

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-103-114>



Экспериментальные исследования деформативности бетонных балок, армированных композитной арматурой

О.А. Ветрова¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
ул. Комсомольская 95, г. Орёл 302026, Российская Федерация

✉ e-mail: vetrovaoly@mail.ru

Резюме

Цель исследования. На основе экспериментальных данных провести анализ влияния уровня нагружения на деформативность балок со стальной и композитной стеклопластиковой арматурой при длительном действии нагрузки.

Методы. Проведены экспериментальные исследования бетонных изгибаемых элементов двух серий: первая серия армирована композитной стеклопластиковой арматурой класса АСК, вторая серия армирована стальной арматурой класса А400. Исследования экспериментальных образцов проведены при действии длительных нагрузок. В ходе эксперимента производилась выдержка конструкций под нагрузкой нескольких уровней: при расчетной нагрузке, при уровне 1,2 от расчетной нагрузки и при 1,5 от расчетной нагрузки. Выполнялась фиксация деформаций бетона, прогибов экспериментальных балок двух серий.

Результаты. На основе экспериментальных данных установлены зависимости деформаций бетона экспериментальных образцов двух серий от времени при различных уровнях нагружения, зависимости нарастания прогибов от уровня приложения нагрузки, зависимости влияния уровня загрузки элементов на скорость и интенсивность роста деформаций ползучести балок со стеклопластиковой и стальной арматурой. В частности, прогибы всех образцов со стеклопластиковым армированием превысили предельно допустимое значение, тогда как максимальный прогиб железобетонных балок в середине сечения не превышал предельно допустимого значения.

Заключение. На основании полученных данных сделаны выводы о характере и величине длительных деформаций балок со стеклопластиковой и стальной арматурой при различных уровнях длительной нагрузки, что является значимым в практическом смысле при применении бетонных конструкций с композитной арматурой, учитывая малое число данных исследований.

Ключевые слова: железобетонная балка; бетонная балка; композитная стеклопластиковая арматура; деформативность; ползучесть.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Ветрова О.А. Экспериментальные исследования деформативности бетонных балок, армированных композитной арматурой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(1): 103-114. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-103-114>.

Поступила в редакцию 26.11.2019

Подписана в печать 14.01.2020

Опубликована 21.02.2020

© Ветрова О.А., 2020

Pilot Studies of Concrete Beams Deformability Reinforced with Composite Reinforcement

Olga A. Vetrova ¹ ✉

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev
Komsomol'skaya str. 95, Kursk 302026, Russian Federation

✉ e-mail: aipykhtin@swsu.ru

Abstract

Purpose of research. Analysis is done on the basis of experimental data of loading level impact on deformability of beams with steel and composite fiberglass reinforcement at prolonged loads.

Methods. Experimental studies of concrete bending elements of two series were carried out: the first is reinforced with composite fiberglass reinforcement of ASK class, the second is reinforced with steel reinforcement of A400 class. Studies of experimental samples were carried out under long-term loads. The structures were under different loads during the experiment: at design load, at 1.2 level from design load and at 1.5 from the design load. Concrete deformations and deflections of experimental beams of two series were fixed.

Results. Dependence on time of concrete deformations of experimental samples of two series at different loading levels, dependence of deflection growth on load application level, influence dependence of loading level of elements on speed and intensity of creep deformation growth of beams with fiberglass and steel reinforcement are stated on the basis of experimental data. In particular, the bends of all samples with fiberglass reinforcement exceeded the maximum permissible value, while the maximum deflection of reinforced concrete beams in the middle of the section did not exceed maximum permissible value.

Conclusion. On the basis of the obtained data, conclusions are drawn on the nature and magnitude of long-term deformations of beams with fiberglass and steel reinforcement at different levels of long-term loads. This conclusion is significant in practical sense when using concrete structures with composite reinforcement taking into account a small number of research data.

Keywords: reinforced concrete beam; concrete beam; composite fiberglass fittings; deformability; creep.

Conflict of Interest: The author declare the absence of overt and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Vetrova O. A. Pilot Studies of Concrete Beams Deformability Reinforced with Composite Reinforcement. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020, 24(1): 103-114 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-103-114>.

