

А.А. БЫКОВ¹, И.Н. ШАРДАКОВ², А.П. ШЕСТАКОВ², И.О. ГЛОТ²

¹ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия

²«Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Россия

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ

Аннотация. В статье исследуется поведение железобетонных балок, усиленных углепластиком, в условиях статического нагружения. В эксперименте участвовали 22 крупномасштабных образца – железобетонные балки размером 120x220x1290мм. Часть образцов были усилены углепластиком до нагружения, часть в процессе нагружения после получения первых трещин в бетоне и их инъектирования. Нагружение балок производилось по схеме 4-х точечного изгиба. Деформационное состояние балок контролировалось с помощью тензометрии и прогибомера. Отслоение углепластика оценивалось методом инфракрасной термографии непосредственно в процессе нагружения.

Оценено влияние углепластика на несущую способность и жесткость балок, усиленных до приложения нагрузки и в ходе нагружения. Продемонстрирована способность углепластика сдерживать раскрытие трещин и способность метода усиления углепластиком в сочетании с инъектированием трещин восстановить жесткость конструкции. Представлена картина трещинообразования в образцах. Показано влияние качества подготовки поверхности на характер отслоения углепластика и, как следствие, характер трещинообразования и разрушения. Определены параметры и особенности отслоения углепластика в зависимости от механизма отслоения. Сопоставлены параметры и интенсивность отслоения углепластика при нагружении для балок, усиленных в ненагруженном состоянии и под нагрузкой. Выполнено сравнение экспериментальных значений деформаций отслоения, с теоретическими значениями, определенными по 8-ми известным методикам.

Показано, что фактическая деформация отслоения углепластика на 15-75% ниже значений, вычисленных по формуле СП 164.1325800.2014, а факт отслоения углепластика не определяет предельное состояние усиленной железобетонной балки при наличии надежной анкеровки продольной полосы композита на опорах.

Ключевые слова: железобетонная балка, углепластик, усиление железобетонной балки композитным материалом, отслоение, инфракрасная термография, инъектирование трещин.

A.A. BYKOV¹, I.N. SHARDAKOV², A.P. SHESTAKOV², I.O. GLOT²

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

²Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of Russian Academy of Science, Perm, Russia

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE DEFORMATION PROCESS OF RC BEAMS STRENGTHENED WITH CFRP SHEET

Abstract. The paper investigates the behavior of reinforced concrete beams reinforced with CFRP sheet under static loading. The experiment involved 22 large-scale samples – reinforced concrete beams with a size of 120x220x1290mm. One part of the specimens was reinforced with CFRP before loading, the other – under load after the appearance of the first cracks in concrete and their injection. The beams were loaded according to the 4-point bending scheme. The deformation state of the beams was assessed using strain gauge and deflection meter. The debonding of the carbon fiber sheet was evaluated by infrared thermography directly in the process of loading.

The effect of CFRP on the bearing capacity and stiffness of beams reinforced before and during loading is evaluated. The ability of CFRP to restrain the opening of a crack was demonstrated.

The effectiveness of the method of reinforcing beams with CFRP in combination with injection of cracks to restore the rigidity of the structure was evaluated. The pattern of crack formation in samples is presented. The influence of the quality of surface preparation on the nature of the debonding of carbon fiber and the features of cracking and destruction is shown. The parameters and features of CFRP debonding were determined for various debonding mechanisms. The parameters and intensity of CFRP debonding for beams reinforced in the unloaded state and under load are compared. The experimental values of debonding strains are compared with theoretical values determined by 8 known methods.

It is shown that the actual deformation of CFRP debonding is 15-75% lower than the values calculated in accordance with Russian Building Codes SP 164.1325800.2014, and the fact of CFRP debonding does not determine the limiting state of the reinforced concrete beam in the presence of reliable anchoring of the longitudinal strip of the composite on supports.

