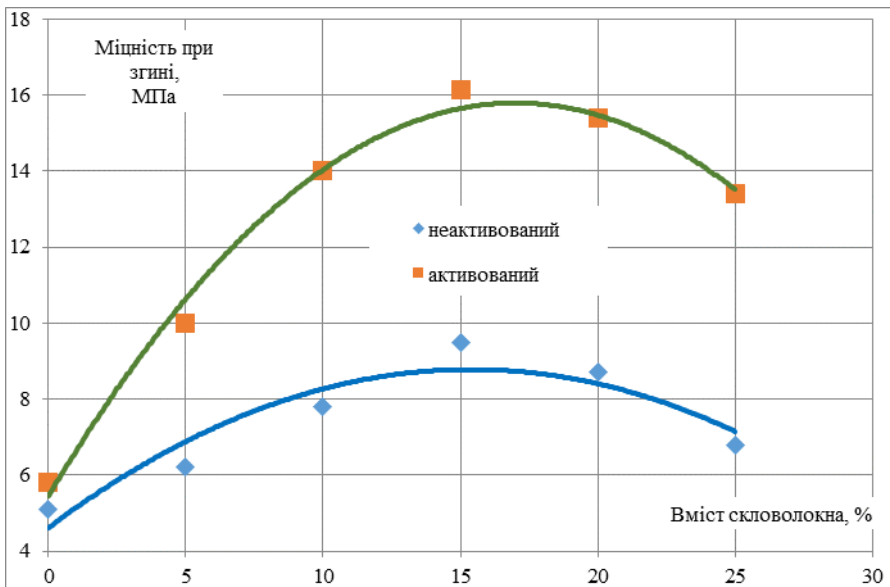


Рис. 3. Вплив активації бетону на величину його міцності при згині

### Висновки

Показано, що текстильне армування збільшує міцність композиту у порівнянні з неармуваними бетонами. Ефективність текстильного армування підвищується застосуванням модифікації бетонної матриці. В якості модифікатора бетону доцільно застосовувати органічні речовини, які не дають лужної реакції у воді. Визначено, що зразки бетону, виготовлені з використанням модифікатора, мають більшу міцність при згині, ніж зразки бетону, виготовлені без використання модифікатора. Встановлено, що ефективність дії модифікатора бетону проявляється у перші терміни після виготовлення текстильно-армованого бетону. Досліджувана технологія модифікації текстильно-армованого бетону може бути використана при створенні різних конструкцій, що мають малу товщину та високі характеристики міцності, а також для зменшення терміну будівництва.

### References

1. Biryukovich K.L., Biryukovich Yu.L. Biryukovich D.L. *Steklotsement v stroitelstve*. – K.: Budivelnik, 1986. 96.
2. Stolyarov O.N., Quadflieg T., Gries T. Effects of fabric structures on the tensile properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements. *Textile Research Journal*. 2015. 85(18). Pp. 1934–1945.