Received 26.11.2019

Accepted 14.01.2020

Published 21.02.2020

Введение

Одним из направлений развития теории и практики железобетонных конструкций является повышение их коррозионной стойкости при воздействии агрессивных сред. Это обусловлено необ-

ходимостью повышения ресурса конструктивной безопасности и, следовательно, увеличения срока службы зданий и сооружений. Одним из путей решения проблемы коррозионной стойкости железобетонных конструкций явля-

ется частичное или полное замещение в железобетонных элементах стальной арматуры на другие (неметаллические) виды армирования. Исследования бетонных элементов, усиленных композитными видами арматуры, ведутся с 60-х годов прошлого столетия, однако активное производство и внедрение в строительную практику композитных видов арматуры началось в последние два десятилетия. Связанно это было, в том числе, с отсутствием законодательной базы и нормативно-технических документов в области применения композитной арматуры в строительстве. Отдельный нормативный документ по проектированию конструкций, армированных композитной арматурой¹, был утвержден лишь в 2017 г. В последнее десятилетие исследование таких конструкций проводится достаточно активно многими коллективами авторов² [1–11].

Рост производства и применения композитной арматуры базируется на определенных физико-механических преимуществах (высокая прочность, коррозионная стойкость, диамагнитность, неэлектропроводность и т. д.). Однако замена стальной арматуры на композитную (как предлагают некоторые произ-

водители) в массовых железобетонных конструкциях ограничивается из-за снижения прочности композитной арматуры при температурном воздействии, а также из-за низкого по сравнению со сталью модуля упругости.

В основе расчета бетонных конструкций, армированных композитной арматурой^{1,3,4}, лежит принцип расчета железобетонных конструкций с введением расчетных коэффициентов, учитывающих особенности поведения композитной арматуры под нагрузкой. Задачами дальнейших исследований в данном случае [8] является учет особенностей сцепления арматуры с бетоном, а также дальнейшее проведение экспериментально-теоретических исследований, в том числе для выявления особенностей напряженно-деформированного состояния конструкций при длительном нагружении.

Большинство современных исследований направленно на изучение поведения композитбетонных конструкций при кратковременном действии нагрузок [1, 3–5, 9, 10], лишь незначительное количество работ посвящено учету длительности действия нагрузки при исследовании НДС изгибаемых элементов [12, 13]. Так, в частности, в работе [13]

¹ СП 295.1325800.2017. Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования / Минстрой России. М., 2017. 52 с.

² Fico R. Limit states design of concrete structures reinforced with FRP bars: PhD thesis / University of Naples Federico II, Napoli, 2008, 167 p.

³ JSCE, Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials, Tokyo, Japan: Japan Society of Civil Engineers, 1997.

⁴ ACI 440.3R-12 Guide Test Methods for Fiber Reinforced Polymers (FRP) for Reinforcing and Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute, 2012.

приводятся результаты экспериментальных исследований балок со стеклопластиковой и базальтопластиковой арматурой, без сравнения их поведения под нагрузкой с аналогами из железобетона.

В настоящей работе в развитие [14] приводятся результаты экспериментальных исследований деформативности балок, армированных стеклопластиковой и стальной арматурой при действии длительных нагрузок. Основная цель работы – анализ влияния уровня нагружения на деформативность балок со стальной и стеклопластиковой арматурой при длительном действии нагрузки.

За основу при теоретических исследованиях деформативности испытуемых балок взят принцип расчета по деформационной модели Г.А. Гениева [15, 16]. В основу этой модели положен энергетический подход к переходу от эталонных диаграмм сжатия бетона к диаграммам неоднородного деформирования.

Материалы и методы

В рамках экспериментальных исследований выполнялись испытания опытных образцов – однопролетных бетонных балок с конструктивными размерами 60x120x1200 мм со стеклопластиковой (серия БСК) и стальной (серия БСС) арматурой. Бетон образцов класса В20; армирование выполнено плоскими вязанными симметричными каркасами с рабочей арматурой из стержней Ø4 мм класса АСК (серия БСК) и Ø6 мм класса А400 (серия БСС).

