



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.175.5/.8

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_7

Исследование прочности сцепления с бетоном композитной арматуры с частично деформированным профилем

Д.А. Ильин^{1,2}, Д.В. Новолодская²

Дмитрий Анатольевич Ильин

¹ООО «Технониколь-строительные системы», Москва, Российская Федерация

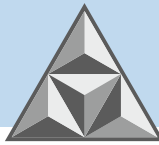
²НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

ilin.d@tn.ru

Диана Владиславовна Новолодская

²НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

diana.novolodskaya@gmail.com



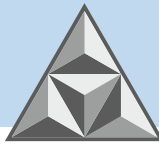
Совместная работа бетона и композитной арматуры преимущественно обеспечивается механическим сцеплением. Представлены экспериментальные результаты исследования прочности сцепления с бетоном композитной полимерной арматуры (АКП). Испытаны образцы стеклокомпозитной арматуры (АСК) с частично деформированным профилем. Исследования проводили на основании требований ГОСТ 32492-2015. Усредненное максимальное значение прочности сцепления АКП с периодически-деформированным профилем и бетона составило 12.7 МПа, что соответствует требованиям указанного стандарта.

Ключевые слова: композитная полимерная арматура, стеклокомпозитная арматура, профиль арматуры, сцепление с бетоном, напряжение, Pull-Out тест

Для цитирования:

Ильин Д.А., Новолодская Д.В. Исследование прочности сцепления с бетоном композитной арматуры с частично деформированным профилем // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, № 1. С. 7-16. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_7



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_7

Investigation of the concrete adhesion strength of composite reinforcement with a partially deformed profile

D.A. Ilyin^{1,2}, D.V. Novolodskaya²

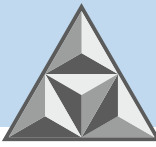
Dmitriy A. Ilyin

¹OOO (Limited Liability Company) «Technicol-Stroitelniye sistemy», Moscow, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
ilin.d@tn.ru

Diana V. Novolodskaya

²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
diana.novolodskaya@gmail.com



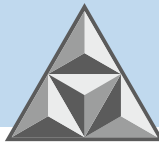
Generally the mechanical adhesion provides the mutual interaction of concrete and composite reinforcement. The paper presents the experimental results of a study of the adhesion strength to concrete of fiber-reinforced polymer (FRP). In the study we tested the samples of glass-reinforced plastic (GRP) with a partially deformed profile in accordance with GOST 32492-2015. The average maximum value of the adhesion strength of an ACP with a periodically deformed profile and concrete was 12.7 MPa. It agrees with the requirements of state standards.

Key words: fiber reinforced polymer, glass-reinforced plastic, rebar profile, adhesion to concrete, straining, Pull-Out test

For citation:

Ilyin, D.A. & Novolodskaya, D.V. (2023) Investigation of the concrete adhesion strength of composite reinforcement with a partially deformed profile, *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp. 7-16 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_7



ВВЕДЕНИЕ

Прочность сцепления композитной полимерной арматуры (АКП) с бетоном является важным свойством. Исследованиям данного вопроса посвящен ряд научных работ [1-6].

В публикациях В.Г. Хозина [1-3] отражен характер работы композитной арматуры с бетоном, изучено влияние профиля АКП на эксплуатационные параметры.

В Петербургском государственном университете путей сообщения проводятся исследования адгезии АКП с бетоном. На основании этих исследований выявлено, что у композитной арматуры с плоской навивкой показатели сцепления лучше, чем у арматуры с другими видами профиля. Смоделирован процесс «Pull-Out» теста [4-6].

В Ивановском государственном политехническом университете изучается влияние типов профиля стержня арматуры на силу анкеровки. В [7-10] показан вклад в разработку математических моделей напряженно-деформированного состояния в системе АКП – бетон.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследованы образцы стеклокомпозитной арматуры (АСК) с периодически-деформированным профилем. Формирование частично деформированного профиля осуществляли путем обмотки лавсановой нитью на производственной линии до полного отверждения стержня АКП. На рис. 1 представлены схема обмотки стержня (а) и изображение стеклокомпозитной арматуры под микроскопом (б).

