

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 691.175.3; 620.172; 620.173

ПЛЕВКОВ ВАСИЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,

pvs@tomsksep.ru

БАЛДИН ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,

biwem@yandex.ru

КУДЯКОВ КОНСТАНТИН ЛЬВОВИЧ, аспирант,

konst_k@mail.ru

НЕВСКИЙ АНДРЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ, аспирант,

lokor888@gmail.com

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ АРМАТУРЫ КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И КРАТКОВРЕМЕННОМ ДИНАМИЧЕСКОМ РАСТЯЖЕНИИ И СЖАТИИ

Представлены результаты исследований физико-механических характеристик композитной полимерной арматуры. Экспериментально определены значения основных прочностных и деформационных характеристик стекло- и углекомпозитной арматуры при статическом воздействии осевой растягивающей и сжимающей нагрузки. Дана оценка устойчивости композитных стержней к воздействию щелочной среды. Представлена диаграмма деформирования стекло- и углекомпозитной арматуры при статическом воздействии. Предложены расчетные коэффициенты динамического упрочнения композитной арматуры при кратковременном динамическом воздействии.

Ключевые слова: арматура композитная полимерная; стеклокомпозит; углекомпозит; прочность; деформативность; коррозионная стойкость; диаграмма деформирования; динамическое упрочнение; статическое нагружение; кратковременное динамическое нагружение.

VASILII S. PLEVKOV, DSc, Professor,

pvs@tomsksep.ru

IGOR V. BALDIN, PhD, A/Professor,

biwem@yandex.ru

KONSTANTIN L. KUDYAKOV, Research Assistant,

konst_k@mail.ru

*ANREI V. NEVSKII, Research Assistant,
lokop888@gmail.com
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

STRENGTH AND DEFORMABILITY OF POLYMER COMPOSITES UNDER TENSILE AND COMPRESSIVE LOADS

The paper presents the investigation results on mechanical-and-physical properties of polymeric composites used for reinforcement. The values of the main strength and deformation properties are experimentally obtained for glass fiber-reinforced (GFRP) and carbon fiber-reinforced polymers (CFRP) under static axial tensile and compressive loads. The alkaline medium resistance of GFRP and CFRP bars is estimated in this paper. The deformation diagram is constructed for GFRP and CFRP bars under the static loads. The estimated coefficients are suggested for the dynamic strengthening of reinforcement under the dynamic load.

Keywords: polymer composite reinforcement; glass fiber-reinforced polymer; carbon fiber-reinforced polymer; strength; deformability; corrosion resistance; deformation diagram; dynamic strengthening; static loads; dynamic loads.

К железобетонным конструкциям современных промышленных и гражданских зданий и сооружений специального назначения, помимо общих требований по обеспечению несущей способности и пригодности к нормальной эксплуатации, предъявляются такие специфические требования, как коррозионная стойкость, магнито-и радиопрозрачность, диэлектрическая устойчивость и др. Возможным вариантом решения задачи по обеспечению специфических свойств конструкций является использование современной композитной арматуры на основе неметаллических волокон. Арматура композитная полимерная (АКП), получившая известность ещё в 60-х гг. прошлого столетия, ныне переживает «второе рождение»: её производство полностью освоено, и на сегодняшний день на отечественном рынке строительных материалов АКП находится в избытке. Недостаток в экспериментальных и теоретических знаниях препятствует её широкому применению. Действующими в РФ на настоящий момент нормативными документами СП 63.13330.2012 (с изменениями 1 и 2) и ГОСТ 31938–2012 обозначены лишь минимальные допустимые значения основных прочностных характеристик АКП, даны предпосылки для расчета бетонных конструкций с АКП. Остаются неопределёнными области рационального применения АКП в бетонных конструкциях, не изучено поведение таких конструкций при динамических воздействиях. Физико-механические свойства АКП существенно зависят от завода-производителя, соблюдения технологии ее изготовления, а также от состава и качества сырьевых материалов. Все это свидетельствует о необходимости проведения исследований как основных физико-механических свойств АКП, так и армированных ею конструкций в целом с учетом воздействий различного характера [1–13].

Особое внимание необходимо уделять вопросам долговечности АКП. Арматура в строительных конструкциях в процессе эксплуатации испытывает химическое воздействие со стороны агрессивных веществ, содержащихся в бетоне, имеющих щелочную реакцию. Для определения устойчивости композитной арматуры в такой среде используют ускоренные методики с вы-

держкой образцов непосредственно во влажном бетоне или в различных водных растворах щелочи, имитирующих щелочную среду, характерную для влажного бетона ($pH = 12-14$). Активизацию процессов осуществляют путем нагрева агрессивных сред. Данные методики позволяют симитировать эксплуатацию композитного материала в агрессивной среде бетона сроком до 50 лет [14–17].

