

УДК 691.328.4

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-173-182](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182)

EDN: IZTUTQ

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ СЖАТЫХ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ АРМАТУРОЙ

В.Ф. СТЕПАНОВА<sup>1</sup>, д-р техн. наук  
Т.А. МУХАМЕДИЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук  
К.Л. КУДЯКОВ<sup>1,2,✉</sup>, канд. техн. наук  
А.В. БУЧКИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук  
Е.Ю. ЮРИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» Минобрнауки России (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

## Аннотация

**Введение.** Многие железобетонные конструкции, подвергающиеся воздействиям различных агрессивных сред, работают в условиях внецентренного сжатия. Замена в таких конструкциях стальной арматуры на композитную полимерную (АКП) позволит значительно повысить их долговечность и снизить эксплуатационные издержки, однако ее применение сдерживается недостаточной изученностью вопросов, касающихся методов их проектирования. Большинство мировых нормативно-технических документов по проектированию бетонных конструкций, армированных АКП указывают о необходимости проведения детальных исследований напряженно-деформированного состояния подобных конструкций при сжатии.

**Целью** исследования являлось изучение влияния продольного и поперечного армирования на несущую способность сжатых бетонных образцов с продольным армированием стеклокомпозитными полимерными стержнями (АСК).

**Материалы и методы.** Исследования выполнены на бетонных образцах-призмах с различными параметрами продольного и поперечного армирования. Рассмотрены пять видов стеклокомпозитной арматуры, отличающихся физико-механическими характеристиками и параметрами анкерочного слоя. Поперечное армирование образцов выполнено из металлических хомутов при их различном шаге. Испытания опытных образцов выполняли на центральное сжатие статической нагрузкой.

**Результаты.** Получены показатели прочности сжатых бетонных образцов, армированных стеклокомпозитной арматурой. Установлено увеличение до 19 % прочности армированных АСК сжатых бетонных элементов в сравнении с образцами без армирования.

**Выводы.** Прочность сжатых бетонных элементов при их армировании стеклокомпозитной арматурой повышается. Степень повышения прочности таких элементов зависит от количества продольной и шага поперечной арматуры. Влияние вида анкерочного слоя АСК и значений ее сопротивления сжатию на прочность сжатых бетонных элементов в выполненных исследованиях не установлено.

**Ключевые слова:** арматура композитная полимерная, стеклокомпозит, прочность при сжатии, сжатые бетонные элементы

**Для цитирования:** Степанова В.Ф., Мухамедиев Т.А., Кудяков К.Л., Бучкин А.В., Юрин Е.Ю. Экспериментальные исследования прочности сжатых бетонных элементов, армированных композитной полимерной арматурой. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;33(2):173–182. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-173-182](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182)

#### **Вклад авторов**

Степанова В.Ф. – общее руководство работой.

Мухамедиев Т.А. – разработка программы испытаний, анализ результатов испытаний.

Кудяков К.Л., Бучкин А.В. – разработка и реализация программы испытаний, обработка и анализ результатов.

Юрин Е.Ю. – реализация программы испытаний, обработка и анализ результатов.

#### **Финансирование**

Исследование выполнено в рамках договорных работ между АО «НИЦ «Строительство» и ФАУ «ФЦС».

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 25.04.2022

Поступила после рецензирования 18.05.2022

Принята к публикации 24.05.2022

## **EXPERIMENTAL STUDIES INTO THE STRENGTH OF COMPRESSED CONCRETE ELEMENTS REINFORCED WITH FIBER-REINFORCED POLYMER REBARS**

V.F. STEPANOVA<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Engineering)

T.A. MUKHAMEDIEV<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Engineering)

K.L. KUDYAKOV<sup>1,2,✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

A.V. BUCHKIN<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

E.Yu. YURIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institut'skaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>2</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

#### **Abstract**

*Introduction.* Reinforced concrete structures affected by various aggressive environments operate under off-center compression. Fiber-reinforced polymer (FRP) rebars replacing steel reinforcement in these structures are capable of increasing their durability and decreasing operating costs. However, the use of FRP rebars is limited by insufficient previous research into the methods of designing such constructions. The majority of international regulatory technical documents concerning the design of concrete structures reinforced with FRP rebars indicate the necessity of detailed studies into the stress-strain state of these structures under compression.

