

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.059.3

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-5-92-100

В.И. РИМШИН¹, С.И. МЕРКУЛОВ²,

¹Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет,

²Курский государственный университет

К ВОПРОСУ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ*

Рассмотрены основные направления применения неметаллической композитной арматуры при усилении эксплуатируемых железобетонных конструкций. Сформулированы основные направления развития теории расчета конструкций с композитной арматурой. Усиленная железобетонная конструкция представляет собой сложную систему, в которой упругий элемент усиления объединяется с железобетонной конструкцией клеевой композицией, обладающей неупругими свойствами. Показано, что основным фактором, обеспечивающим надежность конструкции, является сцепление композитной стержневой арматуры с бетоном. При выполнении усиления внешним армированием композитными материалами необходимо обеспечить совместную работу элемента усиления и основной усиливаемой конструкции. Сегодня методики проектирования усиления железобетонных конструкций композитными материалами не учитывают деформации сдвига в контактном шве, сцепление композитного материала с бетоном косвенно оценивается введением коэффициента условий работы композитного материала при назначении его расчетного сопротивления.

В работе проведены экспериментальные исследования железобетонных конструкций усиленных изгибаемых элементов внешним армированием из композитных материалов различных видов. Использовались железобетонные балки с арматурой класса А500 и с арматурой класса А600. Опытные образцы балок были усилены холстами из стеклоткани и углеткани, углеламинатами. Часть образцов на торцах имели U-образные анкеры из композитного материала. Усиленные балки имели различные схемы разрушения: отслоение композита вследствие разрушения клея в зоне образования нормальных и наклонных трещин, отслоение композита с разрушением бетона защитного слоя, разрыв композита. Часть железобетонных балок до усиления имели трещины в растянутой зоне. Наличие трещин не оказало влияния на несущую способность усиленных балок.

Ключевые слова: композитная арматура; железобетонные конструкции; усиление; повреждение конструкций; сцепление.

* Исследования выполнены в рамках темы 7.1.12 Плана фундаментальных научных исследований Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) и Минстроя России на 2017–2018 гг.

Для цитирования: Римшин В.И., Меркулов С.И. К вопросу усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитным материалом // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 5. С. 92–100.

V.I. RIMSHIN¹, S.I. MERKULOV²,

¹*The National Research Moscow State University of Civil Engineering,*

²*Kursk State University*

EXTERNAL REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES USING COMPOSITE MATERIALS

The paper describes the main directions of non-metallic composite application in concrete reinforcement. The development routes of the structural analysis with composite reinforcement are formulated. The reinforced concrete structure combines the elastic reinforcement element with an adhesive composition having inelastic properties. It is shown that the structural reliability is ensured by adhesion of composite core reinforcement to the concrete. When performing external reinforcement of composite materials, it is necessary to ensure the joint operation of reinforcing elements and the main structure. Today, design methods of concrete structure reinforcement with composite materials do not take into account shear strains in the contact seam. Adhesion of composite material to concrete is indirectly assessed by introducing the service factor of composite material when its design resistance is assigned.

Experimental studies concern concrete structures reinforced by bent elements with external reinforcement made of various composite materials. Reinforced concrete beams with A500 and A600 class reinforcement are considered. Test beams are reinforced with fiberglass, coal and carbonates canvases. Some of test beams have U-shaped anchors at the ends and are made of composite materials. Reinforced beams fracture by different schemes: composite peeling due to the adhesive destruction in the area of formation of normal and inclined cracks, composite peeling with the destruction of protective layer, composite rupture. A part of reinforced concrete beams before the reinforcement are cracked in the stretched zone. Cracks do not affect the load-bearing capacity of reinforced beams.

Keywords: composite rebar; concrete structure; strengthening; structural damage; adhesion.

For citation: Rimshin V.I., Merkulov S.I. K voprosu usileniya zhelezobetonnykh konstruktssii vneshnim armirovaniem kompozitnym materialov [External reinforcement of concrete structures using composite materials]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 5. Pp. 92–100.