Keywords: CFRP sheets, composite materials, load carrying capacity of RC beams, strengthening of RC beams, interfacial debonding, infrared thermography.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Esfahani M.R., Kianoush M.R., Tajari A.R. Flexural behaviour of reinforced concrete beams strengthened by CFRP sheets // Engineering Structures. 2007. No. 29 (10). Pp. 2428-2444. doi:[10.1016/j.engstruct.2006.12.008](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.12.008)
2. Ritchie P.A., Thomas D.A., Lu L.W., Conelly G.M. External reinforcement of concrete beams using fiber reinforced plastics. ATLSS Report No. 90-06. 1990. [Online]. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://preserve.lib.lehigh.edu/islandora/object/preserve%3AAbp-4308309>. (date of application: 08.12.2022).
3. Saadatmanesh H., Ehsani M.R. RC beams strengthened with GFRP plates. I: Experimental study // ASCE. 1991. No. 117 (11). Pp. 3417-3455. doi:[10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1991\)117:11\(3417\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1991)117:11(3417))
4. Triantafillou T.C., Plevris N. Strengthening of RC beams with epoxy-bonded fibre-composite materials // Materials and Structures. 1992. No. 25 (4). Pp. 201-211. doi:[10.1007/BF02473064](https://doi.org/10.1007/BF02473064)
5. Shahawy M.A., Arockiasamy M., Beitelman T., Sowrirajan R. Reinforced concrete rectangular beams strengthened with CFRP laminates // Composites Part B: Engineering. 1996. No. 27. Pp. 225-233. [http://dx.doi.org/10.1016/1359-8368\(95\)00044-5](http://dx.doi.org/10.1016/1359-8368(95)00044-5)
6. Rahimi H., Hutchinson A. Concrete beams strengthened with externally bonded FRP plates // Journal of Composites for Construction. 2001. No. 5 (1). Pp. 44-56. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0268\(2001\)5:1\(44\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)1090-0268(2001)5:1(44))
7. Быков А.А., Третьякова А.Н., Калугин А.В. Расчет деформаций отслоения композита для усиленных изгибаемых железобетонных элементов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 3. С. 112-122.
8. Быков А.А., Калугин А.В., Балакирев А.А. Чистый изгиб железобетонных балок, армированных углеродным холстом // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 7. С. 22-25.
9. Бокарев С.А., Смердов Д.Н. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами // Известия вузов. Строительство. 2010. № 2. С. 112-124.
10. Григорьева Я.Е. Экспериментальное исследование влияния внешнего армирования изгибаемых железобетонных балок углеволокном на прочность и жесткость конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 8. С. 181-185.
11. Маилян Д.Р., Польской П.П. Прочность и деформативность усиленных композитными материалами балок при различных варьируемых факторах [Электронный ресурс] // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2013. № 2. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/42R_N2y13.pdf_1676.pdf (дата обращения: 08.12.2022).
12. Шевцов Д.А. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 61-65.
13. Леонова А.Н., Чагина А.С. Сравнение особенностей U-образного анкерного крепления с другими видами креплений при усилении конструкций композитным материалом // Научные труды КубГТУ. 2021. № 5. С. 40-50.
14. Римшин В.И., Меркулов С.И. К вопросу усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитным материалом // Вестник томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 5. С. 92-100. doi: [10.31675/1607-1859-2018-20-5-92-100](https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-5-92-100)
15. Yao J., Teng J.G., Chen J.F. Experimental study on FRP-to-concrete bonded joints // Composites Part B: Engineering. 2005. No. 36 (2). Pp. 99-113. doi:[10.1016/j.compositesb.2004.06.001](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2004.06.001)
16. Taljsten B. Defining anchor lengths of steel and CFRP plates bonded to concrete // International Journal of Adhesion and Adhesives. 1997. No. 17 (4). Pp. 319-327.
17. Woo S.K., Kim J.H.J., Byun K.J., Song Y.C. Bond-slip parameter determination procedure of RC flexure member strengthened with prestressed CFRP plates // KSCE Journal of Civil Engineering. 2013. No. 17 (1). Pp.179 - 191. doi:[10.1007/s12205-013-1592-2](https://doi.org/10.1007/s12205-013-1592-2)