В настоящей статье отражены вопросы влияния воздействия щелочной среды на физико-механические свойства АКП, представлены результаты испытаний АКП осевой растягивающей и сжимающей статической нагрузкой, даны рекомендации по расчету конструкций с АКП при динамическом характере воздействия нагрузки.

В качестве исследуемых видов АКП принята арматура стеклокомпозитная (АСК) и углекомпозитная (АУК) производства ХК «Композит» (г. Москва). Стержни АСК имели ребристое покрытие, образованное намоткой пропитанного полимерным составом стеклянного ровинга, а стержни АСК – шероховатое песчано-эпоксидное покрытие.

Перед проведением испытаний АКП определялись геометрические размеры образцов, их объёмный вес и номинальный диаметр. Серии образцов и их параметры сведены в табл. 1. Количество образцов в сериях принято равным шести. Всего для определения основных механических свойств было подготовлено 72 образца, в том числе 36 образцов, выдержанных в водном растворе щелочи.

Таблица 1

Серии образцов арматуры композитной полимерной для испытания осевой растягивающей и сжимающей нагрузкой

Шифр серии	АСК	АУК	Номинальный диаметр		Выдержка в щелочной среде	Вид испытания	
			6 мм	10 мм		Растяжение	Сжатие
С6-Р	+		+			+	
С6Щ-Р	+		+		+	+	
С10-Р	+			+		+	
С10Щ-Р	+			+	+	+	
У6-Р		+	+			+	
У6Щ-Р		+	+		+	+	
У10-Р		+		+		+	
У10Щ-Р		+		+	+	+	
С10-С	+			+			+
С10Щ-С	+			+	+		+
У10-С		+		+			+
У10Щ-С		+		+	+		+

Устойчивость АКП к щелочной среде определялась ускоренным методом согласно ГОСТ 31938–2012. Стекло- и углекомпозитные стержни помещались и выдерживались в водном растворе щелочи в течение 30 сут при $pH 13,0$ и постоянной температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. После промывки и сушки стержней

проводился их осмотр. Проведенный микроструктурный анализ поверхности стержней АСК до и после выдержки в водном растворе щелочи показал, что в результате воздействия щелочной среды происходит нарушение целостности внешнего полимерного слоя и частичное повреждение наружного слоя волокон (рис. 1).

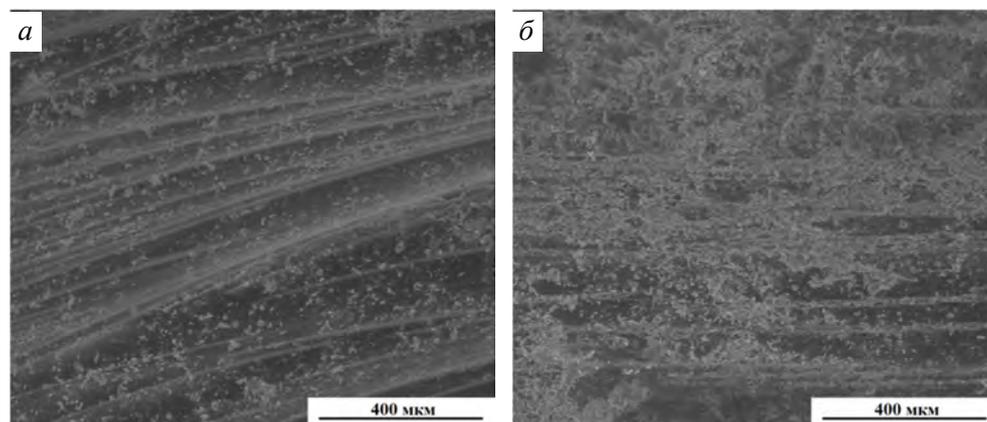


Рис. 1. Образцы композитной арматуры до (а) и после (б) воздействия щелочной среды

Для проведения испытаний на растяжение и сжатие образцы помещались в специальные приспособления, изготовленные в соответствии с ГОСТ 31938–2012. На концах испытываемых на растяжение стержней устанавливались металлические муфты, закрепленные композитным клеевым составом и предназначенные для фиксации опытных образцов в захватах испытательной машины (рис. 2, а). При испытании на сжатие образцы помещались в специальную оснастку, представляющую собой систему из двух муфт для фиксации в них образца при помощи клеевого состава и втулки, служащей направляющей для обеих муфт и обеспечивающей возможность приложения нагрузки вдоль продольной оси стержня (рис. 2, б).