В настоящее время накоплен опыт усиления железобетонных конструкций зданий и инженерных сооружений [1–3]. При усилении железобетонных конструкций широко применяются композиционные материалы [4–9]. Таким системам усиления присущи малые вес и размеры, стойкость к агрессивным воздействиям, простота технологии усиления, что делает применение таких систем экономически обоснованным, несмотря на высокую стоимость композитных материалов. Разработаны предложения по проектированию усиления железобетонных конструкций композиционными материалами [10–13]. При расчете усиления железобетонных конструкций внешним армированием рассматриваются предельные состояния: разрушение сжатой зоны бетона до достижения напряжений текучести в стальной растянутой арматуре железобе-

тонной конструкции; наступление текучести в растянутой стальной арматуре и последующий разрыв внешней композитной арматуры без разрушения сжатой зоны бетона; наступление текучести в растянутой стальной арматуре и последующее разрушение внешней композитной арматуры; разрушение от отслоения элементов внешней композитной арматуры. Как показали исследования [14, 15], возможны также схемы разрушения усиленных конструкций вследствие отрыва защитного слоя бетона совместно с внешней арматурой вдоль стержневой стальной арматуры, а также отслоение композитной внешней арматуры от бетонной поверхности усиливаемой конструкции. Для предотвращения отслоения композиционного элемента усиления ограничивают уровень его деформаций из предположения, что отслаивание возможно, если деформации элемента не могут быть восприняты бетоном конструкции. В настоящее время проводятся исследования применения композитных материалов в бетонных и железобетонных конструкциях [16–19].

Система усиления железобетонных конструкций внешним армированием композиционными материалами должна обеспечивать включение в работу элементов усиления и их совместную работу с усиливаемой конструкцией. Усиленная железобетонная конструкция представляет сложную систему, в которой упругий элемент усиления объединяется с железобетонной конструкцией клеевой композицией, обладающей неупругими свойствами. Отдельными исследованиями [20] показана податливость контактного шва между бетонной поверхностью и композитной внешней арматурой. В методиках расчета усиления железобетонных конструкций не учитываются деформации сдвига в контактном шве. Сцепление композиционного материала с бетоном косвенно оценивается введением коэффициента условий работы композиционного материала при назначении его расчетного сопротивления [10, 11]. Исследования усиленных конструкций внешним армированием пластиками показывает, что характер разрушения усиленных конструкций зависит от множества факторов и не точно прогнозируется. При усилении железобетонных конструкций, имеющих значительные поверхностные коррозионные повреждения, перед наклейкой элементов из композитных материалов необходимо выполнять ремонт поверхности конструкции. Ремонт выполняют цементными, полимерными растворами, которые имеют деформативные характеристики, отличные от аналогичных характеристик бетона усиливаемой конструкции. Отремонтированный и усиленный по такой технологии элемент представляет собой сложную слоистую конструкцию. В этом случае усиленный элемент необходимо рассчитывать с учетом податливости контактных швов системы: железобетонный элемент – ремонтный раствор – композитная арматура.

При выполнении усиления внешним армированием композитными материалами необходимо обеспечить совместную работу элемента усиления и основной усиливаемой конструкции. Усиленная железобетонная конструкция представляет собой сложную систему, в которой упругий элемент усиления объединяется с железобетонной конструкцией клеевой композицией, обладающей неупругими свойствами. Методики проектирования усиления железобетонных конструкций композитными материалами не учитывают деформации сдвига в контактном шве, сцепление композитного материала

с бетоном косвенно оценивается введением коэффициента условий работы композитного материала при назначении его расчетного сопротивления.

В настоящее время рядом автором проведены экспериментальные исследования железобетонных конструкций, усиленных композитными материалами. В работах [15, 21] приведены экспериментальные исследования усиленных изгибаемых элементов внешним армированием из композитных материалов различных видов. Исследовались железобетонные балки с арматурой класса А500 и с арматурой класса А600. Опытные образцы балок были усилены холстами из стеклоткани и углеткани, углеламинатами. Часть образцов на торцах имели U-образные анкеры из композитного материала. Усиление изгибаемых железобетонных элементов композитными материалами повышает несущую способность балок до 140 % в зависимости от типа композита и наличия анкеров. При этом наличие анкерных устройств повышает несущую способность усиленной балки до 50 % по сравнению с усиленными элементами без анкеров. Усиленные балки имели различные схемы разрушения: отслоение композита вследствие разрушения клея в зоне образования нормальных и наклонных трещин, отслоение композита с разрушением бетона защитного слоя, разрыв композита. Часть железобетонных балок до усиления имели трещины в растянутой зоне, наличие трещин не оказало влияния на несущую способность усиленных балок.