*Aim.* To study the effect of longitude and shear reinforcement on load-bearing characteristic of stressed concrete samples reinforced with longitudinal glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebars.

*Materials and methods.* The study was carried out using a concrete prism sample with different parameters of longitudinal and shear reinforcement. Five types of GFRP rebars differing in mechanical properties, as well as anchorage were considered. Shear reinforcement of the samples was performed with metal clamps at different pitches. The sample testing was fulfilled using centric compression with static load.

*Results.* The strength values of compressed concrete samples reinforced with GFRP rebars were obtained. An increase of up to 19 % in the strength of compressed concrete samples reinforced with GFRP rebars was found in comparison with non-reinforced samples.

*Conclusions.* The strength of compressed concrete elements increases when reinforced with glass fiber-reinforced polymer rebars. The degree of increase in the strength of such elements depends on the number of longitudinal reinforcements, as well as shear reinforcement pitch. The effect of the type of anchorage of GFRP rebars along with the values of its compression resistance on the strength of compressed concrete elements have not been established.

**Keywords:** fiber-reinforced polymer (FRP) rebar, fiber-glass composite, compression strength, compressed concrete elements

**For citation:** Stepanova V.F., Mukhamediev T.A., Kudyakov K.L., Buchkin A.V., Yurin E.Yu. Experimental studies into the strength of compressed concrete elements reinforced with fiber-reinforced polymer rebars. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):173–182. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-173-182](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182)

#### **Author contribution statements**

Stepanova V.F. – general supervision.

Mukhamediev T.A. – development of the test program, analysis of the results.

Kudyakov K.L., Buchkin A.V. – development and implementation of the test program, processing and analysis of the results.

Yurin E.Yu. – implementation of the test program, processing and analysis of the results.

#### **Funding**

The study was carried out within the framework of contractual works of JSC Research Center of Construction and Federal Autonomous Institution "Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction" (FAU "FCC").

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 25.04.2022*

*Revised 18.05.2022*

*Accepted 24.05.2022*

## **Введение**

Многие внецентренно сжатые конструкции эксплуатируются в условиях воздействия различных агрессивных сред. Замена в таких конструкциях стальной арматуры на композитную полимерную (далее – АКП) позволит значительно повысить их долговечность и снизить эксплуатационные издержки.

Согласно указаниям отечественных и зарубежных нормативных документов по проектированию армированных АКП конструкций (за исключением [1]) расчеты по прочности выполняют без учета работы арматуры в сжатой зоне сечения. Это обусловлено недостаточной изученностью работы АКП в сжатой зоне сечения элемента.

Результаты исследований механических свойств АКП при осевом сжатии носят разнородный характер, обусловленный несовершенствами методов испытаний, а также неоднородностью свойств АКП, зависящих от ее состава, характеристик сырьевых компонентов и технологии изготовления АКП. В связи с этим установленные испытаниями механические

характеристики АКП при сжатии [2–13] значительно различаются: прочность АКП при сжатии составляла от 20 до 95 % от прочности при растяжении, а модуль упругости при сжатии – от 30 до 80 % его значения при растяжении.

В [9, 10] установлена повышенная несущая способность армированных АКП сжатых бетонных образцов по сравнению с образцами без армирования. Отмечается влияние на несущую способность шага поперечных хомутов (стальных или из АКП).

В большинстве выполненных исследований сделан вывод о необходимости дальнейшего исследования влияния работы композитной арматуры в сжатой зоне сечения на прочность сжатых элементов.

## Цель

Целью исследований являлось изучение влияния продольного и поперечного армирования на несущую способность сжатых бетонных образцов с продольными стеклокомпозитными полимерными стержнями (АСК).

## Материалы и методы

Объектом исследований являлись бетонные образцы в виде призм с геометрическими размерами  $150 \times 150 \times 600$  мм ( $b \times h \times l$ ). Испытания проведены на 39 (13 серий по 3 образца) бетонных образцах с различными параметрами продольного и поперечного армирования (табл. 1). Принципиальные схемы армирования образцов приведены на рис. 1.