18. Gravina R.J., Hadigheh S.A., Setunge S. Bond and force transfer of FRP materials bonded to concrete using sitecure system // APFIS 2012. Hokkaido Univ. Japan. 2012.
19. Pellegrino C., Tinazzi D., Modena C. Experimental Study on Bond Behavior between Concrete and FRP Reinforcement // Journal of Composites for Construction. 2008. No. 12 (2). Pp. 180-189.
20. Teng J.G., Chen J.F. Debonding failures of RC beams strengthened with externally bonded FRP reinforcement: behaviour and modeling // APFIS 2007. 2007. Pp. 33-42.
21. Бокарев С.А., Костенко А.Н., Смердов Д.Н., Неровных А.А. Экспериментальные исследования при пониженных и повышенных температурах железобетонных образцов, усиленных полимерными композиционными материалами [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. № 3. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/94tvn313.pdf> (дата обращения: 08.12.2022).
22. Польской П.П., Василенко Н.В., Меретуков З.А. О влиянии модуля упругости композитных материалов на прочность и деформативные свойства усиленных конструкций [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2019. № 8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vliyanii-modulya-uprugosti-kompozitnyh-materialov-na-prochnost-i-deformativnye-svoystva-usilennyh-konstruktsiy/viewer> (дата обращения: 08.12.2022).
23. Смердов Д.Н., Ящук М.О. Экспериментальные исследования несущей способности изгибаемых железобетонных элементов, усиленных преднапряженными полимерными композиционными материалами // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 3 (55). С. 72-83. doi: 10.25987/VSTU.2019.55.3.008
24. Zhang Ah., Jin Wl., Li Gb. Behavior of preloaded RC beams strengthened with CFRP laminates. J. Zhejiang Univ. - Sci. 2006. No. 7 (3). Pp. 436-444. <https://doi.org/10.1631/jzus.2006.A0436>
25. Parikh K. Modhera C.D. Application of GFRP on preloaded retrofitted beam for enhancement in flexural strength // International journal of civil and structural engineering. 2012. No. 2 (4). Pp.1070-1080.
26. Римшин В.И., Меркулов С.И., Есипов С.М.. Бетонные конструкции, усиленные композитным материалом // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2018. № 2 (35). С. 93-100. doi.org/10.5281/zenodo.1286034
27. Bykov A., Shardakov I., Shestakov A. Determination of thermography modes for recording delamination between composite material and reinforced concrete structures // Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena. 2015. No. 243. Pp. 97-104. doi: [10.4028/www.scientific.net/SSP.243.97](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.243.97)
28. ACI 440.2R-08. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. ACI. 2008.
29. CNR-DT 200/2004. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. Rome. 2004.
30. Recommendations for Upgrading of Concrete Structures with Use of Continuous Fiber Sheet // Concrete Engineering Series 41. Japan Society of Civil Engineers. 2001.
31. Teng J.G., Smith S.T., Yao J., Chen J.F. Intermediate crack-induced debonding in RC beams and slabs // Construction and Building Materials. 2003. No. 17 (6-7). Pp. 447-462.
32. Lu X.Z., Teng J.G., Ye L.P., Jiang J.J. Intermediate crack debonding in FRP-strengthened RC beams: FE analysis and strength model // Journal of Composites for Construction. 2007. No. 11(2). Pp.161-174. doi: [10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2007\)11:2\(161\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2007)11:2(161))
33. Said H., Wu Z. Evaluating and proposing models of predicting IC debonding failure // Journal of Composites for Construction. 2008. No. 12 (3). Pp. 284-299. doi: [10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2008\)12:3\(284\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2008)12:3(284))
34. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
35. Неровных А.А. Автореферат. Совершенствование методики оценки грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов, усиленных композиционными материалами. Новосибирск. 2013.