В работе [22] приведены результаты экспериментальных исследований усиленных композитным внешним армированием железобетонных балок. Усиление балок выполнено при наличии нормальных трещин наклейкой на растянутую грань углеволокна, число слоев углеволокна варьировалось от 1 до 4. В качестве опытных образцов использовались балки длиной 1290 мм с поперечным сечением 120×190 мм. Было испытано 4 серии по 10 балок в каждой. Все балки нагружались до появления первых нормальных трещин, затем наклеивалось углеволокно. В качестве варьируемых факторов принимались число слоев усиления (от 1 до 4 слоев) и расположение бандажей по длине пролета. Балки, усиленные одним слоем углепластика, разрушались с отслоением углепластика, разрушение остальных образцов происходило по бетону сжатой зоны. Усиление балок увеличило несущую способность до 130 %.

Результаты исследований усиленных балок, выполненных с целью определения принципов распределения напряжений между составляющими контактной зоны «бетон – композит», значений максимальных и эффективных длин анкеровки композитных элементов внешнего армирования, приведены в работах [23, 24]. Разрушение балок из бетонов меньшей прочности происходило вследствие отрыва бетона на глубину до 40 мм от клеевого шва. В случае разрушения балок из бетонов большей прочности вследствие разрушения клеевого соединения отмечено, что основным фактором, влияющим на эффективность усиления, является прочность клеевого соединения пластин усиления с бетоном.

В работе [25] анализируются экспериментальные исследования по усилению углеродными композитными материалами железобетонных ребристых плит покрытия эксплуатируемого здания. Усиление представляло собой приклеивание полос из углеродных тканей или ламинатов на нижнюю поверхность продольных ребер плит. В общем случае повышение несущей способ-

ности составило 40 %. По результатам исследований предложено в расчетах учитывать вероятность отслоения внешнего армирования при превышении в нем предельных величин нормальных напряжений. Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что основной схемой разрушения изгибаемых железобетонных элементов внешним армированием является отслоение композитной арматуры.

В настоящее время отсутствуют экспериментально обоснованные теоретические методы оценки сцепления внешней композитной арматуры с бетоном, а действующие стандарты не содержат положений по экспериментальной оценке сцепления внешней композитной арматуры с бетоном. Исследование сцепления композитной арматуры с бетоном проводят на бетонных образцах, к которым приклеены композитные ленты. К свободному концу ленты прикладывается растягивающее усилие, что не обеспечивает центрального растяжения образца [26].

Авторами для оценки прочности сцепления композитного материала с бетоном предложена конструкция составной бетонной балки. Сечение образца 100×150 мм, полная длина образца 1400 мм, длина бетонных блоков 640 мм.

Предложенная конструкция экспериментального образца полностью исключает влияние указанных выше факторов на показатели прочности сцепления композитного материала с бетоном. В качестве внешнего армирования применена углеволоконная ткань, наклеенная в один слой. Прочностные характеристики бетона определены испытанием бетонных кубов и призм $R_b = 11,65$ МПа, $R_{bt} = 0,9$ МПа. Характеристики углеволоконной ткани определены по ГОСТ 25.601–80, для сухого волокна прочность на растяжение 1911 МПа, модуль упругости 101 000 МПа, для пропитанного полимером волокна 2940 и 279 000 МПа соответственно. Ширина ленты углеволоконной ткани, приклеенной к нижней грани балки, составляет 75 мм, длина анкеровки полосы – 260 и 300 мм [27].

Разрушение контакта «композитный материал – бетон» происходит по клеевому шву или по бетону вблизи клеевого шва. Касательные напряжения в контактной зоне в момент разрушения составили 1,12 МПа, эта величина превышает расчетное сопротивление срезу для бетонов вплоть до класса В40. При проектировании усиления внешним армированием оценивать сцепление композитного элемента с бетоном более целесообразно из условия прочности бетона на срез, чем прочности клеевого шва на сдвиг.

Предложенная схема испытания сцепления внешней композитной неметаллической арматуры с бетоном позволила определить количественные и качественные параметры, на основе которых можно предложить ряд положений по проектированию усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитными материалами и сформулировать задачи исследования конструкций данного класса.