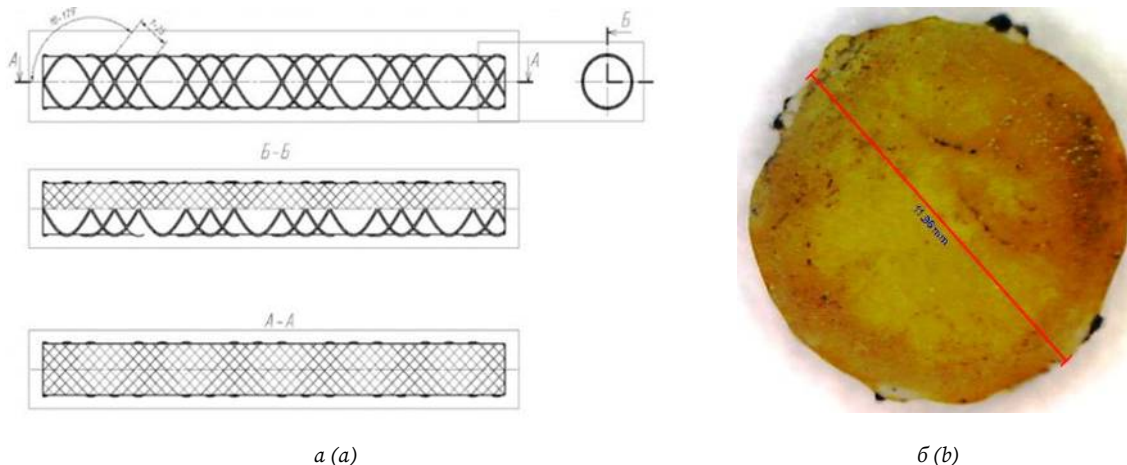


Рис. 1. Схема обмотки стержня (а) и стеклокомпозитная арматура под микроскопом (б)

Fig. 1. Rod winding diagram (a) and glass-reinforced plastic microscopically (b)

Прочность сцепления с бетоном оценивали с использованием Pull-Out теста – методом выдергивания стержней АКП из бетонных кубов [2, 4-6, 11, 12]. Образцами для испытаний являлись бетонные кубы (150×150×150 мм), по центру которых перпендикулярно направлению укладки бетона устанавливался стержень АКП. При этом с бетоном контактировала только нижняя часть арматурного стержня, имеющего длину, равную пяти диаметрам (рис. 2, а). Размер куба зависел от диаметра АКП.

Работы по определению предела прочности сцепления с бетоном образцов композитной полимерной арматуры выполнялись по истечении 28 сут. после набора прочности бетоном класса В25 [13].