Испытания образцов осуществлялись путем приложения к ним статической осевой растягивающей или сжимающей силы с постоянной скоростью деформирования. Испытание растягивающей нагрузкой производилось на автоматизированной разрывной гидравлической машине МР-500 (рис. 3). Продольные деформации при растяжении измерялись высокоточным электронным экстензометром Epsilon 3542, установленным в середине рабочей зоны образцов. Разрушение растянутых образцов сопровождалось постепенным разрывом отдельных продольных волокон в составе стержня. Испытание сжимающей нагрузкой производилось на электромеханическом прессе Instron 3382 (рис. 4). Продольные деформации сжатия фиксировались с использованием цифровой оптической системы измерения деформаций VIC 3D, которая позволяет на основе анализа корреляции цифровых стереоскопических изображений получить качественную и количественную оценку полей деформаций и перемещений для исследуемой поверхности испытываемого образца. Разрушение сжатых образцов АСК происходило на рабочем участке стержня, схема разрушения имела вид,

схожий с картиной среза. Разрушение сжатых образцов АУК произошло в результате выпучивания рабочего участка стержня в поперечном направлении от центральной оси приложенной сжимающей нагрузки. Во всех случаях при растяжении и сжатии наблюдалось хрупкое разрушение образцов.

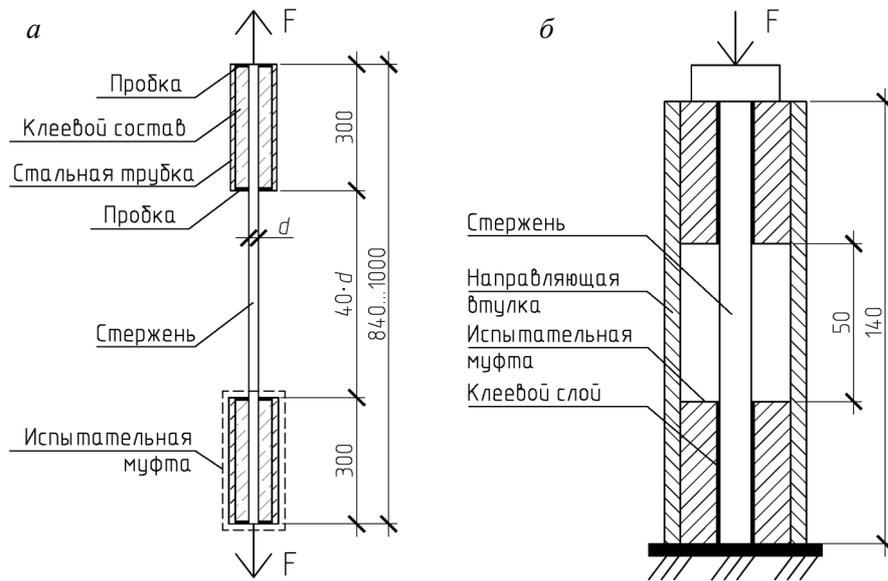


Рис. 2. Схемы испытания образцов композитной арматуры на осевое растяжение (а) и сжатие (б)

