

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-8-14

^{1,*}Меркулов С.И., ²Акимов Э.К.¹Курский государственный университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: mersi.dom@yandex.ru

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕТОННЫХ БАЛОК С КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ С ОТГИБАМИ НА ПРИОПОРНЫХ УЧАСТКАХ

Аннотация. Одной из причины, ограничивающих широкое применение композитной стержневой арматуры, является невозможность применения данного вида арматуры в качестве поперечной на опорных участках изгибаемых элементов. Предлагается для обеспечения прочности изгибаемых элементов по наклонным сечениям выполнить отгиб стержней рабочей продольной рабочей арматуры, предложены геометрические параметры отгибов для некоторых видов композитной арматуры в зависимости от диаметра стержня. Для разработки методики расчета прочности наклонных сечений необходимо выработать экспериментально обоснованные предпосылки, учитывающие особенности совместной работы композитной стержневой арматуры в наклонных сечениях.

В статье предложена методика экспериментального исследования прочности и трещиностойкости армобетонных изгибаемых элементов с неметаллической композитной стержневой арматурой, включая конструкцию опытных образцов, схему установки приборов при испытании. Разработанная методика позволяет определить параметры прочности и трещиностойкости наклонных сечений изгибаемых элементов. Задачами экспериментальных исследований бетонных элементов, армированных композитной стержневой арматурой, является определение закономерности изменения напряженно-деформированного состояния бетона и композитной арматуры в процессе нагружения, определение характера разрушения элементов по наклонному сечению, получение данных о прочности и трещиностойкости элементов.

Ключевые слова: наклонное сечение, композитная арматура, отгибы арматуры, поперечное армирование.

Введение. Применение композитной арматуры позволяет обеспечить коррозионную безопасность бетонных конструкций зданий и сооружений с агрессивными условиями эксплуатации. В настоящее время накоплен значительный опыт применения композитной арматуры в широкой номенклатуре бетонных конструкций, при этом композитная арматура, как правило, применяется в сочетании со стальной арматурой [1–5]. Полная замена стальной арматуры на композитную сталкивается со значительными технологическими проблемами, решение которых на сегодняшний момент не найдено. В изгибаемых элементах вместе с продольными стержнями композитной арматуры приходится применять поперечную стальную арматуру. Для надежной работы поперечных стержней необходимо обеспечить надежную их анкеровку в случае образования наклонных трещин. Анкеровка поперечных стержней композитной арматуры не может обеспечиваться надежным креплением к продольным стержням, устройством анкеров, изготовлении замкнутых хомутов. Проектирование бетонных конструкций с композитной арматурой выполняются в соответствии со сводом правил СП

295.1325800.2017, некоторые положения которого нуждаются в экспериментальной проверке и уточнению. Так, расчет по наклонному сечению на действие поперечных сил предписывается выполнять как стальной поперечной арматуры с применением характеристик композитной арматуры, при этом не учитываются отмеченные особенности применения стержней композитной арматуры для поперечного армирования изгибаемых элементов.

В настоящее время выполняются исследования конструкций с композитной арматурой проводятся по различным направлениям: исследование прочности конструкций при различных напряженных состояниях и режимах нагружения [6–8], исследование деформативности [9, 10], исследования конструкций с армированием различными видами композитной арматуры [11, 12]. Так же выполняются исследования сцепления стержней композитной арматуры с бетоном [13], огнестойкости бетонных конструкций с композитной арматурой [14]. В то же время отсутствуют экспериментальные и теоретические исследования прочности наклонных сечений с армированием опорных участков стержневой ком-

позитной арматурой. В настоящей работе разработана методика испытаний изгибаемых балок по трещиностойкости и прочности наклонных сечений с армированием композитной арматурой в виде отгибов продольных стержней рабочей арматуры.

Методика. Задачами экспериментальных исследований бетонных изгибаемых балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках является:

- получение новых экспериментальных данных по прочности и трещиностойкости изгибаемых балок при кратковременном нагружении;
- выявить особенности совместной работы отгибов стержней композитной арматуры и бетона в наклонных сечениях;
- выявить механизм разрушения по наклонному сечению изгибаемых балок.