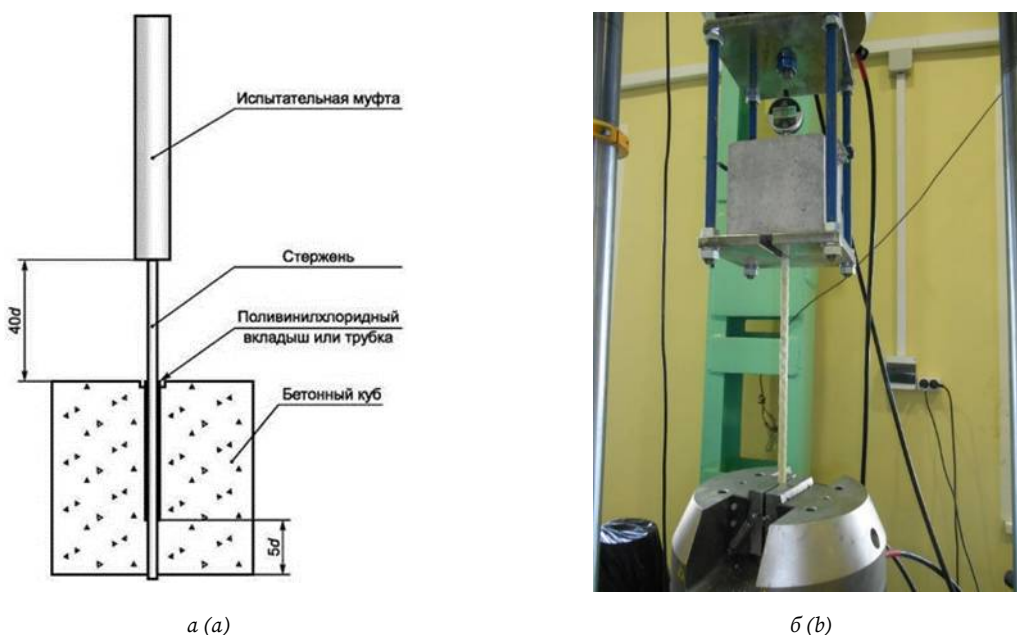


Рис. 2. Схема установки АКП в бетон куба (а) и образец АКП при испытании на сцепление с бетоном (б)

Fig. 2. Scheme for installing of fiber-reinforced polymer (FRP) in a concrete cube (a) and sample of FRP during the adhesion test with concrete (b)

Напряжение сцепления композитной полимерной арматуры с бетоном τ_r , МПа, при экспериментальном исследовании выдергиванием из куба определяли по формуле:

$$\tau_r = \frac{P}{c L_{fb}},$$

где P – прилагаемая нагрузка, Н; c – номинальная длина окружности стержня, рассчитываемая как произведение $\pi \cdot d_{ном}$, мм; L_{fb} – длина заделки стержня в бетон ($5 \times d_{ном}$), мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Испытание прочности сцепления АСК с бетоном проводили ступенчатым нагружением с шагом 50 Н и выдержкой в течение 10 с на каждом этапе. На шаге нагрузки записывали значение перемещения свободного торца образца арматуры. Были приняты отчетные показатели перемещения стержня АСК (0.05, 0.10, 0.25 мм) и максимальное перемещение. Результаты испытаний на прочность, статистически обработанные [14], представлены ниже в табл. 1.

Основываясь на результатах исследований, приведенных в табл. 1, усредненное значение максимальной прочности сцепления с бетоном стеклокомпозитной арматуры с периодически-деформированным профилем составил 12.7 МПа, что соответствует требованиям ГОСТ 31938-2022 [15].

На основании испытаний сцепления с бетоном стеклокомпозитной арматуры с песчаной обсыпкой авторы наблюдали, что вследствие низкой прочности связи между песком и полимерной арматурой при высоких напряжениях разрушается бетон и частично песчаная обсыпка АСК [16-18].

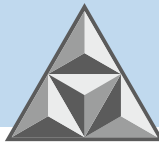


Таблица 1. Прочность сцепления образцов стеклокомпозитной арматуры с периодически-деформированным профилем

Table 1. Adhesion strength of glass composite reinforcement samples with a periodically deformed profile

№ п/п	Номинальный диаметр, мм	Маркировка	Напряжение τ , МПа			
			0.05 мм	0.10 мм	0.25 мм	max, мм
1	12.04	АСК-1	4.39	5.71	8.35	12.70
2		АСК-2	3.52	5.27	7.91	12.80
3		АСК-3	3.52	5.27	7.03	12.50
4		АСК-4	3.52	4.83	7.03	12.30
5		АСК-5	4.39	6.15	8.79	13.60
6		АСК-6	4.39	5.71	7.47	12.50
8	ср.		3.96	5.49	7.76	12.70
9	Среднеквадратическое отклонение S					0.50
10	Кoeffициент вариации ν , %					3.60
11	Минимальное значение $\tau_{r, \min}$ для партии, МПа					12.00

В настоящем исследовании профиль композитной полимерной арматуры частично-деформированный (см. рис. 1), что способствует стабильному и равномерному поведению стержня в бетоне. Это четко прослеживается при анализе диаграммы «напряжение-перемещение», которая составлена на основе результатов Pull-Out тестов (рис. 3).