Таким образом, на механизм нарушения сцепления внешней композитной арматуры влияет образование и раскрытие нормальных трещин в бетоне. При образовании трещины в бетоне растягивающие напряжения в зоне трещин распределяются между композиционным материалом и бетоном, возрастают напряжения по контакту композиционного материала и бетона. Возникновение

нескольких трещин в бетоне растянутой зоны усиленной конструкции делает непредсказуемым момент и место отслоения композитной внешней арматуры. Является весьма актуальным изучение напряженно-деформированного состояния системы «композит – бетон» при начале трещинообразования в бетоне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меркулов С.И., Татаренков А.И., Стародубцев В.Г. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 4. С. 41–43.
2. Меркулов С.И., Дворников В.М., Татаренков А.И., Меркулов Д.С. Исследования усиленных железобетонных конструкций // Известия вузов. Строительство. 2009. № 9. С. 123–129.
3. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. М.: Стройиздат, 2007, 180 с.
4. Andrae H.-P., Kusch O., Maier M. Carbon Fibre Composites, a New Generation of Reinforcement for cement and Prestressing Tendons // Бетон и железобетон – пути развития: научные труды 2-й Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону (5–9 сентября 2005 г.). М., 2005. Т. 4. С. 535–546.
5. CNR-DT. 200/2004. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP. Systems for Strengthening Existing Structures. Rome. 2004. 144 p.
6. Banthia N. Fiber Reinforced Polymers in Concrete Construction and Advanced Repair Technologies. Department of Civil Engineering University of British Columbia. 37 p.
7. Cardolin A. Carbon Fibre Reinforced Polymers for Strengthening of Structural Elements. Division of Structural Engineering, Department of Civil and Mining Engineering, Lulea University of Technology, Sweden. 2003. 194 p.
8. Hoff G.W. Strong Medicine. Fiber-reinforced Polymer Materials Can Help Cure Many Ills that beset Concrete. Concrete Construction. July 2000. P. 40–47.
9. Nanni A. Guides and Specifications for the Use of Composites in Concrete and Masonry Construction in North America // Composites in Construction: A Reality: Proc. Int. Workshop. Capri, Italy, 2001. July 20-2. P. 9–18.
10. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. ГУП НИИЖБ. М.: ООО «Интераква», 2006. 48 с.
11. ОДМ 218.3.027–20013. Рекомендации по применению тканевых композиционных материалов при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений / Росавтодор. М.: РОСДОРНИИ, 2013. 60 с.
12. Римшин В.И., Галубка А.И., Синютин А.В. Инженерный метод расчета усиления железобетонных плит покрытия композитной арматурой // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 3. С. 218–220.
13. Кустикова Ю.О., Римшин В.И., Шубин Л.И. Практические рекомендации и технико-экономическое обоснование применения композитной арматуры в железобетонных конструкциях зданий и сооружений // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 14–18.
14. Юшин А.В., Морозов В.И. Экспериментальные исследования двух пролётных железобетонных балок, усиленных композитными материалами по наклонному сечению // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 5 (46). С. 77–84.
15. Подольский П.П., Михуб Ахмад. О программе исследований изгибаемых железобетонных элементов, усиленных различными видами композитных материалов // Строительство-2012: сб. научн. трудов. Ростов н/Д, 2012. С. 51–52.
16. Кустикова Ю.О., Римшин В.И. Напряженно-деформированное состояние базальтопластиковой арматуры в железобетонных конструкциях // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 6–9.
17. Римшин В.И., Меркулов С.И. О нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 22–26.
18. Меркулов С.И. Анализ и перспективы развития усиления бетонных конструкций композитной арматурой // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения:

- материалы международных академических чтений. Курск: Курский государственный ун-т. 2015. С. 170–175.
19. Степанов А.Ю., Римшин В.И. Напряженно-деформированное состояние конструкций зданий и сооружений, армированных композитной полимерной арматурой при сейсмическом воздействии // Строительство и реконструкция. 2015. № 1 (57). С. 57–61.
 20. Vincenzo Bianco, Joaquim A.O. Barros, Giorgio Monti. Bond Model of NSM-FRP Strips in the Context Strengthening of RC Beams // Journal of Structural Engineering. 2003. June. P. 619–630.
 21. Михуб Ахмад, Польской П.П., Маилян Д.Р., Блягоз А.М. Сопоставление опытной и теоретической прочности железобетонных балок, усиленных композитными материалами, с использованием разных методов расчёта // Новые технологии, МГТУ. Майкоп, 2012. Вып. 4. С. 101–110.
 22. Григорьева Я.Е. Экспериментальное исследование влияния внешнего армирования изгибаемых железобетонных балок углеволокном на прочность и жесткость конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 8. С. 181–185.
 23. Бадалова Е.Н. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных приклеиванием углепластиковых пластин // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Прикладные науки. 2009. № 12. С. 45–50.
 24. Бадалова Е.Н. Усиление изгибаемых железобетонных конструкций углепластиковой арматурой // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия. F. Прикладные науки. 2007. № 6. С. 54–59.
 25. Параничева Н.В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2. С. 19–22.
 26. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.
 27. Меркулов С.И., Есипов С.М. Прочность и деформативность композитного материала на основе углеродной фибры при одноосном растяжении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 69–73.