При изготовлении образцов в качестве продольной арматуры использованы пять видов АСК, соответствующей требованиям ГОСТ 31938 [14] (табл. 2), и поперечные гнутые хомуты, выполненные из стальной арматуры  $\varnothing 6$  А240 по ГОСТ 5781-82. Механические характеристики бетона определялись по результатам испытаний контрольных образцов по ГОСТ 24452 [15].

Для использованных видов АСК определены номинальный диаметр и плотность по методам ГОСТ 31938 [14] (табл. 2), предел прочности  $R_{f,n}$  и модуль упругости  $E_f$  при растяжении (по методам ГОСТ 32492 [16]); предел прочности  $R_{fc}$  и модуль упругости  $E_{fc}$  при сжатии (по ГОСТ 32492 [16] с учетом ГОСТ 4651) (табл. 3).

Испытания бетонных образцов с АСК выполнены на центральное сжатие с применением испытательной гидравлической машины Instron 1000HDX с поэтапным приложением статической нагрузки до разрушения образца.

## Результаты

Для всех образцов выявлен схожий характер деформирования и разрушения: деформирование образцов происходило линейно до достижения уровня нагрузки  $\approx 0,9$  от разрушающей (рис. 2, а), далее происходил резкий прирост деформаций с последующим хрупким разрушением образцов и «отстрелом» защитного слоя бетона по их периметру (рис. 2, б).

Разрушение опытных образцов сопровождалось потерей устойчивости АСК в результате ее «выпучивания» или ее срезом в местах примыкания к поперечным хомутам (рис. 3).

Таблица 1

Параметры опытных образцов

Table 1

Test sample parameters

№	Шифр серии образцов	Вид продольной арматуры (по табл. 2)	Количество, шт., и диаметр арматуры, мм	Коэффициент продольного армирования, %	Параметры бетона	Шаг поперечных хомутов Ø6 A240, мм
1	Б.0.0	-	-	-	Призменная прочность $R_{b,n} = 31,4$ МПа; модуль упругости $E_b = 34,6$ ГПа	-
2	П. 14.75	П 10	4Ø10	1,4		75
3	П. 28.75	П 10	8Ø10	2,8		
4	П. 55.75	П 14	8Ø14	5,5		
5	ПЭ.14.75	ПЭ 10	4Ø10	1,4		
6	ПЭ.28.75	ПЭ 10	8Ø10	2,8		
7	ПЭ.55.75	ПЭ 14	8Ø14	5,5		
8	ППЭ.14.75	ППЭ 10	4Ø10	1,4		
9	ППЭ.28.75	ППЭ 10	8Ø10	2,8		
10	П. 14.150	П 10	4Ø10	1,4		
11	П. 55.150	П 14	8Ø14	5,5		
12	ПЭ.14.150	ПЭ 10	4Ø10	1,4		
13	ПЭ.55.150	ПЭ 14	8Ø14	5,5		

