

УДК 69.059

DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_6\_242

**УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**TEXTILE INDUSTRY BUILDING STRENGTHENING  
WITH EXTERNAL REINFORCEMENT WITH COMPOSITE MATERIALS**

*В.И. РИМШИН, В.Л. КУРБАТОВ, Е.С. КЕЦКО, П.С. ТРУНТОВ*

*V.I. RIMSHIN, V.L. KURBATOV, E.S. KETSKO, P.S. TRUNTOV*

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук,  
Северо-Кавказский филиал Белгородского государственного  
технологического университета им. В.Г. Шухова)

(National Research Moscow State University of Civil Engineering,  
Scientific-Research Institute of Building Physics  
of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences,  
North Caucasus branch of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov")

E-mail: v.rimshin@niisf.ru; kurbatov\_bgtu@list.ru; kkuzzina@mail.ru; pavel\_truntov@mail.ru

*В статье рассмотрен один из самых эффективных и инновационных способов проектирования усиления железобетонных ребристых плит покрытия производственных зданий предприятий текстильной промышленности. Рассмотренный способ заключается в выполнении внешнего армирования ребер плит перекрытия с использованием композитных материалов на основе углеродных волокон. Рассмотрено промышленное здание, представляющее собой одноэтажный каркас с железобетонными колоннами и металлическими фермами. Сборные железобетонные ребристые плиты опираются на металлические фермы с шагом 6 м и имеют габариты 2,98x0,3x5,97 м. Необходимость усиления вызвана пониженной фактической прочностью бетона. Представлены физико-механические характеристики используемых материалов усиления. Произведен поверочный расчет с учетом фактической средней прочности бетона. Расчет производился по деформационной модели с учетом физической нелинейности бетона, а также с учетом напряженно-деформированного состояния конструкции до усиления. По результатам расчета усиления с применением композитных материалов на основе углеродных волокон было установлено необходимое количество применяемого для усиления материала, а также сделаны обобщающие выводы.*

*The article is devoted to one of the most effective and innovative ways of designing the reinforced concrete ribbed slabs strengthening of textile industry buildings. The considered method consists in external reinforcement of floor slabs ribs using composite materials based on carbon fibers. The industrial building is considered. It is a one-story frame building with reinforced concrete columns and metal trusses. Prefabricated reinforced concrete ribbed slabs are based on metal trusses with a pitch of 6 m and have dimensions 2.98x0.3x5.97 m. This strengthening method is caused by the reduced actual concrete strength. The reinforcement materials physical and mechanical characteristics are presented. A verification calculation was carried out, the actual average concrete strength being taken into account. The calculation was done according to the deformation model, also the physical nonlinearity, as well as the stress-strain state of the structure before strengthening were considered. Based on the calculating results of strengthening using composite materials with carbon fibers base, the required amount of material used for reinforcement was determined, and general conclusions were drawn.*

**Ключевые слова:** композитные материалы, углеродное волокно, усиление конструкций, обследование производственных зданий, текстильная промышленность.

**Keywords:** composite materials, carbon fiber, structural reinforcement, industrial buildings surveying, textile industry.

#### *Введение*

Здания предприятий текстильной промышленности имеют ряд особенностей эксплуатации – повышенные требования к температурно-влажностному режиму и чистоте воздуха производственных помещений, размещение цехов с определенными технологическими процессами, большие пространства внутри зданий, обеспечение непрерывного и безопасного процесса производства. В связи с этим одним из самых эффективных, современных и удовлетворяющих всем требованиям к зданиям предприятий текстильной промышленности способом восстановления эксплуатационных параметров железобетонных строительных конструкций является усиление углеволокном, применение композитных углепластиковых материалов. Необходимость восстановления или усиления строительных конструкций определяется путем проведения технического обследования здания [1...5].

В данной статье рассмотрен вариант проектирования усиления железобетонной ребристой плиты покрытия здания с применением композитных материалов на основе

углеродного волокна в виде внешнего армирования.