3. Löfgren I. Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction. Department of Civil and Environmental Engineering, Structural engineering. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 2005. 276 p.
4. Hegger J., Voss S. Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading. Proceedings of the 2nd International FIB Congress. Neapol, 5–8 June 2006. Pp. 1–12.
5. Lesovik V.S., Popov D.Yu., Glagolev Ye.S. Tekstil-beton – effektivnii armirovannii kompozit budushchego. Stroitelnie materialy. 2017. 3. p. 81–84.
6. Biryukovich K.L., Biryukovich Yu.L. Biryukovich D.L. Melkie suda iz steklotsementa i armotsementa. – L.: Sudostroenie, 1965. 164.
7. Voss S., Hegger J. Dimensioning of textile reinforced concrete structures. 1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC). 2006. Pp. 1–10.
8. Voss S. Design methods for textile reinforced concrete. 6th International PhD Symposium in Civil Engineering. 2006. Pp. 1–8.
9. Peled A., Cohen Z., Pasher Y., Roye A., Gries T. Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites. Cement & Concrete Composites. 2008. 30. Pp. 174–183.
10. Horstmann M., Shams A., Hegger J. Tragverhalten von Sandwichkonstruktionen aus textilbewehrtem Beton. 6 Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen). Berlin, 19.09.2011–20.09.2011. Pp. 329–340..
11. Paikov A.V., Stolyarov O.N., Semenov S.G., Melnikov B.E. Struktura i svoystva tekstilno armirovannogo betona. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, №7, 2015. 50-56
12. Kurlapov D.V., Kuvaev A.S., Rodionov A.V., Valeev R.M. Usilenie zhelezobetonnykh konstrukttsii s primeneniem polimernykh kompozitov. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2009. №3. C. 17–21.
13. Keil A., Raupach M. Improvement of the Load-Bearing Capacity of Textile Reinforced Concrete by the Use of Polymers. Professor Yoshihiko Ohama Symposium. 12<sup>th</sup> International Congress on Polymers in Concrete. 2007. Pp. 873–881.
14. Parancheva N.V., Nazmeeva T.V. Usilenie stroitelnykh konstrukttsii s pomoshchyu uglerodnykh kompozitsionnykh materialov. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2010.2. p.19–22.
15. Holler S., Butenweg C., Noh S.-Y., Meskouris K. Computational model of textile-reinforced concrete structures. Computers and Structures. 2004. 82. 1971–1979.
16. Orlowsky J. Modeling the long-term behavior of textile reinforced concrete. Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. Delft, the Netherlands. 16–19 June 2004. Pp. 155–163.
17. Orlowsky J., Antons U., Raupach M. Behaviour of Glass-Filament-Yarns in Concrete as a Function of Time and Environmental Conditions. Brittle Matrix Compositions 7. Elsevier Ltd. 2003. Pp. 233–241.
18. Orlowsky J., Raupach M. Modelling the loss in strength of AR-glass fibres in textile-reinforced concrete. Materials and Structures. 2006. 39. Pp. 635–643.
19. Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.I., Zinovev V.S., Umirov A.D. Voprosi usileniya zhelezobetonnykh konstrukttsii kompozitami: Eksperimentalnie issledovaniya osobennostei usileniya kompozitami izgibaemikh zhelezobetonnykh konstrukttsii. Naukovedenie. 2012. 4. 7-12.

20. Reinhardt H.W., Kruger M., Grosse C.U. Concrete Prestressed with Textile Fabric. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003. Vol. 1. №2. Pp. 231–239.
21. Otseikis R., Kichaite A., Skripiyunas G., Yakovlev G.I. *Mekhanicheskije kharakteristiki i plastichnost armirovannogo steklovoloknom betona s modifitsirovannoi matritsei. Stroitelnie materialy*. 2018. 12. p. 27–33.
22. Peled A. Pretensioning of fabrics in cement-based composites. *Cement and Concrete Research* 2007. 37. Pp. 805–813.
23. Shyshkina A. Shyshkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (2020) 907 012038*
24. Shyshkina A. Shyshkin A. Domnichev A. Concrete with a mixed aggregate and structured water *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2020. 51 vol.1. 49-53
25. Shyshkina A. *Betoni visokoї mitsnosti dlya kompozitnikh materialiv. Visnik krivorizkogo natsionalnogo universitetu*. 2022. 54. 42-46
26. Volkova A.A., Paikov A.V., Stolyarov O.N., Semenov S.G., Melnikov B.E. *Struktura i svoistva tekstilno armirovannogo betona. Inzhenerno-stroitel'nii zhurnal, №7, 2015. 50-55.*