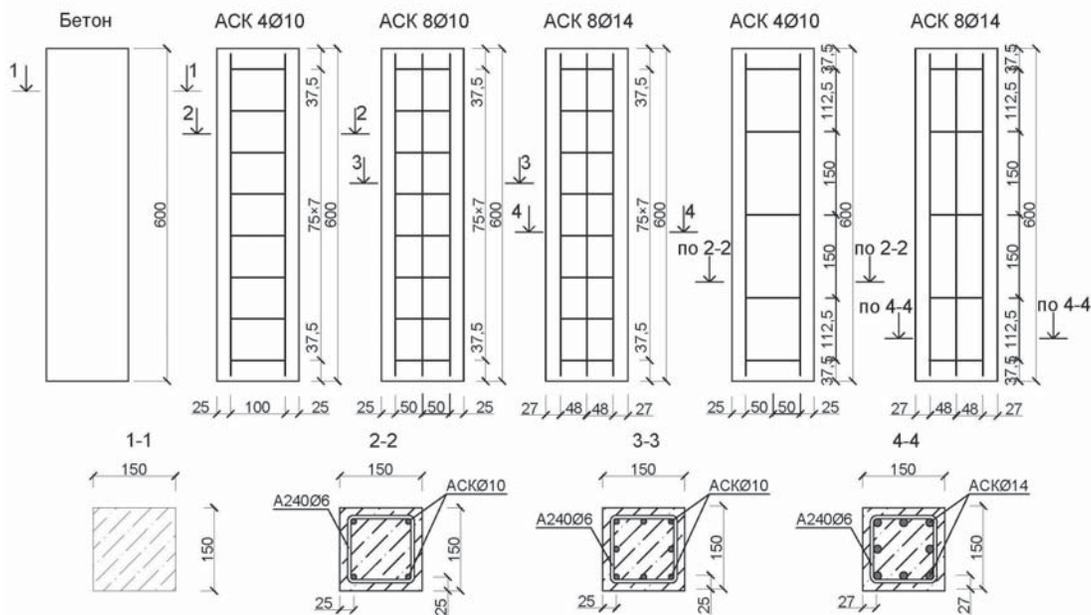


Рис. 1. Конструкция опытных образцов  
 Fig. 1. Design of test samples

Таблица 2

**Сведения об использованных видах АСК**

Table 2

**Information on the tested GFRP rebars**

Шифр АСК	Общий вид	Тип материала, вид анкерочного слоя	Номинальный диаметр, мм	Площадь поперечного сечения 1 стержня, мм <sup>2</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>
П-10		Стеклокомпозит, периодический профиль	9,24	67,09	2,00
ПЭ-10		Стеклокомпозит, песчано-эпоксидное покрытие	10,09	79,92	2,09
ППЭ-10		Стеклокомпозит, песчано-эпоксидное покрытие с периодическим профилем	10,27	82,78	2,16
П-14		Стеклокомпозит, периодический профиль	14,46	164,2	2,14
ПЭ-14		Стеклокомпозит, песчано-эпоксидное покрытие	14,30	160,6	2,05

Таблица 3

**Усредненные результаты испытаний видов АСК на растяжение и сжатие**

Table 3

**Average results of tensile and compression tests of the GFRP rebars**

Шифр образцов АСК (по табл. 2)	Растяжение		Сжатие		Отношение показателей при сжатии и растяжении	
	ГОСТ 32492–2015		ГОСТ 32492–2015			
	$R_{t,n}$ , МПа	$E_r$ , ГПа	$R_{sc}$ , МПа	$E_{sc}$ , ГПа	$R_{sc}/R_{t,n}$	$E_{sc}/E_r$
П-10	1116	51,5	1044	35,1	0,94	0,68
ПЭ-10	1035	51,1	936,8	33,8	0,91	0,66
ППЭ-10	940	52,6	909,6	35,9	0,97	0,68
П-14	1064	51,9	1042,2	34,8	0,98	0,67
ПЭ-14	1073	52,2	947	34,3	0,88	0,66



**а** **б**  
**Рис. 2.** Общие виды испытаний опытного образца серии П. 55.75: *а* – образец при нагрузке, равной половине от разрушающей; *б* – разрушенный образец  
**Fig. 2.** General tests of the P.55.75 test sample: *a* – sample with load equal to half of crushing load, *b* – crushed sample



**Рис. 3.** Типовая картина разрушения опытных образцов  
**Fig. 3.** Typical view of test sample crushing

Таблица 4

**Относительная прочность опытных образцов, армированных АСК**

Table 4

**Relative strength of test samples reinforced with the GFRP rebars**

Шифр серии	Усредненная относительная прочность
Б.0.0	1,00
П. 14.75	1,05
П. 28.75	1,11
П. 55.75	1,19
ПЭ.14.75	1,06
ПЭ.28.75	1,08
ПЭ.55.75	1,18
ППЭ.14.75	1,04
ППЭ.28.75	1,09
П. 14.150	1,02
П. 55.150	1,04
ПЭ.14.150	1,03
ПЭ.55.150	1,07

В таблице 4 приведены усредненные по сериям опытные значения прочности образцов с различными параметрами армирования АСК, отнесенные к среднему значению прочности образцов Б.0.0 без армирования (778 кН).