REFERENCES

1. Merkulov S.I., Tatarenkov A.I., Starodubtsev V.G. Usilenie zhele-zobetonnykh konstruktssii ekspluatiruemykh zdaniy i sooruzhenii [Strengthening of reinforced concrete structures used buildings and structures]. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2017. No. 4. Pp. 41–43. (rus)
2. Merkulov S.I., Dvornikov V.M., Tatarenkov A.I., Merkulov D.S. Issledovaniya usilennykh zhelezobetonnykh konstruktssii [Research reinforced concrete structures]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2009. No. 9. Pp. 123–129. (rus)
3. Shilin A.A., Pshenichnyi V.A., Kartuzov D.V. Vneshnee armirovanie zhelezobetonnykh konstruktssii kompozitsionnymi materialami [External reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials]. Moscow: Stroiizdat, 2007, 180 p. (rus)
4. Andrae H.-P., Kusch O., Maier M. Carbon fibre composites, a new generation of reinforcement and prestressing tendons. *Nauchnye trudy 2-oi Vserossiiskoi (Mezhdunarodnoi) po betonu i zhelezobetonu 'Beton i zhelezo-beton – puti razvitiya' (Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Concrete and Reinforced Concrete – Glance at Future')*. 2005. V. 4. Pp. 535–546.
5. *CNR-DT. 200/2004*. Guide for the design and construction of externally bonded FRP. Systems for Strengthening Existing Structures. Rome. 2004. 144 p.
6. Banthia N. Fiber reinforced polymers in concrete construction and advanced repair technologies. University of British Columbia. 37 p.
7. Cardolin A. Carbon fibre reinforced polymers for strengthening of structural elements. Lulea University of Technology, Sweden. 2003. 194 p.
8. Hoff G.W. Strong medicine. Fiber-reinforced polymer materials can help cure many ills that beset concrete. *Concrete Construction*, July 2000. Pp. 40–47.