Учитывая особенности эксплуатации зданий предприятий текстильной промышленности, наиболее распространенными дефектами и повреждениями железобетонных ребристых плит покрытия являются нормальные и наклонные трещины, появляющиеся из-за снижения прочности бетона, коррозия арматуры в результате нарушения защитного слоя бетона и воздействия агрессивных сред. Также одними из характерных повреждений являются сколы бетона с оголением арматуры, возникающие из-за механических повреждений при эксплуатации здания. Вследствие воздействия агрессивных сред, попеременного увлажнения и высыхания возникают шелушения поверхностей и отслоение лещадок бетона.

Конструктивная схема рассматриваемого здания представляет собой одноэтажный каркас с железобетонными колоннами и металлическими фермами. Пространственная жесткость здания в поперечном направлении обеспечивается рамами, а в продольном направлении диском покрытия и вертикальными связями между колоннами.

В большепролетном здании сборные железобетонные ребристые плиты опираются на металлические фермы с шагом 6 метров. Фермы опираются на железобетонные колонны.

В ходе проведения технического обследования здания была выявлена необходимость усиления ребер плит покрытия. Выявленная необходимость усиления была вызвана пониженной фактической прочностью бетона плиты покрытия [6...8].

В качестве исходных данных для проектирования были использованы:

- проектная и исполнительная документация на исследуемое здание;
- материалы заключений о фактической прочности бетона.

### *Материалы и методы*

Усиление ребер плиты покрытия предусматривается путем наклеивания внешнего армирования из высокопрочных композитных материалов на основе углеродных волокон [9...10].

Углеволоконное покрытие в виде ткани характеризуется повышенным модулем упругости и значительной прочностью на разрыв. Оно не подвержено коррозии и позволяет увеличивать несущую способность конструкций без увеличения размеров сечений элементов. Физико-механические свойства по данным производителя представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Свойство	Значение
Прочность на разрыв, МПа	>4800
Модуль упругости Ю МПа	230000
Относительная деформация при разрыве, %	2,1
Адгезия к бетону, МПа	>3
Плотность, г/м <sup>2</sup>	300
Толщина сухого покрытия, мм	0,167
Площадь сопротивления на единицу ширины в 1 м, мм <sup>2</sup>	167,6

Углеволоконное покрытие устанавливается "сухим" способом, с применением следующих составов:

- эпоксидный грунт для подготовки основания;
- шпаклевка для выравнивания поверхности и заделки отверстий;
- пропитка для укладки покрытия "сухим" способом;
- жидкий эпоксидный двухкомпонентный состав, не содержащий растворителей;
- гиксотропная двухкомпонентная шпаклевка на эпоксидной основе из мелкофракционных наполнителей и специальных добавок;
- полимерный эпоксидный состав средней вязкости, не содержащий растворителей, для пропитки покрытия и укладки покрытия "сухим" способом [11...15].

Метод усиления плиты покрытия с применением композитных материалов на основе углеволоконных тканей применен в виде внешнего армирования.

Данная методика усиления повышает трещиностойкость изгибаемых элементов и уменьшает прогибы за счет совместной работы растянутого бетона и внешней арматуры, распределенной по поверхности бетона [16...18].

Для определения площади поперечного сечения внешнего армирования из композитных материалов был проведен поверочный расчет участка покрытия с учетом фактической средней прочности бетона, полученной по данным технического обследования рассматриваемых конструкций. Расчет проводился по деформационной модели с учетом физической нелинейности бетона и учетом напряженно-деформированного состояния конструкции, полученной до усиления [19], [20].