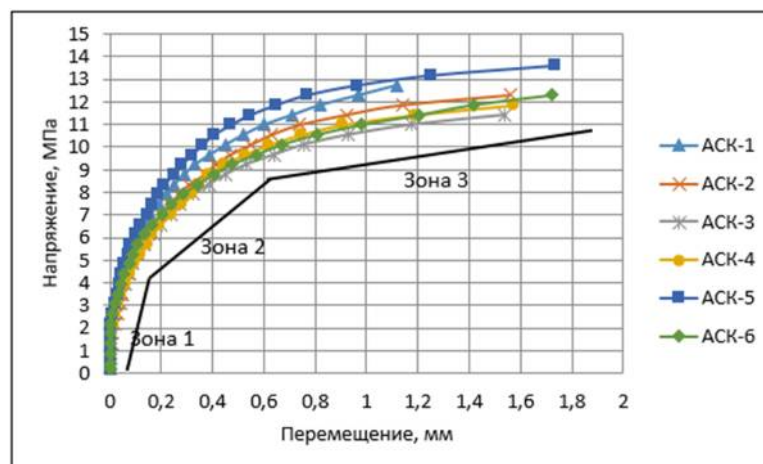


Рис. 3. Диаграмма «напряжение-перемещение» при испытании образцов АСК
Fig. 3. Diagram "straining-displacement" when testing samples of glass-reinforced plastic

На графиках прослеживается криволинейная зависимость перемещения образцов АСК от напряжения. Выделяются три зоны:

- 1) от 0 до 2.2 МПа – зона упругих деформаций; отсутствуют перемещения стержня композитной полимерной арматуры;
- 2) до 0.4-0.6 мм – с увеличением нагрузки появляются сдвиговые трещины, участки с локальным проскальзыванием;
- 3) исчерпание несущей способности бетона, арматура еще имеет сцепление с бетоном (за счет деформированного профиля и сил трения).

Такая картина разрушения образца полностью совпадает с нормативными данными по математическому моделированию процесса нарушения сцепления с бетоном [17, 18].

По результатам исследований [19] выявлено, что вырывание образцов АСК под действием нагрузки происходит по зоне контакта «арматура – бетон» (рис. 4). Высокие напряжения сцепления не приводят к разрушению бетонного куба (см. рис. 4, а).

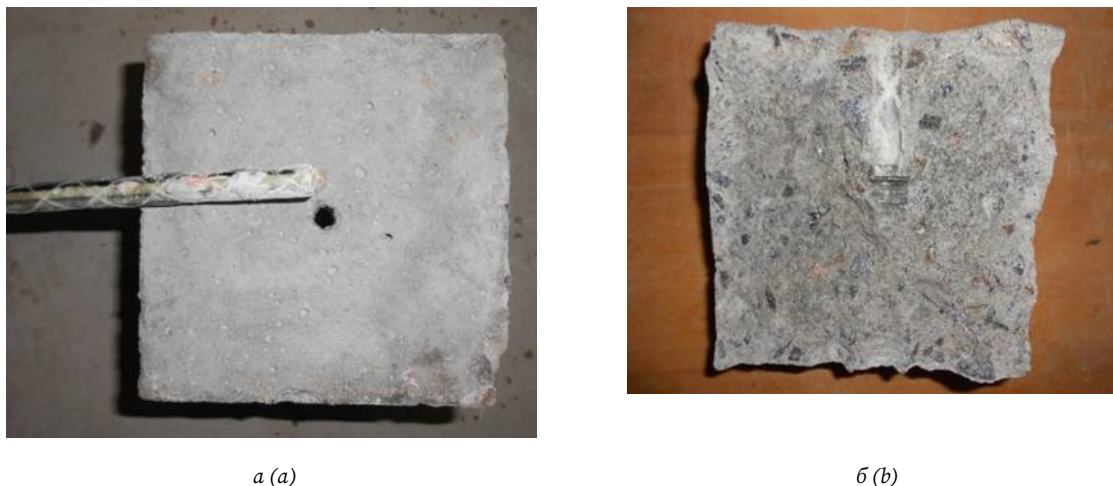


Рис. 4. Образец АКП и бетонный куб (а); бетонный куб после испытания (б)
Fig. 4. Fiber reinforced polymer sample and concrete cube (a); concrete cube after testing (b)

Частично-деформированный профиль полимеркомпозитной арматуры соприкасается с бетоном по максимальной площади, что обеспечивает стабильную совместную работу арматуры и бетона (см. рис. 4, б).