Методика экспериментальных исследований бетонных изгибаемых балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках включает:

- выбор материалов для изготовления опытных образцов балок;
- определение механических характеристик бетона и композитной арматуры;
- проектирование опытных образцов;

- разработка технологии изготовления опытных образцов балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках;
- разработка схемы установки приборов на опытных образцах;
- разработка схемы испытаний кратковременно действующей нагрузкой опытных образцов.

Основная часть. Композитная стержневая арматура используется в качестве продольного армирования, но не используется в качестве поперечного армирования, из-за технологических сложностей. Представляется возможным применить стержневую композитную арматуру для обеспечения наклонных сечений в виде отгибов.

Конструкция опытных балок представлена на рис. 1. Размеры опытных образцов составили 125×250×1800 мм. Материалы образцов: бетон класса В25, арматура базальтопластиковая с песчаным покрытием производства ROCKBAR ООО «Гален» диаметром 8 мм. Два стержня продольной арматуры расположены прямолинейно по всей длине балки, а оставшиеся два в четвертях пролета переводились из нижней зоны в пролете к верхней грани на опоре с выходом через верхнюю часть балки. Особенностью конструктивного решения опытных балок является отсутствие поперечного армирования по всей длине.

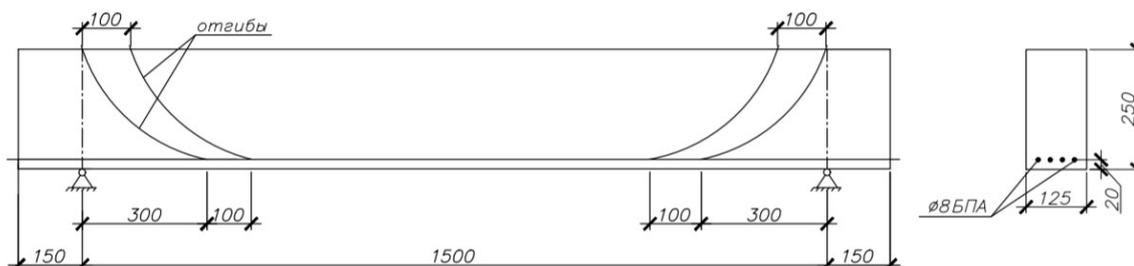


Рис. 1. Конструкция опытной балки

Механические характеристики композитной арматуры определены по ГОСТ 32495-2015, также учтены результаты экспериментальных исследований [15–18]. Необходимо отметить, что существует определенная сложность в назначении расчетных прочностных характеристик стержневой композитной арматуры. Значение сопротивления растяжению и значение модуля упругости назначают в соответствии с ГОСТ 31938–2012, который лишь устанавливает минимальные значения физико-механических показателей стержневой композитной арматуры. В то же время документ допускает, что предел прочности на растяжение и модуль упругости при растяжении должны быть не менее значений, указанных в документах изготовителей композитной арматуры. То есть проектирование бетонных конструкций с композитной арматурой воз-

можно только применительно к продукции конкретных предприятий, выпускающих композитную полимерную арматуру. Поэтому очень важно решить задачу назначения расчетного сопротивления композитной арматуры при проектировании бетонных конструкций с такой арматурой [19, 20].

Расположение отгибов стержней композитной арматуры необходимо выполнить максимально близко к траектории главных растягивающих напряжений. Варианты устройства отгибов в изгибаемых балках представлены на рис.2. Особенностью конструктивного решения экспериментальных балок являлось отсутствие поперечного армирования по всей длине.

При проектировании опытных балок решалась задача по определению величины радиуса загиба стержней композитной арматуры (табл. 1).