### *Результаты и обсуждения*

Предварительный расчет ребристой плиты шириной 2,98 м, высотой 0,3 м, длиной 5,97 м:

$$b'_f = 2,98 - 2 \times 0,015 = 2,95 \text{ м,}$$

$$h_0 = 270 \text{ мм} = 0,27 \text{ м,}$$

$$b = 0,075 \times 2 = 0,15 \text{ м,}$$

Постоянная нагрузка на плиту покрытия приведена в табл. 2 (сбор нагрузок на плиту покрытия).

$$\begin{aligned} & \text{- вес плиты на } 1 \text{ м}^2 \text{ площади } g_{пл} = \\ & = 1,5 \dots 2,0 \text{ кН/м}^2 \end{aligned}$$

Т а б л и ц а 2

№	Вид нагрузки	Нормированная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>
1	Рулонный материал, 10 рулонов	0,50	1,2	0,60
2	Цементная стяжка, h=0,046 м	0,828	1,3	1,08
3	Утеплитель, h=0,046 м	1,80	1,2	1,96
4	Железобетонная плита	2,00	1,1	2,20
5	Итого постоянная нагрузка	4,13	-	4,84
6	Снег	1,29	1,4	1,80
7	Всего	5,42	-	6,64

Класс бетона В22,5, R<sub>b</sub> = 13,2 МПа.

Расчетный пролет b<sub>0</sub> = 6,0 – 0,1 =

Определение площади и класса рабочей

= 5,9 м.

арматуры:

$$M = \frac{q \ell_0^2}{8} = \frac{2,95 \cdot 6,64 \cdot 5,90^2}{8} = 85,3 \text{ кН} \cdot \text{м;}$$

$$A = \frac{M}{R_b h_0^2 b'_f} = \frac{85,3}{13200 \cdot 2,95 \cdot 0,27^2} = 0,030;$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2A} = 1 - \sqrt{1 - 0,060} = 0,031,$$

Нейтральная ось проходит в полке:

$$\eta = 1 - 0,5\xi = 1 - 0,5 \cdot 0,031 = 0,985.$$

При арматуре класса А400:

$$A_s = \frac{M}{R_s h_0 \eta} = \frac{85,3}{360000 \cdot 0,27 \cdot 0,985} = 0,000891 \text{ м}^2,$$

2Ø25 мм.

При арматуре класса А500:

$$A_s = \frac{85,3}{500000 \cdot 0,27 \cdot 0,985} = 0,000641 \text{ м}^2,$$

2Ø20 мм

$$A_s = 0,000628 \text{ м}^2.$$

Определение фактической несущей способности плиты:

$$\begin{aligned} M^f &= R_s^f A_s^f h_0 \eta = 454600 \cdot 0,000534 \cdot 0,27 \times 0,986 = \\ &= 64,6 \text{ кН} \cdot \text{м} < M^p = 85,3 \text{ кН} \cdot \text{м.} \end{aligned}$$

Несущая способность уменьшена на 25...30%.

Расчет усиления с применением композитных материалов на основе углеродных волокон

Толщина применяемой углеволоконной ткани – 0,167 мм, ширина – 300 мм.

$E_i = 230$  ГПа;  $R_i = 4800$  МПа,  $\varepsilon_i = 1,6\%$ .

Рассматриваемым материалом планируется выполнить усиление сборных железобетонных ребристых плит шириной 2980 мм, высотой 300 мм и длиной 5970 мм.

$$\frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{\Delta \ell}{5950} = \frac{0,016 \cdot 5950}{5950} = 16 \times 10^{-3};$$

$$R_{ft} = \frac{C_E R_F}{\gamma_f} = \frac{0,9 \cdot 4800}{1,1} = 3927 \text{ МПа};$$

$$\varepsilon_{ft} = \frac{C_E \varepsilon_f}{\gamma_f} = \frac{0,9 \cdot 0,016}{1,1} = 0,0131;$$

$$E_{ft} = E'_f = \frac{R_f}{\varepsilon_f} = \frac{4800}{0,016} = 300000 \text{ МПа} = 300 \text{ ГПа};$$