Поперечное армирование выполнено вертикальными хомутами из стержней Ø4 мм класса АСК (серия БСК) и Ø4 мм класса Вр500 (серия БСС). Фиксация арматурного каркаса в проектом положении осуществлялась при помощи фиксаторов защитного слоя бетона. Конструкции были изготовлены в заводских условиях методом опалубочного формования.

Однопролётные экспериментальные балки свободно опирались на опорах. Нагружение проводилось сосредоточенными силами в одной трети пролета. Схема приложения нагрузки при испытании экспериментальных конструкций, схема армирования и сечения балок представлены на рис. 1.

Испытания экспериментальных балок проводились в 2018-2019 гг. в соответствии с требованиями ГОСТ 8829-94. Возраст нагружаемых образцов на момент начала испытания составил один год, условия хранения образцов – в отапливаемом тёплом помещении. Загружение образцов производилось гравитационным методом с использованием штучных грузов, что позволило обеспечить стабильность нагрузки во времени.

Экспериментальные образцы в зависимости от уровня нагрузки при длительном нагружении были поделены на серии следующим образом:

– серия 1: образцы со стальным (БСС-1) и композитным (БСК-1) армированием, выдерживаемые под нагрузкой $P = 1,0 \cdot P_{расч}$;

– серия 2: образцы со стальным (БСС-2) и композитным (БСК-2) армированием, выдерживаемые под нагрузкой $P = 1,2 \cdot P_{расч}$;

– серия 3: образцы со стальным (БСС-3) и композитным (БСК-3) армированием, выдерживаемые под нагрузкой $P = 1,5 \cdot P_{расч}$.

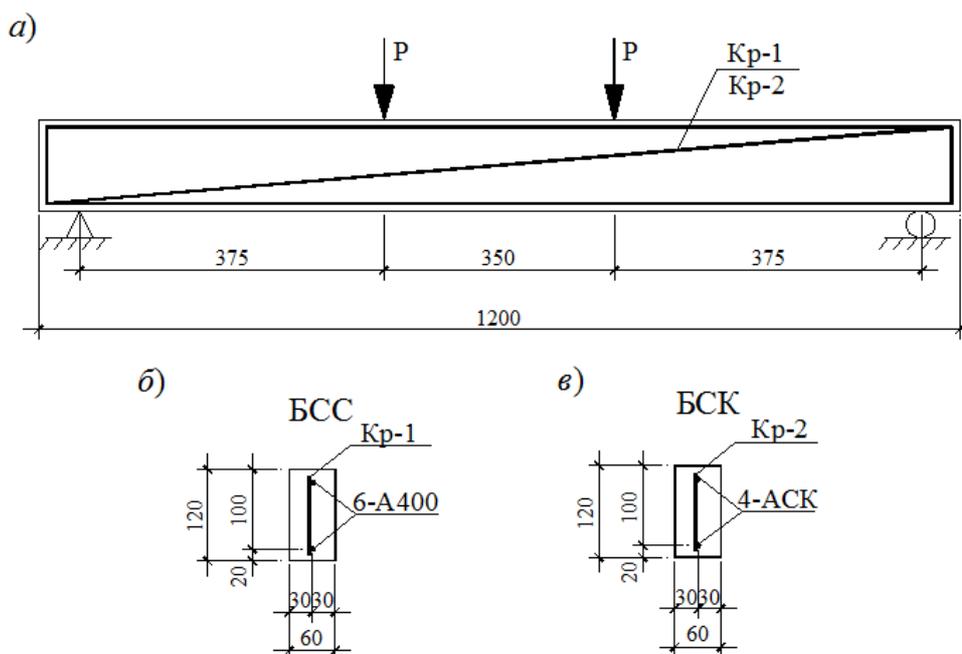


Рис. 1. Схема армирования экспериментальных балок: **а** – расчётная схема конструкции; **б** – поперечное сечение образцов со стальной арматурой типа БСС; **в** – поперечное сечение образцов со стеклопластиковой арматурой типа БСК

Fig. 1. Reinforcement diagram of experimental beams: **a** – design diagram of the structure; **б** – cross section of samples with steel reinforcement of BSS type; **в** – cross section of samples with fiberglass reinforcement of BSK type

Общий вид испытанных образцов представлен на рис. 2.