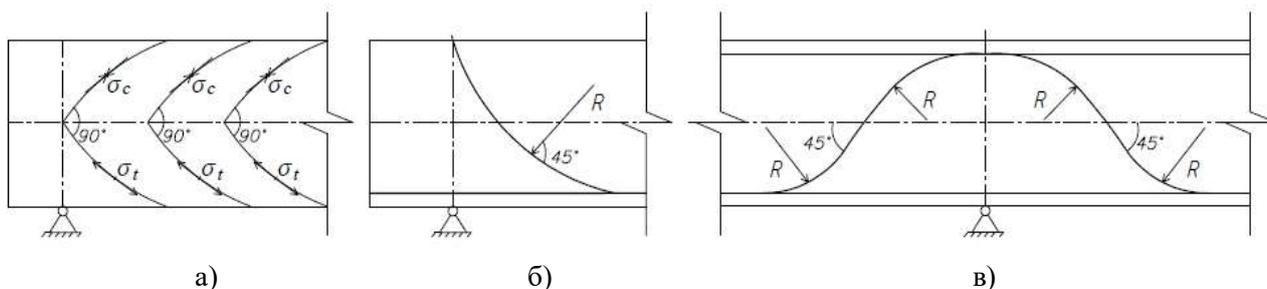


Рис. 2. Отгибы стержневой композитной арматуры в балках: а) траектории главных напряжений в балке, б) отгибы стержней арматуры на опоре однопролетной балки, в) отгибы стержневой арматуры на промежуточной опоре многопролетной балки

Таблица 1

Рекомендуемая минимальная величина радиуса загиба стержней композитной арматуры

	Диаметр стержня, мм	6	8	10
	Радиус загиба стержня R, мм	130	160	210

Для практики проектирования бетонных балок с композитной арматурой можно рекомендовать минимальную величину загиба стержней $20d$. Необходимо отметить, что для фиксации отогнутых стержней требуется установка дополнительной монтажной арматуры.

Испытания опытных балок проводятся на испытательном стенде, позволяющем устанавливать необходимые схемы приложения нагрузки и

режим испытаний. Нагружение составных железобетонных элементов проводится двумя сосредоточенными силами, приложенными на расстоянии 450 мм от опор. Нагрузку прикладывается ступенями по 0,1 разрушающей нагрузки, определенной предварительными испытаниями, на каждом этапе нагружения производилась выдержка 10 – 15 минут. Схема испытания опытных балок и схема установки приборов приведены на рис. 3.

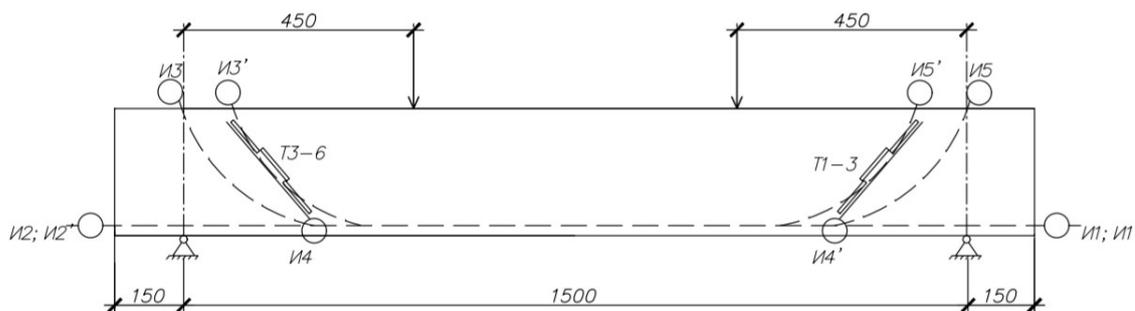


Рис. 3. Схема испытания балки и схема установки приборов: I1;I1',I2;I2' – индикаторы для оценки возможного проскальзывания продольной арматуры; I3;I3',I5;I5' – индикаторы для оценки возможного проскальзывания отогнутой арматуры; I4;I4' – индикаторы для оценки деформации балки по наклонному сечению; T1-6 – тензорезисторы

Контролируемые параметры в ходе испытания балки:

- разрушающая нагрузка;
- нагрузка, при которой образуются трещины;
- деформации бетона на приопорных участках;
- ширина раскрытия трещин на всех этапах нагружения;

– деформации смещения стержней композитной арматуры относительно бетона.

Для измерения деформаций бетона по наклонным сечениям на опытные балки были применены тензорезисторы типа ПКБ с базой 80 мм, наклеенные боковых поверхностях балки с обеих сторон балок в приопорной зоне по траектории наклонных сечений. Также параллельно

с тензодатчиками установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм. Данная схема расположения регистрирующих приборов позволит полностью оценить напряженно - деформированное состояние наклонных сечений. Так же для измерения деформации балок по наклонному сечению установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,1 мм. Для фиксации сдвига стержней арматуры в бетоне, установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,001мм в месте выпусков арматуры.