### **Література**

1. Бирюкович К.Л., Бирюкович Ю.Л. Бирюкович Д.Л. *Стеклоцемент в строительстве*. – К.: Будівельник, 1986. 96.
2. Stolyarov O.N., Quadflieg T., Gries T. Effects of fabric structures on the tensile properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements. *Textile Research Journal*. 2015. №85(18). Pp. 1934–1945.
3. Löfgren I. *Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction*. Department of Civil and Environmental Engineering, Structural engineering. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 2005. 276 p.
4. Hegger J., Voss S. Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading. *Proceedings of the 2nd International FIB Congress*. Neapol, 5–8 June 2006. Pp. 1–12.
5. Лесовик В.С., Попов Д.Ю., Глаголев Е.С. *Текстиль-бетон – эффективный армированный композит будущего // Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 81–84.
6. Бирюкович К.Л., Бирюкович Ю.Л. Бирюкович Д.Л. *Мелкие суда из стеклоцемента и армоцемента*. – Л.: Судостроение, 1965. 164.
7. Voss S., Hegger J. Dimensioning of textile reinforced concrete structures. 1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC). 2006. Pp. 1–10.
8. Voss S. Design methods for textile reinforced concrete. 6th International PhD Symposium in Civil Engineering. 2006. Pp. 1–8.
9. Peled A., Cohen Z., Pasher Y., Roye A., Gries T. Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites. *Cement & Concrete Composites*. 2008. №30. Pp. 174–183.
10. Horstmann M., Shams A., Hegger J. *Tragverhalten von Sandwichkonstruktionen aus textilbewehrtem Beton*. 6 Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen). Berlin, 19.09.2011–20.09.2011. Pp. 329–340.
11. А., Пайков А.В., Столяров О.Н., Семенов С.Г., Мельников Б.Е. *Структура*



и свойства текстильноармированного бетона. Инженерно-строительный журнал, №7, 2015. 50-56

12. Курлапов Д.В., Куваев А.С., Родионов А.В., Валеев Р.М. Усиление железобетонных конструкций с применением полимерных композитов. Инженерно-строительный журнал. 2009. №3. С. 17–21.

13. Keil A., Raupach M. Improvement of the Load-Bearing Capacity of Textile Reinforced Concrete by the Use of Polymers. Professor Yoshihiko Ohama Symposium. 12<sup>th</sup> International Congress on Polymers in Concrete. 2007. Pp. 873–881.

14. Параничева Н.В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов. Инженерно-строительный журнал. 2010. №2. С. 19–22.

15. Holler S., Butenweg C., Noh S.-Y., Meskouris K. Computational model of textile-reinforced concrete structures. Computers and Structures. 2004. №82. 1971–1979.

16. Orlowsky J. Modeling the long-term behavior of textile reinforced concrete. Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. Delft, the Netherlands. 16–19 June 2004. Pp. 155–163.

17. Orlowsky J., Antons U., Raupach M. Behaviour of Glass-Filament-Yarns in Concrete as a Function of Time and Environmental Conditions. Brittle Matrix Compositions 7. Elsevier Ltd. 2003. Pp. 233–241.

18. Orlowsky J., Raupach M. Modelling the loss in strength of AR-glass fibres in textile-reinforced concrete. Materials and Structures. 2006. №39. Pp. 635–643.

19. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций. Науковедение. 2012. 4. 7-12.

20. Reinhardt H.W., Kruger M., Grosse C.U. Concrete Prestressed with Textile Fabric. Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. Vol. 1. 2. Pp. 231–239.

21. Оцейкис Р., Кичайте А., Скрипкюнас Г., Яковлев Г.И. Механические характеристики и пластичность армированного стекловолокном бетона с модифицированной матрицей // Строительные материалы. 2018. 12. С. 27–33.

22. Peled A. Pre-tensioning of fabrics in cement-based composites. Cement and Concrete Research 2007. №37. Pp. 805–813.

23. Shyshkina A. Shyshkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (2020) 907 012038

24. Shyshkina A. Shyshkin A. Domnichev A. Concrete with a mixed aggregate and structured water Norwegian Journal of development of the International Science. 2020. №51 vol.1. 49-53

25. Шишкіна А. Бетони високої міцності для композитних матеріалів. Вісник криворізького національного університету. 2022. 54. 42-46

26. Волкова А.А., Пайков А.В., Столяров О.Н., Семенов С.Г., Мельников Б.Е. Структура и свойства текстильно-армированного бетона. Инженерно-строительный журнал, 7, 2015. 50-55.