$$R_m = \frac{1}{60 \varepsilon_{ft}} \left( 1 - \frac{n E_{ft} t_f}{360000} \right) = \frac{1}{60 \cdot 0,0131} \left( 1 - \frac{3 \cdot 300000 \cdot 0,167}{360000} \right) = 0,76 < 0,9;$$

$$\varepsilon_{fu} = K_m \varepsilon_{ft} = 0,76 \cdot 0,0131 = 8,384 \cdot 10^{-3};$$

$$\sigma_{fu} = E'_f \varepsilon_{fu} = 300000 \cdot 8,384 \times 10^{-3} = 2515,2 \text{ МПа} = R_{fu}.$$

Высота сжатой зоны элемента с усилением:

$$x = \frac{R_{fu} A_f + R_s^f A_s^f}{R_b^f \times h_f'};$$

$$M_{ubt} = A_f R_{fu} (h - 0,5x) + A_s^f R_s^f (h_0 - 0,5x) = A_f R_{fu} h + A_s^f R_s^f h_0 - 0,5(A_f \times R_{fu} + A_s^f R_s^f);$$

$$x = \frac{A_f R_{fu} h + A_s^f R_s^f h_0 - M_{ubt}}{0,5 \times (A_f R_{fu} + A_s^f R_s^f)};$$

$$\frac{25152 A_f + 4546 \cdot 5,34}{107 \cdot 295} = \frac{A_f \cdot 25152 \cdot 30 + 4546 \cdot 5,34 \cdot 27 - 853000}{0,5 \cdot (25152 A_f + 4546 \cdot 5,34)};$$

$$0,80 A_f + 0,77 = \frac{62,17 A_f - 16,28}{1,04 A_f + 1};$$

$$(0,80 A_f + 0,77)(1,04 A_f + 1) = 62,17 A_f - 16,28;$$

$$0,832 \times A_f^2 + 0,80 A_f + 0,80 A_f + 0,77 = 62,17 A_f - 16,28;$$

$$0,832 A_f^2 - 60,57 A_f + 17,05 = 0;$$

$$A_f = \frac{60,57 - \sqrt{60,57^2 + 4 \cdot 0,832 \cdot 17,05}}{2 \cdot 0,832} = 0,28 \text{ см}^2;$$

$$\delta = \frac{A_f}{\ell} = \frac{0,28}{7,5} = 0,04 \text{ см} = 0,4 \text{ мм}.$$

По результатам расчета усиления ребристой плиты необходимо принять 3 слоя

ткани толщиной 0,167 мм с характеристиками, приведенными в табл. 1. Излишние

усиления конструкций могут привести к неожиданным схемам разрушения. Поэтому необходимо придерживаться рациональной степени усиления в диапазоне 10...60% от начальной несущей способности усиливаемой конструкции. Схема усиления ребристой плиты перекрытия с использованием композитных материалов на основе углеродного волокна представлена на рис. 1.

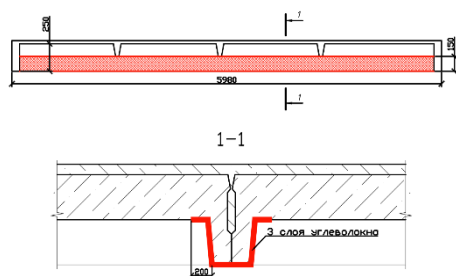


Рис. 1

## ВЫВОДЫ

В результате усиления обеспечиваются нормативные требования по деформативности и несущей способности конструкций покрытия при фактической пониженной прочности бетона.

Для выполнения усиления в зданиях предприятий текстильной промышленности необходимо выполнить очистку поверхности железобетонных плит, устранить имеющиеся дефекты и повреждения (при наличии). Затем поверхность обрабатывается праймером, состоящим из 2-компонентной грунтовки на эпоксидной основе. Применение данной грунтовки обеспечивает пломбирование пористости и возможные воздушные пустоты, а также гарантирует хорошее сцепление слоев материала усиления к поверхности усиливаемой конструкции.