REFERENCES

1. Esfahani M.R., Kianoush M.R., Tajari A.R. Flexural behaviour of reinforced concrete beams strengthened by CFRP sheets. Engineering Structures. 2007. Vol. 29. Issue 10. Pp. 2428-2444. doi: [10.1016/J.ENGSTRUCT.2006.12.008](https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2006.12.008)
2. Ritchie P.A., Thomas D.A., Lu L.W., Conelly G.M. External reinforcement of concrete beams using fiber reinforced plastics. ATLSS Report No. 90-06. 1990. [Online]. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://preserve.lib.lehigh.edu/islandora/object/preserve%3AAbp-4308309>. (date of application: 08.12.2022).
3. Saadatmanesh H., Ehsani M.R. RC beams strengthened with GFRP plates. I: Experimental study // ASCE. 1991. Vol. 117. No. 11. Pp. 3417-3455. doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1991\)117:11\(3417\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1991)117:11(3417))
4. Triantafillou T.C., Plevris N. Strengthening of RC beams with epoxy-bonded fibre-composite materials // Materials and Structures. 1992. Vol. 25. Issue 4. Pp. 201-211. doi: [10.1007/BF02473064](https://doi.org/10.1007/BF02473064)
5. Shahawy M.A., Arockiasamy M., Beitelman T., Sowrirajan R. Reinforced concrete rectangular beams strengthened with CFRP laminates // Composites Part B: Engineering. 1996. Vol. 27. Issues 3-4. Pp. 225-233. [https://dx.doi.org/10.1016/1359-8368\(95\)00044-5](https://dx.doi.org/10.1016/1359-8368(95)00044-5)