Полученные опытные данные указывают на прирост прочности бетонных образцов при сжатии с увеличением продольного армирования АСК. Наибольший прирост прочности зафиксирован для образцов с учащенным шагом (75 мм) поперечной арматуры. Их разрушение сопровождалось срезом продольной АСК. При разрушении образцов с шагом поперечной арматуры 150 мм наблюдалась потеря устойчивости арматуры на участке между хомутами.

Зависимость прочности сжатых бетонных элементов от вида анкерочного слоя рассматриваемой АСК и значений ее сопротивления сжатию в рамках настоящих исследований не обнаружена.

## Выводы

Прочность сжатых бетонных элементов при их армировании стеклокомпозитной арматурой повышается. Степень повышения прочности таких элементов зависит от количества продольной арматуры и шага поперечной арматуры. Для испытанных опытных образцов повышение прочности достигало 19 %.

Влияние вида анкерочного слоя АСК и значений ее сопротивления сжатию на прочность сжатых бетонных элементов в выполненных исследованиях не установлено.

## Список литературы

1. Минрегион Украины. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012. Руководство по проектированию и изготовлению бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой на основе базальтового и стеклянного ровингов. Украина, Киев: Укрархбудінформ; 2011.
2. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная. Москва: АСВ; 2013.
3. ACI 440.1R-06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. USA: American Concrete Institute; 2006.
4. ACI 440.1R-15. Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP Bars. USA: American Concrete Institute; 2015.
5. Лапшинов А.Е. Исследование работы СПА и БПА на сжатие. Вестник МГСУ. 2014;(1):52–57.
6. Лапшинов А.Е. Перспективы применения неметаллической композитной арматуры в качестве рабочей ненапрягаемой в сжатых элементах. Вестник МГСУ. 2015;(10):96–105.

7. *Невский А.В.* Прочность сжатых углеорофидробетонных элементов с углекомполитным стержневым и внешним армированием при кратковременном динамическом нагружении [диссертация]. Томск; 2018.
8. *Блазнов А.Н., Савин В.Ф., Волков Ю.П., Тихонов В.Б.* Исследование прочности и устойчивости однонаправленных стеклопластиковых стержней при осевом сжатии. Механика композиционных материалов и конструкций. 2007;13(3):426–440.
9. *Bondarenko Y., Spirande K., Iakymenko M., Mol'skii M., Oreshkin D.* Study of the stress-strain state of compressed concrete elements with composite reinforcement. MATEC Web of Conferences. 2017;116: 02008. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602008>
10. *Орешкин Д.А., Бондаренко Ю.В., Спиранде К.В., Мольский М.М.* Экспериментальные исследования прочности и деформативности стеклопластиковой арматуры при сжатии и сжатых стеклоластбетонных элементов. Науковий вісник будівництва. 2016;(2):250–258.
11. *Плевков В.С., Балдин И.В., Кудяков К.Л., Невский А.В.* Прочность и деформативность арматуры композитной полимерной при статическом и кратковременном динамическом растяжении и сжатии. Вестник ТГАСУ. 2016;(5):91–101.
12. *Плевков В.С., Тамразян А.Г., Кудяков К.Л.* Прочность и трещиностойкость изгибаемых фибробетонных элементов с преднапряженной стеклокомполитной арматурой при статическом и кратковременном динамическом нагружении. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та; 2021.
13. *Лапшинов А.Е., Мадатян С.А.* Колонны, армированные стеклопластиковой и базальтопластиковой арматурой. В: Бетон и железобетон — взгляд в будущее: сб. тр. II Междунар., III Всеросс. конф. по бетону и железобетону; г. Москва, 12–16 мая 2014 г. Т. III. Москва; 2014. с. 67–77.
14. ГОСТ 31938–2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2014.
15. ГОСТ 24452–80. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. Москва: Стандартинформ; 2005.
16. ГОСТ 32492–2015. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик. – Москва: Стандартинформ; 2016.