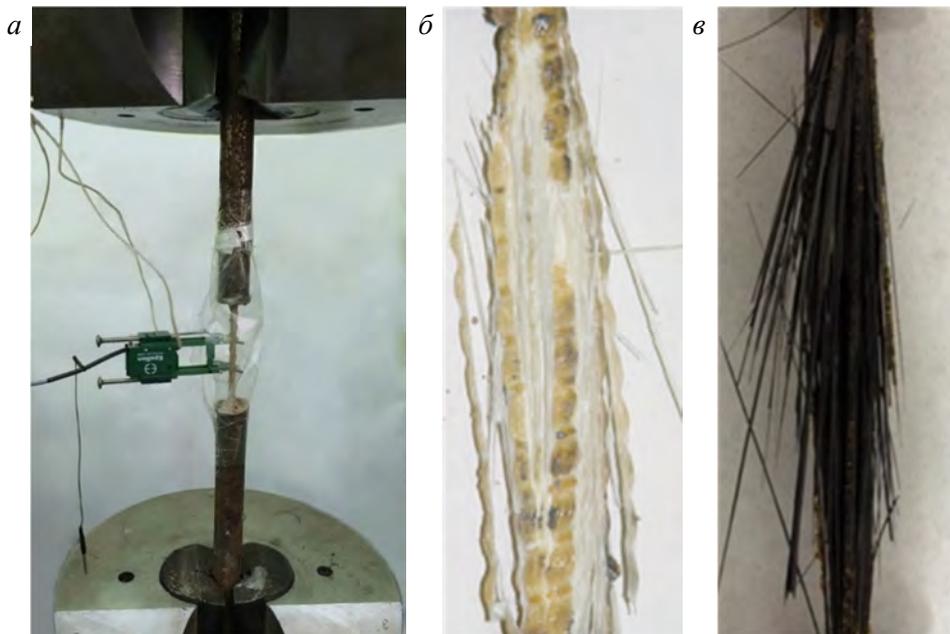


Рис. 3. Испытание композитных стержней на осевое растяжение: общий вид испытания (а); характерные схемы разрушения АСК (б) и АУК (в) при растяжении

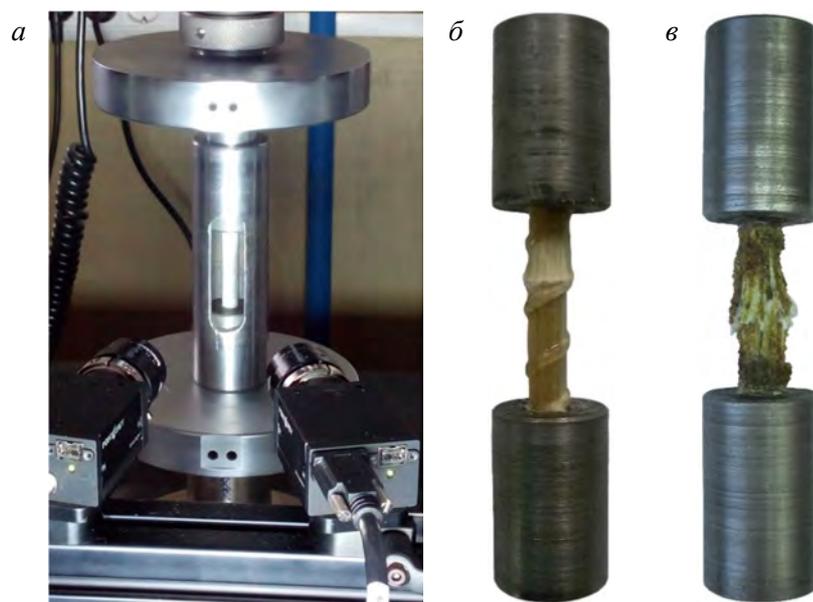


Рис. 4. Испытание композитных стержней на осевое сжатие: общий вид испытания (а); характерные схемы разрушения АСК (б) и АУК (в) при сжатии

В результате проведенных испытаний получены данные об основных прочностных и деформационных характеристиках АСК и АУК, находящихся как в исходном состоянии, так и подвергнутых воздействию щелочной среды. В результате статистической обработки экспериментальных данных построена диаграмма деформирования стекло- и углекомпозитной арматуры при осевом растяжении и сжатии (рис. 5). На рис. 5 сплошной линией обозначены зависимости, полученные в результате испытания АКП в исходном состоянии, а штрих-пунктирной линией – выдержанных в щелочи. Из рис. 5 видно, что воздействие щелочной среды на АСК и АУК привело к снижению предела прочности соответственно на 11 и 7 % при растяжении и на 12 и 10 % при сжатии по сравнению с аналогичным значением данной величины для арматуры в исходном состоянии.

При динамических воздействиях прочностные и деформационные характеристики материалов отличаются от аналогичных характеристик, полученных при статических испытаниях. Влияние скорости деформирования на свойства АКП остается пока малоизученным. Анализ зарубежных литературных данных показал, что значения модуля упругости и предела прочности для АКП являются чувствительными к изменению скорости деформирования, при этом величина предельных деформаций изменяется в меньшей степени [18–19]. Учет влияния различных факторов на динамическую прочность конструкционных материалов при действии кратковременного динамического нагружения допускается учитывать интегрально, путем использования расчетных коэффициентов динамического упрочнения материала при сжатии и растяжении, которые равны отношению динамической прочности материала к статической при сжатии и растяжении соответственно. Основы-

ваясь на анализе существующих исследований [18–23] с учетом разнообразия видов АКП, авторы предлагают использовать при расчетах значения расчетных коэффициентов динамического упрочнения для АКП, равные $k_{f,d} = 1-1,15$ при растяжении и $k_{fc,d} = 1-1,1$ при сжатии.