6. Rahimi H., Hutchinson A. Concrete beams strengthened with externally bonded FRP plates // Journal of Composites for Construction. 2001. Vol. 5. No. 1. Pp. 44-56. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0268\(2001\)5:1\(44\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)1090-0268(2001)5:1(44))
7. Bykov A.A., Tretyakova A.N., Kalugin A.V. Raschet deformatsii otsloeniia kompozita dlia usilennykh izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov [Delamination buckling analysis for reinforced concrete flexural elements]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture. 2014. Vol. 3. Pp. 112-122. (rus).
8. Bykov A.A., Kalugin A.V., Balakirev A.A. Chisty izgib zhelezobetonnykh balok, armirovannykh uglerodnym kholstom [Pure bending of reinforced concrete beams reinforced with carbon-based cloth]. Industrial and civil engineering. 2011. Vol. 7. Pp. 22-25. (rus).
9. Bokarev S.A., Smerdov D.N. Eksperimentalnye issledovaniia izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov, usilennykh kompozitnymi materialami // Izvestiia vuzov. Stroitelstvo. 2010. Vol. 2. Pp. 112-124. (rus).
10. Grigoryeva Y.Y. Eksperimentalnoe issledovanie vliianiia vneshnego armirovaniia izgibaemykh zhelezobetonnykh balok uglevoloknom na prochnost i zhestkost konstrukttsii [Experimental research of influence of external reinforcing of bent reinforced concrete beams with FRP composites on durability and rigidity of designs]. Vestnik MGSU. 2011 Vol. 8. Pp. 181-185. (rus).
11. Polskoy P.P., Mailian D.R. Prochnost i deformativnost usilennykh kompozitnymi materialami balok pri razlichnykh variruemykh faktorakh. [Online]. Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Inzhenernyi vestnik Dona». 2013. Vol. 2. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/42R_N2y13.pdf_1676.pdf (date of application: 08.12.2022). (rus).
12. Shevtsov D.A. Usilenie zhelezobetonnykh konstrukttsii kompozitsionnymi materialami [Strengthening of reinforced concrete structures with fiber reinforced composites]. Industrial and civil engineering. 2014. Vol. 8. Pp. 61-65. (rus).
13. Leonova A.N., Chagina A.S. Sravnenie osobennosti U-obraznogo ankernogo krepleniia s drugimi vidami krepleniia pri usilenii konstrukttsii kompozitnym materialom [Comparison of the features of u-shaped anchorage with other types of fasteners when reinforcing structures with composite material]. Scientific Works of the Kuban State Technological University. 2021. Vol. 5. Pp. 40-50. (rus).
14. Rimshin V.I., Merkulov S.I. K voprosu usileniia zhelezobetonnykh konstrukttsii vneshnim armirovaniem kompozitnym materialom [External reinforcement of concrete structures using composite materials]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. JOURNAL of Construction and Architecture. 2018. Vol. 5. Pp. 92-100. (rus). doi:[10.31675/1607-1859-2018-20-5-92-100](https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-5-92-100)
15. Yao J., Teng J.G., Chen J.F. Experimental study on FRP-to-concrete bonded joints // Composites Part B: Engineering. 2005. Vol. 36. Issue 2. Pp. 99–113. doi: [10.1016/j.compositesb.2004.06.001](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2004.06.001)
16. Taljsten B. Defining anchor lengths of steel and CFRP plates bonded to concrete // International Journal of Adhesion and Adhesives. 1997. Vol.17. Issue 4. Pp. 319–327.
17. Woo S.K., Kim J.H.J., Byun K.J., Song Y.C. Bond-slip parameter determination procedure of RC flexure member strengthened with prestressed CFRP plates // KSCE Journal of Civil Engineering. 2013. Vol. 17. Issue 1. Pp.179 - 191. doi:[10.1007/s12205-013-1592-2](https://doi.org/10.1007/s12205-013-1592-2)
18. Gravina R.J., Hadigheh S.A., Setunge S. Bond and force transfer of FRP materials bonded to concrete using sitecure system // APFIS 2012. Hokkaido Univ. Japan. 2012.
19. Pellegrino C., Tinazzi D., Modena C. Experimental Study on Bond Behavior between Concrete and FRP Reinforcement // Journal of Composites for Construction. 2008. Vol. 12. No. 2. Pp. 180-189.
20. Teng J.G., Chen J.F. Debonding failures of RC beams strengthened with externally bonded FRP reinforcement: behaviour and modeling // APFIS 2007. 2007. Pp. 33-42.
21. Bokarev S.A., Kostenko A.N., Smerdov D.N., Nerovnykh A.A. Eksperimentalnye issledovaniia pri ponizhennykh i povyshennykh temperaturakh zhelezobetonnykh obraztsov, usilennykh polimernymi kompozitsionnymi materialami [Experimental studies of reinforced with polymer composites ferroconcrete specimens at low and high temperatures]. [Online]. Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013. Vol. 3. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/94tvn313.pdf> (date of application: 08.12.2022).
22. Polskoy P.P., Vasilenko N.V., Meretukov Z.A. O vliianii modul'ia uprugosti kompozitnykh materialov na prochnost i deformativnye svoystva usilennykh konstrukttsii [Effect of the FRP elastic modulus on the strength and deformation properties of RC structures]. [Online]. Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Inzhenernyi vestnik Dona». 2019. Vol. 8. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vliyanii-modulya-uprugosti-kompozitnykh-materialov-na-prochnost-i-deformativnye-svoystva-usilennykh-konstrukttsiy/viewer> (date of application: 08.12.2022). (rus).
23. Smerdov D.N., Yashchuk M.O. Eksperimentalnye issledovaniia nesushchei sposobnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov, usilennykh prednapriazhennymi polimernymi kompozitsionnymi materialami [Experimental studies of the load-carrying capacity of flexible reinforced concrete elements strengthened by prestressed polymer composites]. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2019. Vol. 3. No. 55. Pp. 72-83. (rus). doi: [10.25987/VSTU.2019.55.3.008](https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.55.3.008)
24. Zhang Ah., Jin Wl., Li Gb. Behavior of preloaded RC beams strengthened with CFRP laminates. J. Zhejiang Univ. - Sci. 2006. Vol. 7. No. 3. Pp. 436-444. <https://doi.org/10.1631/jzus.2006.A0436>