Приложение длительной нагрузки осуществлялось через специальную траверсу в течение 30 суток, при этом показания приборов снимались каждые 4 суток (96 часов). Прогибы фиксировались с помощью индикаторов часового типа МИГ-1, ИЧ-25 с ценой деления 0,01 мм и диапазоном измерения до 25 мм. Механические приборы крепились на специальном держателе, расположенном на неподвижной опоре.

Результаты и их обсуждение

В результате испытаний образцов были получены следующие данные в зависимости от прикладываемого усилия $P_{нагр}$: изгибающий момент M , прогибы f до момента длительных испытаний и во время них; деформации бетона в середине пролета ε_b . Развитие деформаций бетона ε_b в зависимости от вида армирования и величины загрузки представлены в виде диаграмм (рис. 3).



а)



б)

Рис. 2. Общий вид образцов типа БСС (со стальной арматурой) (а) и типа БСК (со стеклопластиковой арматурой) (б) после испытания

Fig. 2. General view of samples of type БСС (with steel reinforcement) (а) and type БСК (with fiberglass reinforcement) (б) after the test

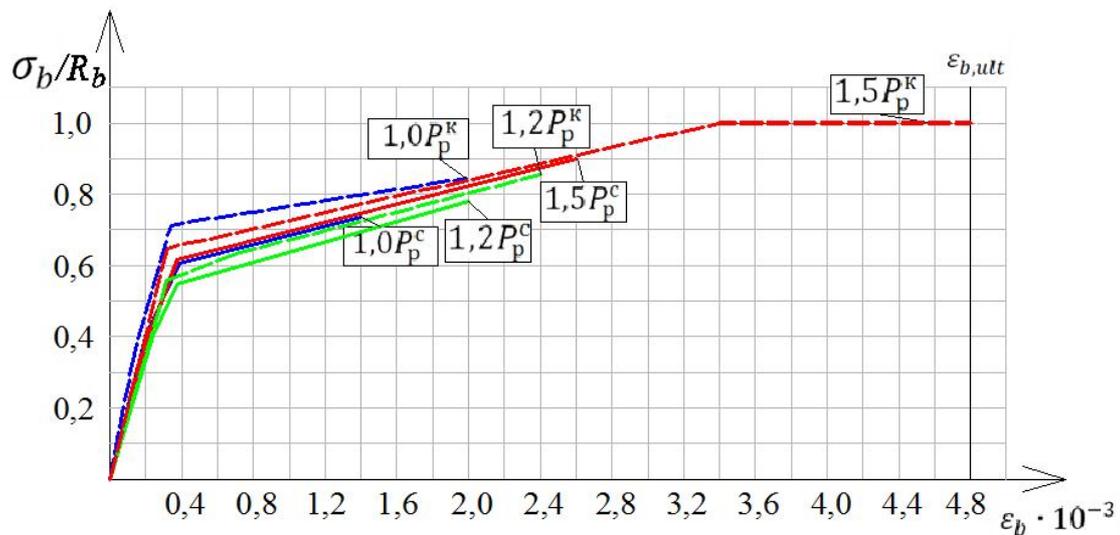


Рис. 3. Диаграммы $\sigma_b - \varepsilon_b$ при различном уровне нагружения образцов

Fig. 3. Charts $\sigma_b - \varepsilon_b$ at different sample loading levels

Для всех образцов балок диаграммы деформирования имеют двухлинейный вид. Характер деформирования образцов, армированных стеклопластиком, схож с железобетоном. Деформации бетона сжатой зоны образцов с композитом значительно больше, чем в железобетонных образцах. При загрузке образцов нагрузкой $1,5 \cdot P_{расч}$, зафиксировано достижение бетоном предельных деформаций у образца 3 серии БСК-3.

Диаграммы развития деформаций при постоянной нагрузке представлены на рис. 4. У всех образцов в течение 30 суток происходит нарастание деформаций, проявляется ползучесть материалов, однако наибольший рост наблюда-

ется в первые 12 суток. Характер нарастания деформаций во времени у образцов с композитом и сталью схож, при этом величина деформаций у первых выше. Скорость и величина ползучести значительным образом зависит от процента загрузки образцов. Так при выдержке балок 3 серии под нагрузкой $1,5 \cdot P_{расч}$ нарастание деформаций происходит наиболее выражено и достигает предельных деформаций бетона сжатой зоны. Стоит также отметить, что наиболее интенсивный рост деформаций происходит в первые 12 суток (288 часов) с момента начала длительных испытаний, далее процесс ползучести замедляется и носит затухающий характер.