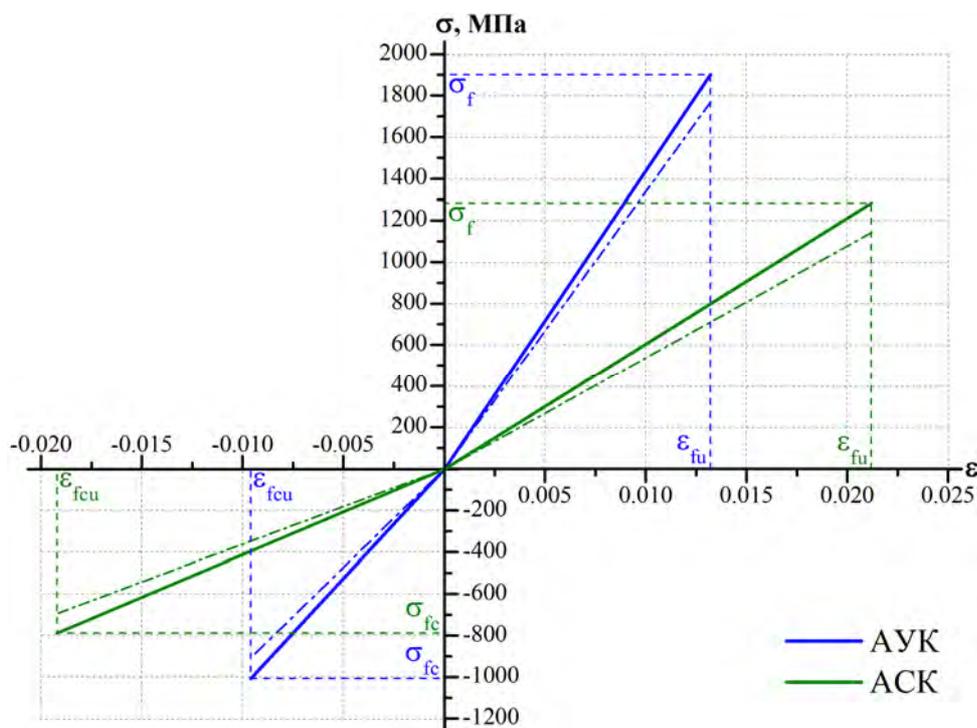


Рис. 5. Диаграмма деформирования стекло- и углекомпозитных стержней при осевом статическом растяжении и сжатии

Расчетное сопротивление АКП при действии кратковременных динамических нагрузок предлагается определять умножением статического расчетного сопротивления АКП на соответствующий коэффициент динамического упрочнения:

$$R_{f,d} = k_{f,d} R_f, \tag{1}$$

$$R_{fc,d} = k_{fc,d} R_{fc}. \tag{2}$$

Использование динамических коэффициентов упрочнения для АКП $k_{f,d}$ и $k_{fc,d}$ позволяет получить динамическую диаграмму деформирования АКП на основе статической [20–27], применимую для практических расчетов конструкций, армированных композитными стержнями, при действии кратковременной динамической нагрузки.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить значения основных физико-механических параметров стекло- и углекомпо-

зитной арматуры и сделать вывод об устойчивости ее к воздействию щелочной среды.

На основе анализа литературных источников предложены коэффициенты динамического упрочнения для расчета прочности АКП при кратковременном динамическом воздействии.