Выводы. Предложенная методика экспериментальных исследований изгибаемых бетонных балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках позволяет определить количественные и качественные параметры прочности наклонных сечений, а также оценить степень совместной работы отгибов композитной арматуры с бетоном после образования наклонных трещин. Предложены рекомендации по назначению радиуса отгиба композитных стержней при проектировании изгибаемых бетонных балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках.

Предлагаемой методики позволяет на каждой стадии проведения испытаний в режиме реального времени получать и оценивать напряженно-деформированное состояние опытных балок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акимов Э.К. Применение неметаллической композитной арматуры в бетонных конструкциях // Международный студенческий строительный форум – 2016 (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства). 2016. №1. С. 278–282.
2. Акимов Э.К. Перспективы применения неметаллической композитной арматуры в изгибаемых армобетонных элементах с отгибами на приопорных участках // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова). 2018. С. 10–13.
3. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.
4. Меркулов С.И., Римшин В.И. Композитные материалы для бетонных и железобетонных конструкций // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Сборник материалов Международной научно-технической конференции. С. 222–225.
5. Субботин А.И., Шутова М.Н., Шагина А.И. Анализ специфики использования композитного армирования в фундаментах возводимых и реконструируемых зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. № 2(75). С. 37–48.
6. Невский А.В. Экспериментальные исследования прочности бетонных колонн с углекомпозитным стержневым, дисперсным и внешним армированием на основе углеволокна при кратковременном динамическом нагружении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018 Т.20, № 4. С. 91–101.
7. Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красникова Н.М. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2(62). С. 32–41.
8. Krassowska, J., Lapko A. The influence of steel and basalt fibers on the shear and flexural capacity of reinforced concrete beams // Journal of Civil Engineering and Architecture. 2013. Vol. 7, № 7(68). Pp. 789–795.
9. Ветрова О.А. Экспериментальные исследования деформативности бетонных балок, армированных композитной арматурой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. № 24(1). С. 103–114.
10. Моргунов М.В., Копелиович Д.И. Экспериментальные исследования деформирования бетонной балки армированной стеклопластиковой арматурой // Инновации и инвестиции. 2019. № 4. С. 278–281.
11. 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.
12. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Ильин Д.А. Исследование особенности работы бетонных конструкций с комбинированным армированием (арматурой композитной полимерной и неметаллической фиброй) // Academia. Архитектура и строительство. 2017. №1. С. 124–128.
13. Богданова Е.Р. Изменение свойств сцепления композитной полимерной арматуры с бетоном в условиях воздействия различных сред // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 2. С. 39–43.
14. Меркулов С.И., Римшин В.И., Акимов Э.К. Огнестойкость бетонных конструкций с

композитной стержневой арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 4. С. 50–53.

15. Меркулов С.И., Акимов Э.К. Экспериментальные характеристики базальтопластиковой арматуры диаметра 6мм // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. С. 73–76.

16. Фролов Н.В., Обернихин Д.В., Никулин А.И., Лапшин Р.Ю. Исследование свойств композитной арматуры на основе стеклянных и базальтовых волокон // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №3. С. 18–21.

17. Фролов Н.В., Полоз М.А., Колесникова Е.Г. К вопросу об испытании стержневой полимеркомпозитной арматуры на осевое растяжение

// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №11. С. 74–77.

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. Vol. 40. Pp. 119–135.

19. Римшин В.И., Меркулов С.И. О нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №5. С. 22–26.

20. Бучкин А.В. Нормирование прочностных характеристик композитной арматуры // Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве. Сборник материалов Третьей научно-технической конференции. 2017. С. 15–20.

Информация об авторах

Меркулов Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры промышленного и гражданского строительства, E-mail: mersi.dom@yandex.ru. Курский государственный университет. Россия, 305000, Курск, ул. Радищева, д. 33.

Акимов Эльзар Каныбекович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: elzarakimov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 15.09.2020

© Меркулов С.И., Акимов Э.К., 2020

¹Merkulov S.I., ^{2,*}Akimov E.K.

