

С.И. МЕРКУЛОВ¹, С.О. КАШУБА², С.М. ЕСИПОВ²

¹ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, Россия

²ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

Аннотация. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами успешно применяется при усилении поврежденных элементов. При этом кручение с изгибом таких железобетонных конструкций мало изучено и требует проведения экспериментально-теоретического исследования. В научной литературе представлены результаты исследования прочности и деформативности при изгибе с кручением железобетонных элементов различной формы сечения при статическом и при динамическом действиях нагрузок, элементов составного сечения. Для железобетонных конструкций, усиленных внешним армированием композитными материалами, такие исследования выполнялись лишь для изгибаемых элементов. Авторами разработана программа и методика экспериментальных исследований таких конструкций. Результаты экспериментальных исследований по предлагаемой методике позволят проверить предполагаемую расчетную модель, положенные в ее основу рабочие предпосылки и выявить закономерности деформирования железобетонных конструкций с внешним композитным армированием при сопротивлении изгибу с кручением.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, внешнее армирование, композитный материал, кручение с изгибом, экспериментальная установка.

S.I. MERKULOV¹, S.O. KASHUBA², S.M. ESIPOV²

¹Kursk State University, Kursk, Russia

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

PROGRAM AND METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL STUDIES OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH EXTERNAL REINFORCEMENT WITH COMPOSITE MATERIALS IN BENDING WITH TORSION

Abstract. External reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials is successfully used for strengthening of damaged elements. At the same time, torsion with bending of such reinforced concrete structures is poorly studied and requires experimental and theoretical investigation. The scientific literature presents the results of the study of strength and deformability in bending with torsion of reinforced concrete elements of different cross-sectional shapes under static and dynamic loads, elements of composite cross-section. For reinforced concrete structures strengthened with external reinforcement by composite materials, such studies were carried out only for bending elements. The authors have developed a program and methodology of experimental studies of such structures. The results of experimental investigations according to the proposed methodology will allow us to verify the assumed design model, the working assumptions put in its basis and reveal the regularities of deformation of reinforced concrete structures with external composite reinforcement under bending with torsion.

Keywords: reinforced concrete structures, external reinforcement, composite material, torsion with bending, experimental installation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркулов С.И., Есипов С.М., Есипова Д.В. Композитные системы внешнего армирования железобетонных конструкций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 4. С. 39-48. doi:10.34031/2071-7318-2021-7-4-39-48. EDN HMWONY.
2. Римшин В.И., Меркулов С.И., Есипов С.М. Бетонные конструкции, усиленные композитным материалом // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 2(35). С. 93-100. doi:10.5281/zenodo.1286034. EDN USTLHE.
3. Меркулов С.И., Есипов С.М. Использование тканых композитов для восстановления строительных // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 256-259. EDN KWLBP1.
4. Есипов С.М., Меркулов С.И. Усиление железобетонных элементов внешним армированием. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 179 с. ISBN 978-5-361-00890-2. EDN AZCHQU.
5. Бадалова Е.Н. Усиление изгибаемых железобетонных конструкций углепластиковой арматурой // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Прикладные науки. Строительство. 2007. № 6. С. 54-59. EDN XDDHSP.
6. Параничева Н.В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2(12). С. 19-22. EDN MZJCWT.
7. Бокарев С.А., Смердов Д.Н. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2010. № 2(614). С. 112-124. EDN OZHZPD.
8. Колчунов В.И., Сальников А.С. Экспериментальные исследования трещинообразования железобетонных конструкций при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2016. № 3(65). С. 24-32. EDN WFGVSH.
9. Меркулов Д.С. К выбору расчетной модели силового сопротивления железобетонных элементов при изгибе с кручением // Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 10. С. 46-48. EDN KWNHQV.
10. Демьянов А.И., Сальников А.С., Колчунов В.И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом и анализ их результатов // Строительство и реконструкция. 2017. № 4(72). С. 17-26. EDN ZHNNHB.
11. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом / В.И. Травуш, Н.И. Карпенко, В.И. Колчунов [и др.] // Строительство и реконструкция. 2018. № 6(80). С. 32-43. EDN VQNSNS.
12. Меркулов С.И., Стародубцев С.В. Экспериментальные исследования стержневых железобетонных элементов составного сечения, подвергнутых изгибу с кручением // Строительство и реконструкция. 2012. № 2(40). С. 20-24. EDN OZMBZH.
13. Родевич В.В., Арзамасцев С.А. Экспериментальные исследования железобетонных элементов, работающих на изгиб с кручением, при статическом и кратковременном динамическом воздействиях // Жилищное строительство. 2014. № 10. С. 15-18. EDN STWXON.
14. Дронов А.В., Дрокин С.В., Фролов Н.В. Экспериментальное исследование сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 80-83. EDN XACMZR.
15. Юшин А.В., Морозов В.И. Экспериментальные исследования двухпролетных железобетонных балок, усиленных композитными материалами по наклонному сечению // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 5(46). С. 50-57. EDN TBPWWF.
16. Merkulov S.I., Esipov S.M., Esipova D.V. Computer Simulation of Bent Reinforced Concrete Elements with External Composite Reinforcement // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 151 LNCE. Pp. 153-159. doi:10.1007/978-3-030-72910-3_22. EDN KYOWIG.
17. Modeling of the Stress-Strain State of a Composite External Strengthening of Reinforced Concrete Bending Elements / S.I. Merkulov, V.I. Rimshin, I.L. Shubin, S.M. Esipov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". Vladivostok, Russky Island, 01–04 октября 2019 года. Vol. 753, 5, Chapter 4. – Vladivostok, Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. Pp. 052044. doi:10.1088/1757-899X/753/5/052044. EDN ZPVTEJ.
18. Меркулов С.И., Есипов С.М., Кашуба С.О. Предварительное описание работы железобетонных элементов с внешним армированием композитными материалами при изгибе с кручением // Вестник