Диаграмма деформирования АКП и предложения (1) и (2) могут быть использованы при расчетах строительных конструкций по деформационной модели при действии статических и кратковременных динамических нагрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Эффективность использования инновационных композитных материалов* в строительстве / И.С. Птухина, А.С. Далабаев, А.Б. Туркебаев, Д.С. Глеуханов [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 9 (24). – С. 84–96.
2. *Теплова, Ж.С.* Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций / Ж.С. Теплова, С.С. Киски, Я.Н. Стрижкова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 9 (24). – С. 49–70.
3. *Климов, Ю.А.* Экспериментальные исследования композитной арматуры на основе базальтового и стеклянного ровинга для армирования бетонных конструкций / Ю.А. Климов, А.С. Солдатченко, Ю.А. Витковский // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. – 2012. – № 2 (7). – С. 106–109.
4. *Макушева, Н.Ю.* Сравнительный анализ металлической арматуры и арматуры из композитных материалов / Н.Ю. Макушева, Н.Б. Колосова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 10 (25). – С. 60–72.
5. *Габрусенко, В.В.* Об особенностях проектирования конструкций из бетона с композитной арматурой / В.В. Габрусенко // Стены и Фасады. – 2013. – № 2 (68). – С. 45–48.
6. *Степанова, В.Ф.* Арматура композитная полимерная / В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов, Е.П. Жирков. – М. : Изд-во АСВ, 2013. – 200 с.
7. *Фролов, Н.П.* Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции / Н.П. Фролов. – М. : Стройиздат, 1980. – 104 с.
8. *Nevsky, A.V.* Strength and deformability of compressed concrete elements with various types of non-metallic fiber and rods reinforcement under static loading / A.V. Nevsky, I.V. Baldin, K.L. Kudyakov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 71. DOI:10.1088/1757-899X/71/1/012037.
9. *Urbanskia, M.* Investigation on concrete beams reinforced with basalt rebars as an effective alternative of conventional RC structures / M. Urbanskia, A. Lapkob, A. Garbacz // Procedia Engineering. – 2013. – V. 57. – Pp. 1183–1191. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.04.149.
10. *Kudyakov, K.L.* Strength and deformability of concrete beams reinforced by non-metallic fiber and composite rebar / K.L. Kudyakov, V.S. Plevkov, A.V. Nevsky // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 71. DOI: 10.1088/1757-899X/71/1/012030.
11. *Balaguru, P.* FRP composites for reinforced and prestressed concrete structures. A guide to fundamentals and design for repair and retrofit / P. Balaguru, A. Nanni, J. Giancaspro. – CRC Press, 2008. – 336 p.
12. *Лапшинов, А.Е.* Перспективы применения неметаллической композитной арматуры в качестве рабочей ненапрягаемой в сжатых элементах / А.Е. Лапшинов // Вестник МГСУ. – 2015. – № 10. – С. 96–105.
13. *Исследование прочности и устойчивости* однонаправленных стеклопластиковых стержней при осевом сжатии / А.Н. Блазнов, В.Ф. Савин, Ю.П. Волков, В.Б. Тихонов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2007. – № 3. – С. 426–440.
14. *Коррозионная стойкость полимерных композитов* в щелочной среде бетона / Н.К. Розенталь, Г.В. Чехний, А.Р. Бельник, А.П. Жилкин // Бетон и железобетон. – 2002. – № 3. – С. 20–23.
15. *Glass fiber reinforced polymer rebar.* Technical brochure. – Hughes Brothers Ltd, 1997. – 15 p.

16. *Ramm, W.* Report concerning the tests regard to the alkaline consistency of an anchoring of plastic reinforced with glass fiber concerning three-wythed facade panels according to the DEHA-TM System / W. Ramm // Technical report. – 1992. – 32 p.
17. *Ramm, W.* Report concerning tests regarding the alkaline durability of an anchoring system out of reinforced glass fiber plastic for three-layered facade panels according to the DEHA-TM System / W. Ramm // Technical report. – 1993. – 43 p.
18. *Ray, B.C.* A review on mechanical behavior of FRP composites at different loading speeds / B.C. Ray, D. Rathorea // Critical reviews in solid state and materials sciences. – 2015. – V. 40. – Pp. 119–135. DOI: 10.1080/10408436.2014.940443.
19. *Mechanical behavior of glass and carbon fiber reinforced composites* at varying strain rates / R.O. Ochojaa, K. Marcusa, G.N. Nurickb, T. Franzc. // Composite Structures. – 2004. – V. 63. – Pp. 455–467. DOI: 10.1016/S0263-8223 (03) 00194-6.
20. *Тарек, М.Ф.Э.* Прочность преднапряженных изгибаемых балочных элементов, армированных стеклопластиковой арматурой, при действии кратковременных динамических нагрузок : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1992. – 135 с.
21. *Попов, Н.Н.* Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки / Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев, А.В. Забегаев. – М. : Высшая школа, 1992. – 319 с.
22. *Плевков, В.С.* Динамическая прочность бетона и арматуры железобетонных конструкций / В.С. Плевков. – Томск : Изд-во Томского ЦНТИ, 1996. – 65 с.
23. *Кумпяк, О.Г.* Прочность и деформативность железобетонных конструкций на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении / О.Г. Кумпяк, З.Р. Галяутдинов, Д.Н. Кокорин. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2016. – 277 с.
24. *Некоторые вопросы динамики железобетона* / О.Г. Кумпяк, В.С. Плевков, Д.Г. Копаница, И.В. Балдин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2000. – № 1. – С. 124–136.
25. *Плевков, В.С.* Расчетные диаграммы нелинейного деформирования базальтофибробетона при статических и кратковременных динамических воздействиях / В.С. Плевков, С.Н. Колупаева, К.Л. Кудяков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 3. – С. 95–110.
26. *Модели нелинейного деформирования углеродофибробетона* при статическом и кратковременном динамическом воздействиях / В.С. Плевков, В.В. Белов, И.В. Балдин, А.В. Невский // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 3 (56). – С. 72–82.
27. *Плевков, В.С.* Оценка прочности и трещиностойкости железобетонных конструкций по российским и зарубежным нормам / В.С. Плевков, А.П. Малиновский, И.В. Балдин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 2. – С. 144–153.