ВЫВОДЫ

Усредненная прочность сцепления стеклокомпозитной арматуры с периодически-деформированным профилем и бетона в ходе исследований составило 12.7 МПа, что соответствует требованиям ГОСТ 31938-2022. Проведен анализ поведения стержня АКП при вырывании из бетонного образца. Установлено, что для обеспечения стабильной совместной работы композитной полимерной арматуры и бетона арматуре необходим частично-деформированный профиль, обеспечивающий соприкосновение с бетоном по максимальной площади.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Старовойтова И.А., Хозин В.Г., Сулейманов А.М и др. Одноосно ориентированные армированные пластики: анализ состояния, проблемы и перспективы развития // *Изв. КГАСУ. Строит. мат. и изделия*. 2012. № 4 (22). С. 332-339.
2. Хозин В. Г., Пискунов А.А., Гиздатуллин А.Р., Куклин А.Н. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном // *Известия КГАСУ*. 2013. № 1 (23). С. 214-220.
3. Хозин В.Г., Гиздатуллин А.Р., Куклин А.Н. Полимеркомпозитная арматура в сборных дорожных плитах // *Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве: сборник докладов научно-технической конференции (Ижевск, 11 декабря 2014 г.)*. Ижевск: ИЖГТУ, 2015. С.14-24.
4. Бенин А.В., Семенов С.Г. Экспериментальные исследования сцепления композитной арматуры с плоской навивкой с бетоном // *Промышл. и гражд. стр-во*. 2013. № 9. С.74-76.
5. Коковцева А.В., Семенов А.С., Семенов С.Г., Бенин А.В. Моделирование процесса выдергивания стеклопластиковой арматуры из бетонного блока // *Сб. тр. конф. с междунар. участием "XIII неделя науки СПбГПУ"*. СПб.: СПбГПУ, 2013. С.182-184.
6. Бенин А.В., Семенов С.Г. Особенности испытаний композитной полимерной арматуры // *Промышл. и гражд. стр-во*. 2014. № 9. С.42-46.
7. Караваев И.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С. К вопросу о прочности сцепления композитной



- арматуры с бетоном // *Физика волокон. мат.: структура, свойства, наукоемкие технол. и мат. (SMARTEX)*. 2016. Т. 2, № 1. С. 124-127.
8. **Караваяев И.В., Румянцева В.Е.** Теоретические предпосылки к верификации моделей напряженно-деформированного состояния в системе «Композитная арматура – Бетон» // *Мол. ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК)*. 2016. № 1. С. 506-507.
 9. **Румянцева В.Е., Караваяев И.В.** К вопросам методики проведения испытаний анкеровки арматуры неметаллической композитной в бетоне // *Стр-во и реконструкция*. 2015. № 1 (57). С. 108-113. URL: <https://rucont.ru/efd/484874>
 10. **Караваяев И.В., Румянцева В.Е., Караваяев В.И.** Исследование влияния покрытия на анкеровку композитной арматуры в бетоне // *Теор. и прикл. аспекты соврем. науки*. 2015. № 9-2. С. 84-87.
 11. ISO 10406-1:2008. Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete – Test methods. Part 1: FRP bars and grids.
 12. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials. RILEM, 1994. 618 p.
 13. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Изд-во Стандартиформ, 2013. 35 с.
 14. ГОСТ Р 8.736-2011 Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Изд-во стандартов, 2019. 24 с.
 15. ГОСТ 31938-2022 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2022. 20 с.
 16. **Холмянский М.М.** Контакт арматуры с бетоном. М.: Стройиздат, 1981. 184 с.
 17. **Cruz J.S., Barros J.** Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete // *Computer and Structures*. 2004. No. 82. P. 1513-1521.
 18. **Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Сафиюлина Л.Г., Петропавловских О.К., Яковлев Д.Г.** Численное моделирование сцепления композитной арматуры с бетоном // *Интернет-журн. "Наукоеведение"*. 2015. Т. 7, № 4. С. 1-12. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN415.pdf>
 19. **Ильин Д.А.** Композитная арматура на основе стеклянных и углеродных волокон для бетонных конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 22 с.