REFERENCES

1. Merkulov S.I., Esipov S.M., Esipova D.V. Kompozitnye sistemy vneshnego armirovaniia zhelezobetonnykh konstruksii [Composite systems for external reinforcement of reinforced concrete structures]. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2022. No. 4. Pp. 39-48. doi:10.34031/2071-7318-2021-7-4-39-48. EDN HMWONY. (rus)
2. Rimshin V.I., Merkulov S.I., Esipov S.M. Betonnye konstruksii, usilennye kompozitnym materialom [Concrete structures strengthened with composite material]. *Vestnik Inzhenernoi shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*. 2018. No. 2(35). Pp. 93-100. doi:10.5281/zenodo.1286034. EDN USTLHE (rus)
3. Merkulov S.I., Esipov S.M. Ispol'zovanie tkanykh kompozitov dlia vosstanovleniia stroitel'nykh konstruksii [The use of woven composites for the recovery of building structures]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2019. No. 3(381). Pp. 256-259. EDN KWLBP. (rus)
4. Esipov S.M., Merkulov S.I. Usilenie zhelezobetonnykh elementov vneshnim armirovaniem [Strengthening of reinforced concrete elements by external reinforcement]. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. 179 p. ISBN 978-5-361-00890-2. EDN AZCHQU. (rus)
5. Badalova E.N. Usilenie izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruksii ugleplastikovoii armaturoi [Strengthening of bending reinforced concrete structures with carbon fiber reinforcement]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Prikladnye nauki. Stroitel'stvo*. 2007. No. 6. Pp. 54-59. EDN XDDHSP. (rus)
9. Merkulov D.S. K vyboru raschetnoi modeli silovogo soprotivleniia zhelezobetonnykh elementov pri izgibe s krucheniiem [To the choice of the design model of the force resistance of reinforced concrete elements during bending with torsion]. *Industrial and civil engineering*. 2009. No. 10. Pp. 46-48. EDN KWNHQV. (rus)
10. Dem'ianov A.I., Sal'nikov A.S., Kolchunov V.I. Eksperimental'nye issledovaniia zhelezobetonnykh konstruksii pri kruchenii s izgibom i analiz ikh rezul'tatov [Experimental studies of reinforced concrete structures in torsion with bending and analysis of their results]. *Building and reconstruction*. 2017. No. 4(72). Pp. 17-26. EDN ZHHHHB. (rus)
11. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovanii konstruksii kvadratnogo i korobchatogo sechenii iz vysokoprochnogo betona pri kruchenii s izgibom [Results of experimental studies of square and box-shaped cross-section structures made of high-strength concrete during torsion with bending]. V.I. Travush, N.I. Karpenko, V.I. Kolchunov [and others]. *Building and reconstruction*. 2018. No. 6(80). Pp. 32-43. EDN VQNSNS. (rus)
12. Merkulov S.I., Starodubtsev S.V. Eksperimental'nye issledovaniia sterzhnevnykh zhelezobetonnykh elementov sostavnogo secheniia, podvergnutykh izgibu s krucheniiem [Experimental studies of rod reinforced concrete elements of composite section subjected to bending with torsion]. *Building and reconstruction*. 2012. No. 2(40). Pp. 20-24. EDN OZMBZH. (rus)