REFERENCES

1. *Ptukhina I.S., Dalabaev A.S., Turkebaev A.B., Tleukhanov D.S.* Effektivnost' ispol'zovaniya innovatsionnykh kompozitnykh materialov v stroitel'stve [Efficiency of innovative composite materials in construction]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 9. Pp. 84–96. (rus)
2. *Teplova Zh.S., Kiski S.S., Strizhkova Ya.N.* Stekloplastikovaya armatura dlya armirovaniya betonnykh konstruksiy [Fiberglass reinforcement for concrete structure reinforcement]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 9. Pp. 49–70. (rus)
3. *Klimov Yu.A., Soldatchenko A.S., Vitkovskiy Yu.A.* Eksperimental'nye issledovaniya kompozitnoy armatury na osnove bazal'tovogo i steklyannogo rovinga dlya armirovaniya betonnykh konstruksiy [Experimental study of composite reinforcement based on basalt and glass roving for concrete structure reinforcement]. *Beton i zhelezobeton. Oborudovanie. Materialy. Tekhnologii*. 2012. No. 2. Pp. 106–109. (rus)
4. *Makusheva N.Yu., Kolosova N.B.* Sravnitel'nyy analiz metallicheskoj armatury i armatury iz kompozitnykh materialov [Comparative analysis of metal and fibre-reinforcement]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 10. Pp. 60–72. (rus)