25. Parikh K. Modhera C.D. Application of GFRP on preloaded retrofitted beam for enhancement in flexural strength. International journal of civil and structural engineering. 2012. Vol. 2. No. 4. Pp.1070-1080.
26. Rimshin V.I., Merkulov S.I., Esipov S.M. Betonnye konstrukticii, usilennye kompozitnym materialom [Concrete structures reinforced by composite material]. Vestnik Inzhenernoi shkoly DVFU, FEFU: School of Engineering Bulletin. 2018. Vol. 2. No. 35. Pp. 93-100. (rus). doi.org/10.5281/zenodo.1286034
27. Bykov A., Shardakov I., Shestakov A. Determination of thermography modes for recording delamination between composite material and reinforced concrete structures // Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena. 2015. No. 243. Pp. 97-104. doi:[10.4028/www.scientific.net/SSP.243.97](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.243.97)
28. ACI 440.2R-08. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. ACI. 2008.
29. CNR-DT 200/2004. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. Rome. 2004.
30. Recommendations for Upgrading of Concrete Structures with Use of Continuous Fiber Sheet // Concrete Engineering Series 41. Japan Society of Civil Engineers. 2001.
31. Teng J.G., Smith S.T., Yao J., Chen J.F. Intermediate crack-induced debonding in RC beams and slabs. Construction and Building Materials. 2003. Vol. 17. Issues 6-7. Pp. 447-462.
32. Lu X.Z., Teng J.G., Ye L.P., Jiang J.J. Intermediate crack debonding in FRP-strengthened RC beams: FE analysis and strength model. Journal of Composites for Construction. 2007. No. 11(2). Pp.161-174. doi:[10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2007\)11:2\(161\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2007)11:2(161))
33. Said H., Wu Z. Evaluating and proposing models of predicting IC debonding failure // Journal of Composites for Construction. 2008. Vol. 12. Issue 3. Pp. 284-299. doi:[10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2008\)12:3\(284\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2008)12:3(284))
34. Russian Building Codes SP 164.1325800.2014. Usilenie zhelezobetonnykh konstrukticii kompozitnymi materialami. Pravila proektirovaniia [Reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials. Design rules]. (rus).
35. Nerovnykh A.A. Avtoreferat. Sovershenstvovanie metodiki ocenki gruzopodemnosti zhelezobetonnykh proletnykh stroenii zheleznodorozhnykh mostov, usilennykh kompozitcionnymi materialami. [Abstract of the dissertation. Improving the methodology for assessing the load capacity of reinforced concrete superstructures of railway bridges reinforced with composite materials. Abstract. Improvement of the methodology for assessing the load capacity of reinforced concrete superstructures of railway bridges reinforced with composite materials]. Novosibirsk. 2013. (rus).

Информация об авторах:

Быков Антон Алексеевич

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и вычислительной механики.
E-mail: violentharp@yandex.ru

Шардаков Игорь Николаевич

«Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Россия, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией интеллектуального мониторинга.
E-mail: shardakov@icmm.ru

Шестаков Алексей Петрович

«Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Россия, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник.
E-mail: shap@icmm.ru

Глот Ирина Олеговна

«Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Россия, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник.
E-mail: glot@icmm.ru

Information about authors:

Bykov Anton A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia,
candidate of technical science, associate professor of the department of building structures and computational mechanics.

E-mail: violenthapy@yandex.ru

Shardakov Igor N.

Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of Russian Academy of Science, Perm, Russia,
doctor of physical and mathematical sciences, professor, head of the Intelligent Monitoring Laboratory.

E-mail: shardakov@icmm.ru

Shestakov Aleksey P.

Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of Russian Academy of Science, Perm, Russia,
candidate of physical and mathematical sciences, researcher.

E-mail: shap@icmm.ru

Glott Irina O.

Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of Russian Academy of Science, Perm, Russia,
candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher.

E-mail: glott@icmm.ru