13. Rodevich V.V., Arzamastsev S.A. Eksperimental'nye issledovaniia zhelezobetonnykh elementov, rabotaiushchikh na izgib s krucheniiem, pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom vozdeistviiakh [Experimental studies of reinforced concrete elements working on bending with torsion under static and short-term dynamic influences]. *ZHilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. No. 10. Pp. 15-18. EDN STWXON. (rus)
14. Dronov A.V., Drokin S.V., Frolov N.V. Eksperimental'noe issledovanie stsepleniia stekloplastikovoii armatury s betonom [Experimental study of the adhesion of fiberglass reinforcement with concrete]. *Industrial and civil engineering*. 2016. No. 11. Pp. 80-83. EDN XACMZR. (rus)
15. Iushin A.V., Morozov V.I. Eksperimental'nye issledovaniia dvukhproletnykh zhelezobetonnykh balok, usilennykh kompozitnymi materialami po naklonnomu secheniiu [Experimental studies of two-span reinforced concrete beams strengthened with composite materials along an inclined section]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2014. No. 5(46). Pp. 50-57. EDN TBPWWF. (rus)
16. Merkulov S.I., Esipov S.M., Esipova D.V. Computer Simulation of Bent Reinforced Concrete Elements with External Composite Reinforcement. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 151 LNCE. P. 153-159. doi:10.1007/978-3-030-72910-3_22. EDN KYOWIG.
17. Modeling of the Stress-Strain State of a Composite External Strengthening of Reinforced Concrete Bending Elements / S.I. Merkulov, V.I. Rimshin, I.L. Shubin, S.M. Esipov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019"*, Vladivostok, Russky Island, 01–04 октября 2019 года. Vol. 753, 5, Chapter 4. – Vladivostok, Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. Pp. 052044. doi:10.1088/1757-899X/753/5/052044. EDN ZPVTEJ.

18. Merkulov S.I., Esipov S.M., Kashuba S.O. Predvaritel'noe opisanie raboty zhelezobetonnykh elementov s vneshnim armirovaniem kompozitnymi materialami pri izgibe s krucheniem [Preliminary description of the work of reinforced concrete elements with external reinforcement with composite materials during bending with torsion]. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2022. No. 11. Pp.40-48. doi:10.34031/2071-7318-2022-7-11-40-48. EDN EFOFCS. (rus)

Информация об авторах:

Меркулов Сергей Иванович

ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, Россия,
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства.
E-mail: mrsi.dom@yandex.ru

Кашуба Сергей Олегович

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород, Россия,
аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.
E-mail: kashuba_sergey@mail.ru

Есипов Станислав Максимович

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.
E-mail: sk31.sm@gmail.com

Information about authors:

Merkulov Sergei Iv.

Kursk State University, Kursk, Russia,
corresponding Member of the RAACS, doctor of technical sciences, professor, head of the department of Industrial and Civil Engineering.
E-mail: mrsi.dom@yandex.ru

Kashuba Sergei Ol.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia,
graduate student of the department of Construction and Urban Economy.
E-mail: kashuba_sergey@mail.ru

Esipov Stanislav M.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of Construction and Urban Economy.
E-mail: sk31.sm@gmail.com