5. Gabrusenko V.V. Ob osobennostyakh proektirovaniya konstruktsey iz betona s kompozitnoy armaturoy [Design of concrete structures with composite rebar]. *Steny i fasady*. 2013. No. 2. Pp. 45–48. (rus)
6. Stepanova V.F., Stepanov A.Yu., Zhirkov E.P. Armatura kompozitnaya polimernaya [Polymer composite reinforcement]. Moscow: ASV Publ., 2013. 200 p. (rus)
7. Frolov N.P. Stekloplastikovaya armatura i stekloplastbetonnye konstruksii [GFRP reinforcement and structures]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1980. 104 p. (rus)
8. Nevsky A.V., Baldin I.V., Kudyakov K.L. Strength and deformability of compressed concrete elements with various types of non-metallic fiber and rods reinforcement under static loading. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2015. V. 71. DOI:10.1088/1757-899X/71/1/012037.
9. Urbanskia M., Lapkob A., Garbacz A. Investigation on concrete beams reinforced with basalt rebars as an effective alternative of conventional RC structures. *Procedia Engineering*. 2013. V. 57. Pp. 1183–1191. DOI: 10.1016/j.
10. Kudyakov K.L., Plevkov V.S., Nevsky A.V. Strength and deformability of concrete beams reinforced by non-metallic fiber and composite rebar. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2015. V. 71. DOI:10.1088/1757-899X/71/1/012030.
11. Balaguru P., Nanni A., Giancaspro J. FRP composites for reinforced and prestressed concrete structures. A guide to fundamentals and design for repair and retrofit. CRC Press. 2008. 336 p.
12. Lapshinov A.E. Perspektivy primeneniya nemetallicheskoj kompozitnoy armatury v kachestve rabochey nenapryagaemoy v szhatykh elementakh [Prospective use of non-metallic FRP reinforcement in compressed elements]. *Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture*. 2015. No. 10. Pp. 96–105. (rus)
13. Blaznov A.N., Savin V.F., Volkov Yu.P., Tikhonov V.B. Issledovanie prochnosti i ustoychivosti odnonapravlennykh stekloplastikovyykh sterzhney pri osevom szhatii [Research of strength and stability of unidirectional fiberglass rods under axial compression]. *Journal on Composite Mechanics and Design*. 2007. No. 3. Pp. 426–440. (rus)
14. Rozental', N.K., Chekhniy G.V., Bel'nik A.R., Zhilkin A.P. Korroziionnaya stoykost' polimernyykh kompozitov v shchelochnoy srede betona [The corrosion resistance of polymer composites in the alkaline environment of concrete]. *Beton i zhelezobeton*. 2002. No. 3. Pp. 20–23. (rus)
15. *Glass fiber reinforced polymer rebar*. Technical brochure. Hughes Brothers Ltd. 1997. 15 p.
16. Ramm W. Report concerning the tests regard to the alkaline consistency of an anchoring of plastic reinforced with glass fiber concerning three-wythed facade panels according to the DEHA-TM system. Technical report. 1992. 32 p.
17. Ramm W. Report concerning tests regarding the alkaline durability of an anchoring system out of reinforced glass fiber plastic for three-layered facade panels according to the DEHA-TM system. Technical report. 1993. 43 p.
18. Ray B.C., Rathorea D. A Review on mechanical behavior of FRP composites at different loading speeds. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*. 2015. V. 40. Pp. 119–135. DOI: 10.1080/10408436.2014.940443
19. Ochola R. ., Marcusa K., Nurick G.N., Franz T. Mechanical behavior of glass and carbon fiber reinforced composites at varying strain rates. *Composite Structures*. 2004. V. 63. Pp. 455–467. DOI: 10.1016/S0263-8223 (03) 00194-6.
20. Tarek M.F.E. Prochnost' prednapryazhennykh izgibaemykh balochnykh elementov, armirovannykh stekloplastikovo armaturoi, pri deistvii kratkovremennykh dinamicheskikh nagruzok: dis. ... kand. tekhn. nauk [Strength of prestressed tensile beam elements reinforced with fiberglass under dynamic loads. PhD Thesis]. Moscow: Kuibyshev Institute of Civil Engineering, 1992. 135 p. (rus)
21. Popov N.N., Rastorguev B.S., Zabegaev A.B. Raschet konstruksii na dinamicheskie i spetsial'nye nagruzki [Structural analysis under dynamic and specific loads]. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1992. 319 p. (rus)
22. Plevkov V.S. Dinamicheskaya prochnost' betona i armatury zhelezobetonnykh konstruksii [Dynamic strength of concrete and rebar of reinforced concrete structures]. Tomsk: TsNTI Publ., 1996. 65 p. (rus)

23. *Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R., Kokorin D.N.* Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstruksii na podatlivykh oporakh pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhenii [Strength and deformability of reinforced concrete structures on compliant supports under dynamic loads]. Tomsk: TSUAB Publ., 2016. 277 p. (rus)
24. *Kumpyak O.G., Plevkov V.S., Kopanitsa D.G., Baldin I.V.* Nekotorye voprosy dinamiki zhelezobetona [Some questions of concrete dynamics]. *Vestnik TSUAB*. 2000. No. 1. Pp. 124–136. (rus)
25. *Plevkov V.S., Kolupaeva S.N., Kudyakov K.L.* Raschetnye diagrammy nelineynogo deformirovaniya bazal'tofibrobetona pri staticheskikh i kratkovremennykh dinamicheskikh vozdeystviyakh [Calculating diagrams of nonlinear deformation of basalt fiber concrete under static and dynamic loads]. *Vestnik TSUAB*. 2016. No. 3. Pp. 95–110. (rus)
26. *Plevkov V.S., Belov V.V., Baldin I.V., Nevskii A.V.* Modeli nelineynogo deformirovaniya uglerodofibrobetona pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom vozdeystviyakh [Models of nonlinear strain of carbon fibre-reinforced concrete under static and dynamic loads]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2016. No. 3 (56). Pp. 72–82. (rus)
27. *Plevkov V.S., Malinovskiy A.P., Baldin I.V.* Otsenka prochnosti i treshchinostoykosti zhelezobetonnykh konstruksiy po rossiyskim i zarubezhnym normam [Evaluation of strength and crack resistance of reinforced concrete structures according to Russian and International standards]. *Vestnik TSUAB*. 2013. No. 2. Pp. 144–153. (rus)