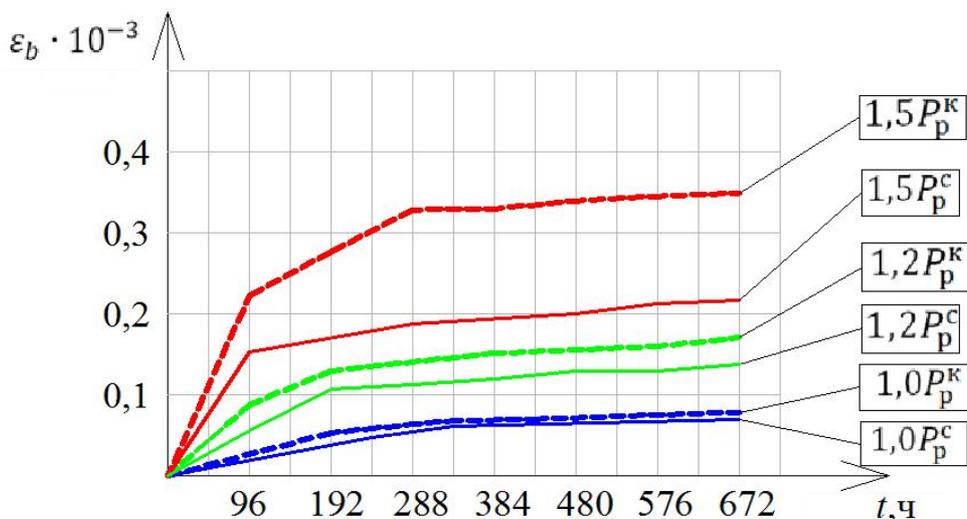


Рис. 4. Зависимости деформаций бетона от времени при различных уровнях нагружения

Fig. 4. Dependence of concrete deformations on time at various loading levels

Анализ представленной зависимости позволяет сделать вывод, что у бетонных балок со стеклопластиковым армированием ползучесть выше. Это можно объяснить повышенной деформативностью композитного армирующего материала.

Развитие прогибов в середине пролета образцов в зависимости от прикладываемого усилия представлено в виде зависимости « $M - f$ » на рис. 5.

Первый участок характеризуется тем, что нарастание прогибов происходит линейно, пропорционально приклады-

ваемому усилию. Далее происходит перелом диаграммы, что обуславливается нелинейностью деформаций бетона и снижением жесткости сечения за счет образования трещин. Рост прогибов происходит при незначительном увеличении нагрузки.

Прогибы всех образцов со стеклопластиковым армированием превысили

предельно допустимое значение $f_{ult} = 10$ мм. Стоит также отметить, что на протяжении всей экспериментальной части при испытании образцов с композитом, нарастание прогибов сопровождалось потрескиванием, а нарастание прогибов образцов со стальным армированием происходило равномерно без резких скачков.