## References

1. Ministry of Regional Development of Ukraine. DSTU-N. B. V.2.6-185:2012. Guidelines for the design and manufacture of concrete structures with non-metallic composite reinforcement based on basalt and glass roving. Kiev: Ukrarhbudinform Publ.; 2011 (in Russian).
2. *Stepanova V.F., Stepanov A.Yu., Zhirkov E.P.* Composite polymer reinforcement. Moscow: ASV Publ.; 2013 (in Russian).
3. ACI 440.1R-06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. USA: American Concrete Institute; 2006.
4. ACI 440.1R-15. Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP Bars. USA: American Concrete Institute; 2015.
5. *Lapshinov A.E.* Investigation of the work of SPA and BPA on compression. Vestnik MGSU. 2014;(1):52–57 (in Russian).
6. *Lapshinov A.E.* Prospects for the use of non-metallic composite reinforcement as a working non-stressed in compressed elements. Vestnik MGSU. 2015;(10):96–105 (in Russian).
7. *Nevsky A.V.* Strength of compressed carbon fiber concrete elements with carbon composite core and external reinforcement under short-term dynamic loading [dissertation]. Tomsk; 2018 (in Russian).
8. *Blaznov A.N., Savin V.F., Volkov Yu.P., Tikhonov V.B.* Investigation of strength and stability of unidirectional fiberglass rods under axial compression. Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksii = Mechanics of composite materials and structures. 2007;13(3):426–440 (in Russian).
9. *Bondarenko Y., Spirande K., Iakymenko M., Mol'skii M., Oreshkin D.* Study of the stress-strain state of compressed concrete elements with composite reinforcement. MATEC Web of Conferences. 2017;116: 02008. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602008>
10. *Oreshkin D.A., Bondarenko Yu.V., Spirande K.V., Mol'skii M.M.* Experimental studies of the strength and deformability of fiberglass reinforcement under compression and compressed fiberglass concrete elements. Naukovii visnik budivnitstva = Scientific Bulletin of Civil Engineering. 2016;(2):250–258 (in Russian).

11. *Plevkov V.S., Baldin I.V., Kudyakov K.L., Nevsky A.V.* Strength and Deformability of Polymer Composites Under Tensile and Compressive Loads. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture*. 2016;(5):91–101 (in Russian).
12. *Plevkov V.S., Tamrazyan A.G., Kudyakov K.L.* Strength and crack resistance of bent fiber-concrete elements with prestressed glass composite reinforcement under static and short-term dynamic loading: monograph. Tomsk : Publishing House of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering; 2021 (in Russian).
13. *Lapshinov A.E., Madatyan S.A.* Columns reinforced with fiberglass and basalt—plastic reinforcement. In: *Concrete and reinforced concrete – a look into the future: sat. tr. II International, III All-Russian Conference on Concrete and reinforced concrete*; Moscow, May 12–16, 2014. Vol. III. Moscow; 2014. p. 67–77 (in Russian).
14. State Standard 31938-2012. Composite polymer reinforcement for reinforcement of concrete structures. General technical conditions. Moscow: Standartinform Publ.; 2014 (in Russian).
15. State Standard 24452-80. Concrete. Methods for determining the prismatic strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio. Moscow: Standartinform Publ.; 2005 (in Russian).
16. State Standard 32492-2015. Composite polymer reinforcement for reinforcement of concrete structures. Methods for determining physical and mechanical characteristics. Moscow: Standartinform Publ.; 2016 (in Russian).

## Информация об авторах / Information about the authors

**Валентина Федоровна Степанова**, д-р техн. наук, профессор, заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Valentina F. Stepanova**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Тахир Абдурахманович Мухамедиев**, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Takhir A. Mukhamediev**, Dr. Sci. (Engineering), Chief Researcher of the Laboratory of Theory of Reinforced Concrete and Structural Systems of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Константин Львович Кудряков**<sup>✉</sup>, канд. техн. наук, зав. сектором лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ, Москва  
e-mail: konst\_k@mail.ru

**Konstantin L. Kudyakov**<sup>✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Sector of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, associate professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow  
e-mail: konst\_k@mail.ru

**Андрей Викторович Бучкин**, канд. техн. наук, зам. зав. лабораторией коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Andrey V. Buchkin**, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Евгений Юрьевич Юрин**, аспирант, старший научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Evgeny Yu. Yurin**, Postgraduate student, Senior Researcher of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

<sup>✉</sup> Автор, ответственный за переписку / Corresponding author