Поступила в редакцию 23.01.2023

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к опубликованию 22.03.2023

REFERENCES

1. **Starovoitova, I.A., Khozin, V.G., Suleimanov, A.M. et al.** Uniaxially oriented reinforced plastics: analysis of the state, problems and development prospects (2012), *Izvestiya KGASU. Stroitel'nye materialy i izdeliya*, 4(22), pp. 332-339 (in Russian).
2. **Khozin, V.G., Piskunov, A.A., Gizdatullin, A.R. et al.** (2013) Adhesion of polymer composite reinforcement with cement concrete, *Izvestiya KGASU*, 1(23), pp. 214-220 (in Russian).
3. **Khozin, V.G., Gizdatullin, A.R. & Kuklin, A.N.** (2015) Polymer composite reinforcement in prefabricated road slabs, *Aktual'nye voprosy teorii i praktiki primeneniya kompozitnoj armatury v stroitel'stve: sbornik докладов nauchno-tekhnicheskoy konferencii (Izhevsk, 11 dekabrya 2014 g.)*. Izhevsk, IzhGTU, pp. 14-24 (in Russian).
4. **Benin, A.V. & Semenov, S.G.** (2013) Experimental studies of the adhesion of composite reinforcement with flat coiling to concrete, *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, (9), pp. 74-76 (in Russian).
5. **Kokovtseva A.V., Semenov A.S., Semenov S.G. & Benin A.V.** Modeling the process of pulling out fiberglass reinforcement from a concrete block, *Sbornik trudov konferencii c mezhdunarodnym uchastiem*



"XIII nedelya nauki SPBGPU". St. Petersburg: SPbGPU, pp. 182-184 (in Russian).

6. **Benin, A.V. & Semenov, S.G.** (2014) Features of testing composite polymer reinforcement, *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, (9), pp. 42-46 (in Russian).
7. **Karavaev, I.V., Rumyantseva, V.E. & Konovalova, V.S.** (2016) Case study on the adhesion strength of composite reinforcement with concrete, *Fizika voloknistyh materialov: struktura, svojstva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX)*, 2(1), pp. 124-127 (in Russian).
8. **Karavaev, I.V. & Rumyantseva, V.E.** (2016) Theoretical prerequisites for the verification of stress-strain state models in the system "Composite reinforcement - Concrete", *Molodye uchenye - razvitiyu tekstil'no-promyshlennogo klastera (POISK)*, (1), pp. 506-507 (in Russian).
9. **Rumyantseva, V.E. & Karavaev, I.V.** (2015) Case study on the methodology for testing the anchoring of non-metallic composite reinforcement in concrete, *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, (1), pp. 108-113 URL: <https://rucont.ru/efd/484874> (in Russian).
10. **Karavaev, I.V., Rumyantseva, V.E. & Karavaev, V.I.** (2015) Study of the effect of coating on the anchoring of composite reinforcement in concrete, *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoj nauki*, (9-2), pp. 84-87 (in Russian).
11. ISO 10406-1:2008. *Fiber-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete - Test methods. Part 1: FRP bars and grids.*
12. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials (1994) RILEM.
13. GOST 10180-2012. *Concrete. Methods for determining the strength of control samples.* M.: Izdatel'stvo standartov (in Russian).
14. GOST R 8.736-2011. *National Standard of the Russian Federation. The state system of ensuring the uniformity of measurements. Direct multiple measurements. Methods of processing measurement results. Basic provisions.* M.: Izdatel'stvo standartov (in Russian).
15. GOST 31938-2022. *Composite polymer fittings for reinforcing concrete structures. General specifications.* M.: Izdatel'stvo standartov (in Russian).
16. **Kholmyansky, M.M.** (1981) *Contact of reinforcement with concrete.* M.: Stroyizdat (in Russian).
17. **Cruz, J.S. & Barros, J.** (2004) Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete, *Computer and Structures*, (82), pp. 1513-1521.
18. **Zinnurov, T.A., Piskunov, A.A., Safiyulina, L.G., Petropavlovskikh, O.K. & Yakovlev, D.G.** (2015) Numerical simulation of the adhesion of composite reinforcement to concrete, *Internet-zhurnal "Naukovedenie"*, 7(4), pp. 1-12 [online]. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN415.pdf> (in Russian).
19. **Ilyin, D.A.** (2017) *Composite fittings based on glass and carbon fibers for concrete structures:* PhD. Moscow.

Received 23.01.2023

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted 22.03.2023