Вследствие высокой эффективности усиления с применением композитных материалов на основе углеволокна при проектировании необходимо учитывать индивидуальный подход к каждой усиливаемой плите.

Проектирование усиления плит необходимо начинать с минимально тонкой ткани, постепенно увеличивая ее толщину и коли-

чество слоев. Не рекомендуется проектировать усиления конструкций на величину, превышающую 60% ее несущей способности. При увеличении этого порога необходимо проверять несущую способность конструкции на совместное действие момента и поперечной силы в опасных сечениях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Rumyantseva V.E, Konovalova V.S. Composite reinforcement as a way to increase the durability of building structures // Key Engineering Materials. – 2020, №869, P. 336...341.
2. Erofeev V. Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments // Procedia Engineering. – № 165, 2016. P. 1444...1447.
3. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Konovalova V.S, Goglev I.N. The influence of structure formation conditions of the composite on the mass transfer processes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". – 2020, P. 042047.
4. Жуков Е.М., Кропотов Ю.И., Лугинин И.А., Полошков С.И., Легаева Л.А. Коррозия железобетонных конструкций и причины ее возникновения // Молодой ученый. – 2016, №7, С.78...80.
5. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Konovalova V.S., Narmaniya B. E. Joint work of cement concrete and composite reinforcement with periodic profile winding // Materials Science Forum. – 2020, № 974. P.119...124.
6. Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Русанова А.И. Свойства синтетических полиэлектролитов и перспективы их применения для отделки текстильных материалов // Журнал прикладной химии. – 2014. Т.87, № 9. С. 1193...1203.
7. Римшин В.И., Варламов А.А. Трехмерная модель упругого поведения композита // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 3. С. 63...68.
8. Varlamov A.A., Tverskoi S.Y., Gavrilov V.B. Charting standard concrete based on the theory of degradation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. P. 022030.
9. Kuzina E., Rimshin V. Strengthening of Concrete Beams with the Use of Carbon Fiber // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019, № 983. P.911...919.
10. Овчинников И.И., Мигунов В.Н. Долговечность железобетонной балки в условиях хлоридной агрессии // Строительные материалы. – 2012, № 8. С.76...84.
11. Римшин В.И., Пудова А.А., Шубин Л.И. Оценка эффективности использования фотоэлектрических систем при эксплуатации жилого дома // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 3. С. 287...293.
12. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспе-

чения долговечности железобетонных конструкций // Академия. Архитектура и строительство. – 2015, №1. С.93...102.

13. Rimshin V., Truntov P. Calculation and Strengthening of Reinforced Concrete Floor Slab by Composite Materials // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020, № 1116. P. 438...445.

14. Одицова О.И., Румянцев Е.В., Смирнова А.С., Петрова Л.С., Румянцева В.Е. Микрокапсулирование биологически активных веществ с использованием биосовместимых полиэлектролитов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 1. С. 60...65.

15. Telichenko V., Rimshin V., Kuzina E. Methods for calculating the reinforcement of concrete slabs with carbon composite materials based on the finite element model // MATEC Web of Conferences. – 2018, №251. P. 04061.

16. Чеснокова Т.В., Румянцева В.Е., Логинова С.А. Моделирование процесса биоразрушения бетона на предприятиях текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 1. С. 206...212.

17. Rimshin V., Truntov P. An integrated approach to the use of composite materials for the restoration of reinforced concrete structures // E3S Web of Conferences. – 2019, № 135. P. 03068.

18. Roshchina S., Ezzi H., Shishov I., Lukin M., Sergeev M. Evaluation of the deflected mode of the monolithic span pieces and preassembled slabs combined action // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017, P. 012075.

19. Бережнов К.П., Суплецов В.С. Прогнозирование долговечности конструкций фабрик алмазодобывающей промышленности // Промышленное и гражданское строительство. – 2012, №4. С. 13...15

20. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Evsyakov A.S. Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion // Magazine of Civil Engineering. – 2018, №7(83) P. 198...207.