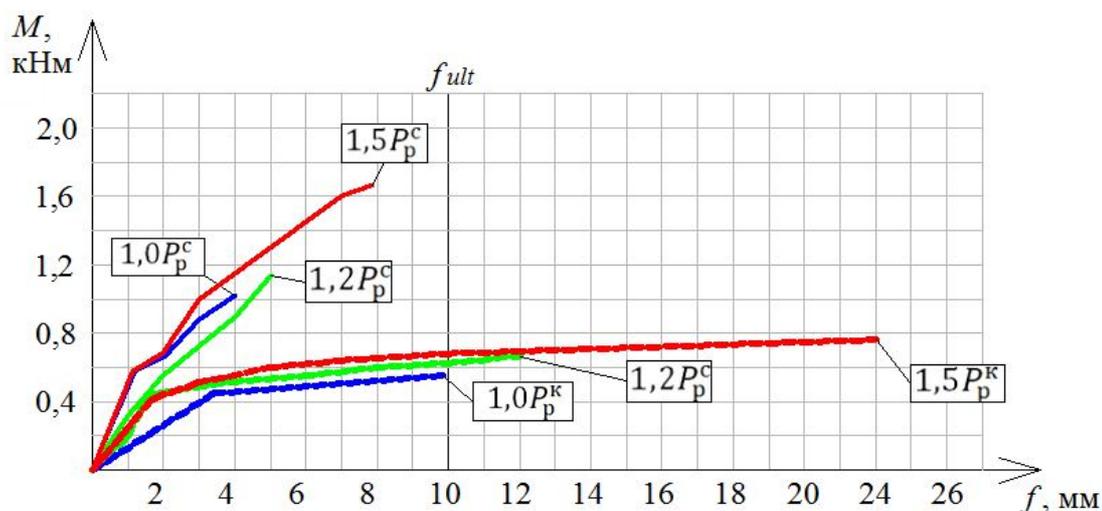


Рис. 5. Зависимость « $M - f$ » испытываемых образцов

Fig. 5. Dependence « $M - f$ » test sample

Максимальный прогиб железобетонных балок в середине сечения не превышал предельно допустимого значения. При сравнении прогибов бетонных балок с композитным БСК и стальным армированием БСС, у балок типа БСК прогиб больше практически в 3 раза.

Выводы

По результатам экспериментальных исследований деформативности бетонных балок со стеклопластиковым армированием можно сделать следующие выводы:

- характер деформирования образцов со стальным и композитным арми-

рованием схож между собой. Чем выше процент прикладываемой нагрузки, тем сильнее деформирование балок;

- деформативность образцов со стеклопластиком на порядок выше. При нагрузке, равной $1,5 \cdot P_{расч}$, деформативность бетона сжатой зоны достигает предельных значений $\varepsilon_{b,ult}$;

- при выдержке бетонных балок под постоянной нагрузкой было зафиксировано нарастание деформаций, вызванных ползучестью материала. Мера ползучести образцов со стеклопластиковой арматурой типа БСК выше. Нарастание и конечная величина ползучести зависит от процента нагружения

и времени выдержки образцов под нагрузкой;

– прогиб балок со стеклопластиковой арматурой достигает максимально допустимого значения при нагрузке порядка 80% от расчетной, в то время как в балках со стальной арматурой прогиб

не превышал максимально допустимых значений на протяжении всего нагружения. Максимальный прогиб балок при уровне нагружения в $1,5 \cdot P_{расч}$ со стеклопластиковым армированием типа БСК в 3 раза больше, чем у балок со стальной арматурой.

Список литературы

1. Антаков А.Б., Антаков И.А. Экспериментальные исследования изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматуры // Известия КГАСУ. 2014. №3. С. 7-13.
2. Габрусенко В.В. Особенности проектирования конструкций из бетона с композитной арматурой // Проектирование и строительство в Сибири. 2013. №6. С. 20-24.
3. Моргунов М.В., Копелиович Д.И. Экспериментальные исследования деформирования бетонной балки армированной стеклопластиковой арматурой // Инновации и инвестиции. 2019. № 4. С. 278-281.
4. Медянкин М.Д., Фаизова А.Т. Испытание бетонных элементов, армированных композитной неметаллической арматурой, на действие изгибающей нагрузки. Анализ полученных результатов // Материалы 10 Международной научно-практической конференции International innovation research. Пенза, 2017. С. 45-47.
5. О результатах экспериментального и численного исследований напряженно-деформированного состояния бетонных конструкций, армированных предварительно напряженными полимеркомпозитными стержнями / А.А. Пискунов, Т.А. Зиннуров, Д.В. Бережной, Б.Ш. Умаров, А.Р. Вольтер // Транспортные сооружения: интернет-журнал. 2018. №2. URL: <https://t-s.today/PDF/02SATS218.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/02SATS218
6. Польской П.П., Маилян Д.Р. Композитные материалы – как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2012. №4 (ч. 2). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307
7. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 45-47.
8. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №5. С.38-43.
9. Тур В.В., Малыха В.В. Экспериментальные исследования изгибаемых бетонных элементов с комбинированным армированием стальными и стеклопластиковыми стержнями // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки. 2013. № 8. С. 58-65.