9. Nanni A. Guides and specifications for the use of composites in concrete and masonry construction in North America. *Proc. Int. Workshop "Composites in Construction: a Reality"*. Capri, Italy, July 20–2, 2001. Pp. 9–18.
10. *Rukovodstvo po usileniyu zhelezobetonnykh konstrukttsii kompozitnymi materialami* [Guide to reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials]. Moscow: Interakva, 2006. 48 p. (rus)
11. *ODM 218.3.027–20013. Rekomendatsii po primeneniyu tkanevykh kompozitsionnykh materialov pri remonte zhelezobetonnykh konstrukttsii mostovykh sooruzhenii*. Rosavtodor [Recommendations on using fabric composite materials in repair of reinforced concrete bridge structures]. Moscow: ROSDORNII, 2013. 60 p. (rus)
12. Rimshin V.I., Galubka A.I., Sinyutin A.V. Inzhenernyi metod rascheta usileniya zhelezobetonnykh plit pokrytiya kompozitnoi armaturoi [Engineering method for calculating reinforcement of reinforced concrete slabs]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2014. No. 3. Pp. 218–220. (rus)
13. Kustikova Yu.O., Rimshin V.I., Shubin L.I. Prakticheskie rekomendatsii i tekhnikoekonomicheskoe obosnovanie primeneniya kompozitnoi armatury v zhelezobetonnykh konstrukttsiyakh zdaniy i sooruzhenii [Practical recommendations and feasibility study of the use of composite reinforcement in reinforced concrete structures of buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. No. 7. Pp. 14–18. (rus)
14. Yushin A.V., Morozov V.I. Eksperimental'nye issledovaniya dvukh proletnykh zhelezobetonnykh balok, usilennykh kompozitnymi materialami po naklonnomu secheniyu [Experimental studies of two span reinforced concrete beams reinforced with composite materials]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2014. No. 5 (46). Pp. 77–84. (rus)
15. Podol'skii P.P., Mihub Ahmad. O programme issledovaniy izgi-baemykh zhelezobetonnykh elementov, usilennykh razlichnymi vidami kompozitnykh materialov [Research program for bending reinforced concrete elements reinforced with various types of composite materials]. Rostov-on-Don, 2012. Pp. 51–52. (rus)
16. Kustikova Yu.O., Rimshin V.I. Napryazhenno-deformirovannoe so-stoyanie bazal'toplastikovo armatury v zhelezobetonnykh konstrukttsiyakh [Stress-strain state of basalt plastic reinforcement in reinforced concrete structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 6. Pp. 6–9. (rus)
17. Rimshin V.I., Merkulov S.I. O normirovanii kharakteristik sterzhnevoi nemetallichesko kompozitnoi armatury [Performance valuation of non-metallic composite reinforcement rod]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 5. Pp. 22–26. (rus)
18. Merkulov S.I. Analiz i perspektivy razvitiya usileniya betonnykh konstrukttsii kompozitnoi armaturoi [Analysis and prospects for the development of concrete structure reinforcement with composite materials]. Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya: materialy mezhdunarodnykh akademicheskikh chtenii (*Safety of Russian building fund. Proc. Int. Acad. Readings 'Problems and Solutions'*). Kursk, 2015. Pp. 170–175. (rus)
19. Stepanov A.Yu., Rimshin V.I. Napryazhenno-deformirovannoe so-stoyanie konstrukttsii zdaniy i sooruzhenii, armirovannykh kompozitnoi polimerno armaturoi pri seismicheskom vozdeystvii [Stress-strain state of buildings reinforced with composite polymers under seismic load]. *Stroitel'stvo i rekonstrukttsiya*. 2015. No. 1 (57). Pp. 57–61. (rus)
20. Vincenzo Bianco, Joaquim A.O. Barros, Giorgio Monti. Bond model of NSM-FRP strips in the context strengthening of RC beams. *Journal of Structural Engineering*. 2003. No. 6. Pp 619–630.
21. Mihub Ahmad, Pol'skoi P.P., Mailyan D.R., Blyagoz A.M. Sopostavlenie opytnoi i teoreticheskoi prochnosti zhelezobetonnykh balok, usilennykh kompozitnymi materialami, s ispol'zovaniem raznykh metodov rascheta [Comparison of experimental and theoretical strength of concrete beams reinforced with composite materials using various calculation methods]. *Novye tekhnologii*. 2012. No. 4. Pp. 101–110. (rus)
22. Grigor'eva Ya.E. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya vnesh-nego armirovaniya izgibaemykh zhelezobetonnykh balok uglevoloknom na prochnost' i zhestkost' konstrukttsii [Strength and rigidity analysis of external reinforcement of bending reinforced concrete beams with carbon fiber]. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 8. Pp. 181–185. (rus)
23. Badalova E.N. Eksperimental'nye issledovaniya izgibaemykh zhelezobetonnykh konstrukttsii, usilennykh prikleivaniem ugleplastikovyykh plastin [Experimental studies of bending rein-

- forced concrete structures reinforced by gluing carbon fiber plates]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Prikladnye nauki*. 2009. No. 12. Pp. 45–50. (rus)
24. *Badalova E.N.* Usilenie izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruksii ugleplastikovoï armaturoi [Strengthening of flexible concrete structures with carbon fiber reinforced plastic]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Prikladnye nauki*. 2007. No. 6. Pp. 54–59. (rus)
 25. *Paranicheva N.V., Nazmeeva T.V.* Usilenie stroitel'nykh konstruksii s pomoshch'yu uglerodnykh kompozitsionnykh materialov [Strengthening building structures using carbon composite materials]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2010. No. 2. Pp. 19–22. (rus)
 26. *Rimshin V.I., Merkulov S.I.* Elementy teorii razvitiya betonnykh konstruksii s nemetallicheskoi kompozitnoi armaturoi [Elements of the theory of development of concrete structures with non-metallic composite reinforcement]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 5. Pp. 38–42. (rus)
 27. *Merkulov S.I., Esipov S.M.* Prochnost' i deformativnost' kompozitnogo materiala na osnove uglerodnoi fibry pri odnoosnom rastyazhenii [Strength and deformability of carbon fiber composite material under uniaxial tension]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 11. Pp. 69–73. (rus)

Сведения об авторах

Римшин Владимир Иванович, докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, v.rimshin@niisf.ru

Меркулов Сергей Иванович, докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, Курский государственный университет, 305000, г. Курск, ул. Радищева, 33, mersi.dom@yandex.ru

Authors Details

Vladimir I. Rimshin, DSc, Professor, The National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, v.rimshin@niisf.ru

Sergey I. Merkulov, DSc, Professor, Kursk State University, 33, Radishchev Str., 305000, Kursk, Russia; mersi.dom@yandex.ru