## REFERENCES

1. Romyantseva V.E, Konovalova V.S. Composite reinforcement as a way to increase the durability of building structures // Key Engineering Materials. – 2020, №869, P. 336...341.

2. Erofeev V. Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments // Procedia Engineering. – № 165, 2016. P. 1444...1447.

3. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. The influence of structure formation conditions of the composite on the mass transfer processes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". – 2020, P. 042047.

4. Zhukov E.M., Kropotov Yu.I., Luginin I.A., Poloshkov S.I., Legaeva L.A. Corrosion of reinforced

concrete structures and the causes of its occurrence // Young scientist. - 2016, No. 7, P. 78 ... 80.

5. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Konovalova V.S., Narmaniya B. E. Joint work of cement concrete and composite reinforcement with periodic profile winding // Materials Science Forum. – 2020, № 974. P.119...124.

6. Kuzmenko V.A., Odintsova O.I., Rusanova A.I. Properties of synthetic polyelectrolytes and prospects for their use for finishing textile materials // Journal of Applied Chemistry. – 2014. V.87, No. 9. S. 1193...1203.

7. Rimshin V.I., Varlamov A.A. Three-dimensional model of the elastic behavior of the composite // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2018, No. 3. S. 63 ... 68.

8. Varlamov A.A., Tverskoi S.Y., Gavrilov V.B. Charting standard concrete based on the theory of degradation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. P. 022030.

9. Kuzina E., Rimshin V. Strengthening of Concrete Beams with the Use of Carbon Fiber // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019, № 983. P. 911...919.

10. Ovchinnikov I.I., Migunov V.N. Durability of a reinforced concrete beam under conditions of chloride aggression. Stroitel'nye materialy. – 2012, No. 8. P.76...84.

11. Rimshin V.I., Pudova A.A., Shubin L.I. Evaluation of the effectiveness of the use of photovoltaic systems in the operation of a residential building. Izv. universities. Technology of the textile industry. - 2018, No. 3. S. 287 ... 293.

12. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures // Academy. Architecture and construction. - 2015, No. 1. P.93...102.

13. Rimshin V., Truntov P. Calculation and Strengthening of Reinforced Concrete Floor Slab by Composite Materials // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020, No. 1116. P. 438...445.

14. Odintsova O.I., Romyantsev E.V., Smirnova A.S., Petrova L.S., Romyantseva V.E. Microencapsulation of biologically active substances using biocompatible polyelectrolytes // Izv. universities. Technology of the textile industry. - 2021, No. 1. S. 60 ... 65.

15. Telichenko V., Rimshin V., Kuzina E. Methods for calculating the reinforcement of concrete slabs with carbon composite materials based on the finite element model // MATEC Web of Conferences. - 2018, No. 251. P. 04061.

16. Chesnokova T.V., Romyantseva V.E., Loginova S.A. Modeling of the process of concrete biodegradation at the enterprises of the textile industry // Izv. universities. Technology of the textile industry. - 2020, No. 1. S. 206 ... 212.

17. Rimshin V., Truntov P. An integrated approach to the use of composite materials for the restoration of reinforced concrete structures // E3S Web of Conferences.- 2019, No. 135. P. 03068.

18. Roshchina S., Ezzi H., Shishov I., Lukin M., Sergeev M. Evaluation of the deflected mode of the monolithic span pieces and preassembled slabs combined action // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017, P. 012075.

19. Berezhnov K.P., Supletsov V.S. Forecasting the durability of structures of diamond mining factories. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. - 2012, No. 4. S. 13...15/

20. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Evsyakov A.S. Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion // Magazine of Civil Engineering. – 2018, №7(83) P. 198...207.

Рекомендована секцией "Строительная теплофизика и энергосбережение" Научно-технического Совета НИИСФ РААСН. Поступила 25.10.21.

---