10. Фролов Н.В., Смоляго Г.А., Полоз М.А. Экспериментальные исследования образцов армобетонных балок с различным содержанием в растянутой зоне стержней стеклопластиковой арматуры // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 60-64.

11. Ветрова О.А., Семенихин И.О. Проблемы применения неметаллической арматуры и разработка методики экспериментальных исследований бетонных балок, усиленных стеклопластиковой арматурой // Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сборник докладов международной научно-практической конференции: в 2 т. Белгород, 2017. С. 33-37.

12. Gross S. , Yost J., Kevgas G. Time-dependent behavior of normal and high strength concrete beams reinforced with GFRP bars under sustained loads // High Performance Materials in Bridges, American Society of Civil Engineers. 2003. P. 451-462.

13. Антаков А.Б. Антаков И.А. Экспериментальные исследования изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой при длительном приложении нагрузки // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы III Международной (IX Всероссийской) конференции НАСКР-2016. Чебоксары, 2016. С. 67 – 72.

14. Берестов А.Е., Крохин А.А., Ветрова О.А. Экспериментальное исследование длительной прочности и деформативности балок с композитным армированием // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная». Брянск, 2019. С. 78-81.

15. Гениев Г. А. Практический метод расчета длительной прочности бетона // Бетон и железобетон. 1995. №4. С. 25-27.

16. Никулин А.И., Колчунов В.И. Применение энергетических соотношений при построении расчетной модели для определения несущей способности сечений изгибаемых железобетонных элементов // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2005. № 4. С. 99.

References

1. Antakov A.B., Antakov I.A. Eksperimental'nye issledovaniya izgibaemykh elementov s polimerkompozitnoi armatury [Experimental studies with bent elements polimerkompozitnoy fittings]. *Izvetiya KGASU = News of the KSUAE*, 2014, no.3, pp. 7-13 (In Russ.).

2. Gabrusenko V.V. Osobennosti proektirovaniya konstruktsii iz betona s kompozitnoi armaturoi [Features of structural design of concrete with composite rebar]. *Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri = Design and construction in Siberia*, 2013, no.6, pp. 20-24 (In Russ.).

3. Morgunov M.V., Kopeliovich D.I. Eksperimental'nye issledovaniya deformirovaniya betonnoi balki armirovannoi stekloplastikovoii armaturoi [Experimental study of deformation of reinforced concrete beam with glass fiber reinforced plastic reinforcement].

mation of concrete beam reinforced fiberglass reinforcement]. *Innovatsii i investitsii= Innovation and investment*, 2019, no. 4, pp. 278-281 (In Russ.).

4. Medyankin M.D., Faizova A.T. [Testing of concrete elements reinforced by non-metallic composite reinforcement to the action of the bending load. Analysis of results]. *Materialy 10 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "International innovation research"* [Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference "International innovation research"]. Penza, 2017, pp. 45-47 (In Russ.).

5. Piskunov A.A., Zinnurov T.A., Berezhnoj D.V., Umarov B.Sh., Vol'ter A.R. O rezul'tatakh eksperimental'nogo i chislennogo issledovaniia napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya betonnykh konstruksii, armirovannykh predvaritel'no napryazhennymi polimerkompozitnymi sterzhnyami [On the results of experimental and numerical investigations of stress-strain state of concrete structures, prestressed reinforced rods polimerkompozitnymi]. *Internet-zhurnal "Transportnye sooruzheniya" = Internet magazine "Transport structures"*, 2018, no.2. (In Russ.). Available at: <https://t-s.today/PDF/02SATS218.pdf> (dostup svobodnyj). DOI: 10.15862/02SATS218.

6. Pol'skoj P.P., Mailyan D.R. Kompozitnye materialy – kak osnova effektivno-sti v stroitel'stve i rekonstruktsii zdaniy i sooruzhenii [Composite materials - as the basis of efficiency in the construction and reconstruction of buildings and structures]. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineers Don Gazette*, 2012, no.4 (chast' 2). (In Russ.). Available at: URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307.