¹Kursk State University

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: mersi.dom@yandex.ru

EXPERIMENTAL RESEARCH METHODOLOGY OF ELEMENTS WITH COMPOSITE FITTINGS WITH BENDING AT PRIORITY SECTIONS

Abstract. The inability of using this type of reinforcement as a cross on the support sections of the bent elements is one of the reasons limiting the wide use of composite rod reinforcement. To ensure the strength of bent elements along inclined sections, it is proposed to bend the rods of the working longitudinal working reinforcement, and geometric parameters of bends for some types of composite reinforcement are proposed, depending on the diameter of the rod. To develop a method for calculating the strength of inclined sections, it is necessary to develop experimentally justified prerequisites that take into account the features of joint operation of composite rod reinforcement in inclined sections. The article offers a method for experimental study of the strength and crack resistance of reinforced concrete bending elements with non-metallic composite rod reinforcement, including the design of prototypes, the installation scheme of devices during testing. The developed method allows to determine the parameters of strength and crack resistance of inclined sections of bent elements. The tasks of experimental studies of concrete elements reinforced with composite rod reinforcement are to determine the regularity of changes in the stress-strain condition of concrete and composite reinforcement during loading, to determine the nature of the destruction of elements along the inclined section, to obtain data on the strength and crack resistance of elements.

Keywords: inclined section, composite reinforcement, rebar bends, cross reinforcement.

REFERENCES

1. Akimov E.K. Application of non-metallic composite reinforcement in concrete structures

[Primeneniye nemetallicheskoj kompozitnoy armatury v betonnykh konstruksiyakh]. International student construction forum - 2016 (to the 45th anniversary of the Department of construction and urban management). 2016. No. 1. Pp. 278–282. (rus)

2. Akimov E.K. Prospects for the use of non-metallic composite reinforcement in bent reinforced concrete elements with bends in support areas [Perspektivy primeneniya nemetallicheskoj kompozitnoj armatury v izgibayemykh armobetonnnykh elementakh s otgibami na priopornykh uchastkakh]. Science and innovation in construction. Collection of reports of the International scientific and practical conference (to the 165th anniversary of the birth of V. G. Shukhov). 2018. Pp. 10-13. (rus)
3. Rimshin V.I., Merkulov S.I. Elements of the theory of development of concrete structures with non-metallic composite reinforcement [Elementy teorii razvitiya betonnykh konstruksiy s nemetallicheskoj kompozitnoj armaturoy]. Industrial and civil construction. 2015. No. 5. Pp. 38–42. (rus)
4. Merkulov S.I., Rimshin V.I. Composite materials for concrete and reinforced concrete structures [Kompozitnyye materialy dlya betonnykh i zhelezobetonnnykh konstruksiy]. Current issues of architecture and construction. Collection of materials of the International scientific and technical conference 2018. Pp. 222–225. (rus)
5. Subbotin A.I., Shutova M.N., Shagina A.I. Analysis of the specifics of using composite reinforcement in the foundations of buildings under construction and reconstruction [Analiz spetsifiki ispol'zovaniya kompozitnogo armirovaniya v fundamentakh vozvodimyykh i rekonstruiruyemykh zdaniy]. Bulletin of the Volgograd state University of architecture and civil engineering. Series: Construction and architecture. 2019. No. 2 (75). Pp. 37–48. (rus)
6. Nevsky A.V. Experimental studies of the strength of concrete columns with carbon-composite rod, dispersed and external reinforcement based on carbon fiber under short-term dynamic loading [Eksperimental'nyye issledovaniya prochnosti betonnykh kolonn s uglekompozitnym sterzhnevym, dispersnym i vneshnim armirovaniyem na osnove uglevolokna pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhenii]. Bulletin of the Tomsk state University of Architecture And Civil Engineering. 2018 Vol. 20, No. 4. Pp. 91–101. (rus)
7. Gizdatullin A.R., Khusainov R.R., Khozin V.G., Krasnikova N. M. Strength and deformability of concrete structures reinforced with polymer composite rods [Prochnost' i deformativnost' betonnykh konstruksiy, armirovannykh polimerkompozitnymi sterzhnyami]. Civil engineering magazine. 2016. No. 2 (62). Pp. 32–41. (rus)
8. Krassowska J., Lapko A. The influence of steel and basalt fibers on the shear and flexural capacity of reinforced concrete beams. Journal of Civil Engineering and Architecture. 2013. Vol. 7. No.7 (68). Pp. 789–795.
9. Vetrova O.A. Experimental studies of deformability of concrete beams reinforced with composite reinforcement [Eksperimental'nyye issledovaniya deformativnosti betonnykh balok, armirovannykh kompozitnoj armaturoy]. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2020. No. 24(1). Pp. 103–114. (rus)
10. Morgunov M.V., Kopeliovich D.I. Experimental studies of concrete beam deformation with reinforced fiberglass reinforcement [Eksperimental'nyye issledovaniya deformirovaniya betonnoy balki armirovannoy stekloplastikovoy armaturoy]. Innovation and investment. 2019. No.4. Pp. 278–281. (rus)
11. Frolov N.V., Smolyago G.A., Poloz M.A. Experimental studies of samples of reinforced concrete beams with different contents in the stretched zone of fiberglass reinforcement rods [Eksperimental'nyye issledovaniya obraztsov armobetonnnykh balok s razlichnym sodержaniyem v rastyanutoy zone sterzhney stekloplastikovoy armatury]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2017. No. 1. Pp. 60–64. (rus)
12. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Ilyin D.A. Investigation of the features of concrete structures with combined reinforcement (composite polymer and non-metallic fiber reinforcement) [Issledovaniye osobennosti raboty betonnykh konstruksiy s kombinirovannym armirovaniyem (armaturoy kompozitnoy polimernoy i nemetallicheskoj fibroy)]. Academia. Architecture and construction. 2017. No. 1. Pp. 124–128. (rus)
13. Bogdanova E.R. Changes in the properties of coupling of composite polymer reinforcement with concrete under the influence of various media [Izmeneniye svoystv stsepleniya kompozitnoy polimernoy armatury s betonom v usloviyakh vozdeystviya razlichnykh sred]. Industrial and civil construction. 2016. No. 2. Pp. 39–43. (rus)
14. Merkulov S.I., Rimshin V.I., Akimov E.K. Fire resistance of concrete structures with composite rod reinforcement [Ognestoykost' betonnykh konstruksiy s kompozitnoy sterzhnevoy armaturoy]. Industrial and civil construction. 2019. No. 4. P. 50–53. (rus)
15. Merkulov S.I., Akimov E.K. Experimental characteristics of basalt-plastic rebar with a diameter of 6 mm [Eksperimental'nyye kharakteristiki bazal'toplastikovoy armatury diametra 6mm]. Science and innovation in construction: sat. Dokl. International. scientific-practical Conf. Belgorod: BSTU Publishing house, 2017. Pp. 73–76. (rus)
16. Frolov N.V., Obernikhin D.V., Nikulin A.I., Lapshin R.Yu. Investigation of the properties of composite reinforcement based on glass and basalt fibers [Issledovaniye svoystv kompozitnoy armatury na osnove steklyannykh i bazal'tovykh volokon].

Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2015. No. 3. Pp. 18–21. (rus)

17. Frolov N.V., Poloz M.A., Kolesnikova E.G. On the test of rod polymer composite reinforcement for axial tension [K voprosu ob ispytanii sterzhnevoy polimerkompozitnoy armatury na osevoye rastyazheniye]. Bulletin of the Belgorod state technological University named after V.G. Shukhov. 2016. No. 11. Pp. 74–77. (rus)

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. Vol. 40. Pp. 119–135.

19. Rimshin V.I., Merkulov S.I. On normalization of characteristics of rod nonmetallic composite reinforcement [O normirovani kharakteristik sterzhnevoy nemetallichesko kompozitnoy armatury]. Industrial and civil construction. 2016. No. 5. Pp. 22–26. (rus)

20. Buchkin A.V. Normalization of strength characteristics of composite reinforcement [Normirovaniye prochnostnykh kharakteristik kompozitnoy armatury]. Current issues of the theory and practice of composite reinforcement in construction. Collection of materials of the Third scientific and technical conference. 2017. Pp. 15–20. (rus)

Information about the authors

Merkulov, Sergey I. DSc, Professor. E-mail: mersi.dom@yandex.ru. Kursk state University. 33 Radishcheva str., Kursk, 305000, Russia.

Akimov, Elzar K. Graduate student. E-mail: elzarakimov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Received 15.09.2020

Для цитирования:

Меркулов С.И., Акимов Э.К. Методика экспериментальных исследований бетонных балок с композитной арматурой с отгибами на приопорных участках // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 8–14. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-8-14

For citation:

Merkulov S.I., Akimov E.K. Experimental research methodology of elements with composite fittings with bending at priority sections. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 8–14. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-8-14