7. Stepanova V.F., Stepanov A.Yu. Nemetallicheskaya kompozitnaya armatura dlya betonnykh konstruksii [Non-metallic composite reinforcement for concrete structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and civil engineering*, 2013, no. 1, pp. 45-47 (In Russ.).

8. Rimshin V.I., Merkulov S.I. Elementy teorii razvitiya betonnykh konstruksii s nemetallicheskoj kompozitnoi armaturoi [Elements of the theory of concrete structures with non-metallic composite armature]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and civil engineering*, 2015, no.5, pp. 38-43 (In Russ.).

9. Tur V.V., Malyha V.V. Eksperimental'nye issledovaniya izgibaemykh betonnykh elementov s kombinirovannym armirovaniem stal'nymi i stekloplastikovymi sterzhnyami [Experimental studies of bent concrete elements with a combined reinforcement steel and fiberglass rods]. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F: Stroitel'stvo. Prikladnye nauki = Herald of Polotsk State University. Series F. Civil engineering. Applied*, 2013, no. 8, pp. 58-65 (In Russ.).

10. Frolov N.V., Smolyago G.A., Poloz M.A. Eksperimental'nye issledovaniya obraztsov armobetonykh balok s razlichnym soderzhaniem v rastyanutoi zone sterzhnei stekloplastikovo armatury [Experimental studies of samples armobetonykh beams with different content in a stretched zone rods fiberglass reinforcement]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2017, no. 1, pp. 60-64 (In Russ.).

11. Vetrova O.A., Semehin I.O. [Problems of application of non-metallic reinforcement and development of methods of experimental research of concrete beams reinforced with fiberglass reinforcement]. *Nauka i innovacii v stroitel'stve (k 45-letiyu kafedry stroitel'stva i gorodskogo hozyajstva). Sbornik dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. [Science and innovation in construction. Proceedings of the international scientific-practical conference]. Belgorod, 2017, pp. 33-37 (In Russ.).*

12. Gross S., Yost J., Kevgas G. Time-dependent behavior of normal and high strength concrete beams reinforced with GFRP bars under sustained loads. *High Performance Materials in Bridges, American Society of Civil Engineers, 2003, pp. 451-462.*

13. Antakov A.B. Antakov I.A. [Experimental studies with bent elements polimerkompozitnoy valve for prolonged application of a load]. *Novoe v arhitekture, proektirovanii stroitel'nyh konstrukcij i rekonstrukcii. Materialy III Mezhdunarodnoj (IX Vserossijskoj) konferencii NASKR–2016 [The new architecture, structural design and renovation. Materials of the III International (IX All-Russian) Conference NASKR–2016]. CHEboksary, 2016, pp. 67 – 72 (In Russ.).*

14. Berestov A.E., Krohin A.A., Vetrova O.A. [Experimental study of long-term strength and deformability of beams with composite reinforcement]. *Materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Sreda, okruzhayushchaya cheloveka: prirodnaya, tekhnogennaya, social'naya" [Proceedings of the VIII International scientific-practical conference "The human environment: natural, technological, social]. Bryansk, 2019, pp. 78-81 (In Russ.).*

15. Geniev G. A. Prakticheskii metod rascheta dlitel'noi prochnosti betona [A practical method for calculating the long-term durability of concrete]. *Beton i zhelezobeton = Concrete and reinforced concrete, 1995, no.4, pp. 25-27 (In Russ.).*

16. Nikulin A.I., Kolchunov V.I. Primenenie energeticheskikh sootnoshenii pri postroenii raschetnoi modeli dlya opredeleniya nesushchei sposobnosti sechenii izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov [The use of power relations in the construction of the computational model to determine the bearing capacity of the cross sections of bent reinforced concrete elements]. *Vestnik central'nogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk = Bulletin of the Central Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, 2005, no. 4, 99 p. (In Russ.).*

Информация об авторе / Information about the Author

Ветрова Ольга Анатольевна,
доцент кафедры строительных конструкций
и материалов, ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет им. И.С. Тургенева»,
г. Орёл, Российская Федерация,
e-mail.ru: vetrovaoly@mail.ru

Olga A. Vetrova, Associate Professor,
Department of Building Structures and Materials,
Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel, Russian Federation,
e-mail: vetrovaoly@mail.ru