
**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ,
ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ.
ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

**BUILDING CONSTRUCTIONS,
BUILDINGS AND STRUCTURES.
BASES AND FOUNDATIONS**

Известия вузов. Строительство. 2021. № 11. С. 28–36.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2021; (11): 28–36.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 624.072.011.7

DOI: 10.32683/0536-1052-2021-755-11-28-36

**ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ
НА ПРОЧНОСТЬ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ
АРМОКАУТОНОВЫХ БАЛОК С ПРОЛОТОМ СРЕЗА $a = h$**

**А.Э. Поликутин, А.В. Левченко, Ю.Б. Потапов, Д.В. Панфилов,
Д.Р. Каракчи-Огли**

Воронежский государственный технический университет

Аннотация. Каучуковый бетон (каутон) обладает высокой прочностью и высокой (практически универсальной) химической стойкостью, при этом обладает достаточно высоким модулем упругости 24–25 ГПа, что делает его перспективным материалом, в том числе для изготовления изгибаемых конструкций. Были проведены исследования прочности наклонных сечений армокаутонных изгибаемых конструкций при минимальном пролете среза. В статье представлена методика проводимых испытаний, в результате которых установлено, что увеличение процента поперечного армирования влияет на прочность наклонных сечений, но значительно в меньшей степени, чем для железобетонных конструкций. При этом прочность наклонных сечений армокаутонных конструкций превосходит аналогичный показатель для железобетонных конструкций из тяжелого бетона класса В30 более чем в 3 раза.

Ключевые слова: каутон, полимербетон, балка, наклонные сечения, прочность, поперечная сила, пролет среза

Подтверждение: исследования, изложенные в данной работе, проводились с использованием оборудования ЦКП имени проф. Ю.М. Борисова ВГТУ, при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № 075-15-2021-662.

Для цитирования: Поликутин А.Э., Левченко А.В., Потапов Ю.Б., Панфилов Д.В., Каракчи-Огли Д.Р. Влияние поперечного армирования на прочность наклонных сечений армокаутонных балок с пролетом среза $a = h$ // Известия вузов. Строительство. 2021. № 11. С. 28–36. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-755-11-28-36.

© Поликутин А.Э., Левченко А.В., Потапов Ю.Б., Панфилов Д.В., Каракчи-Огли Д.Р., 2021

Original article

THE INFLUENCE OF TRANSVERSE REINFORCEMENT ON THE STRENGTH OF INCLINED SECTIONS OF RUBCON BEAMS WITH A SHEAR SPAN $a = h$

A.E. Polikutin, A.V. Levchenko, Yu.B. Potapov, D.V. Panfilov, D.R. Karakchi-Ogli
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract. Rubber concrete (rubcon) has high strength and high (almost universal) chemical resistance, while it has a sufficiently high Young's modulus of 24–25 GPa, which makes it a promising material for the manufacture of bending structures. Studies of the strength of inclined sections of reinforced-rubcon bending structures with a minimum shear span were carried out. The article presents a test methodology, which resulted in finding that an increase in the percentage of transverse reinforcement affects the strength of inclined sections, but much lesser extent than for reinforced concrete structures. At the same time, the strength of inclined sections of reinforced rubcon structures exceeds the same indicator for reinforced concrete structures made of heavy concrete of B30 class by more than 3 times.

Keywords: rubcon, polymer concrete, beam, inclined sections, strength, transverse force, shear span

Confirmation: the research presented in this paper was carried out using the equipment of the CCP named after Prof. Yu.M. Borisov VSTU, with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. 075–15–2021–662.

For citation: Polikutin A.E., Levchenko A.V., Potapov Yu.B., Panfilov D.V., Karakchi-Ogli D.R. The influence of transverse reinforcement on the strength of inclined sections of rubcon beams with a shear span $a = h$. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; (11): 28–36. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2021-755-11-28-36.

Одним из основных строительных материалов является цементный бетон ввиду доступности компонентов для его изготовления, универсальности и в большинстве случаев долговечности. Однако недостаток цементных бетонов – их раннее трещинообразование (силовое, а также вследствие усадки и ползучести), что негативно сказывается на железобетонных конструкциях, так как при появлении трещины агрессивная среда проникает внутрь конструкции, получая доступ к арматуре, при этом также снижается жесткость конструкции. Следовательно, применение материала, обладающего высокой прочностью не только на сжатие, но и на растяжение, позволит устранить этот недостаток железобетонных конструкций. Среди таких материалов можно выделить полимербетон на основе жидких каучуков – каучуковый бетон (каутон). Важно отметить, что каутон безусадочный материал [1]. Он обладает высокой наполненностью смеси и, как следствие, высокими прочностными характеристиками [1–3]. В Центре коллективного пользования при ВГТУ (ЦКП) имени профессора Ю.М. Борисова проводятся исследования каутона на основе каучука марки СКДН-Н. Получены значения прочности при сжатии – 75–90 МПа, прочности на растяжение при изгибе – 10–15 МПа, модуля упругости – 24 000–25 000 МПа, коэффициента Пуассона – 0,2–0,3. Исследования В.А. Чмыхова [4] показали, что каучуковый бетон обладает практически универсальной химической стойкостью. Он имеет потенциал к утилизации крупнотоннажных отходов, включая в свой состав (при необхо-

димости) такие компоненты, как зола-унос, бой стекла, волокна металлокорда (в качестве фибрового армирования) [5]. Изложенное выше характеризует каутон как конкурентоспособный материал при использовании в конструкциях и изделиях, эксплуатируемых в агрессивных средах.

При исследовании конструкций из каучукового бетона или с его дополнительным применением в изгибаемых конструкциях из других материалов основное внимание уделено нормальным сечениям. В работе [6] предложены варианты износостойкого покрытия на основе каучукового бетона, в [7, 8] проведены исследования несущей способности железобетонных изгибаемых элементов, покрытых по периметру сечения слоем каучуковой мастики толщиной 5 мм. В диссертации [9] изучены стадии НДС армированных внецентренно сжатых изгибаемых элементов из каутоната и определены его параметры при длительном сопротивлении осевому сжатию. В [10] проведены исследования НДС нормальных сечений двухслойных каутонобетонных конструкций прямоугольного сечения с каутоном в растянутой зоне, а в работе [11] – однослойных армокаутоновых конструкций. Авторами статьи [12] представлены начальные исследования прочности армокаутоновых балок таврового поперечного сечения. В данных работах подтверждается возможность применения армокаутоновых изгибаемых конструкций, в частности, как альтернатива железобетонным изгибаемым элементам, при этом они имеют схожий характер деформирования при большей несущей способности и трещиностойкости у армокаутоновых конструкций.

В изгибаемых конструкциях обеспечение прочности наклонных сечений не менее важно, чем нормальных [13], что также подтверждается исследованиями конструкций в запредельных состояниях, т.е. в условиях прогрессирующего разрушения [14, 15].

Данная работа посвящена исследованию параметров прочности наклонных сечений армокаутоновых изгибаемых элементов прямоугольного сечения, при варьировании процентом поперечного армирования (шагом поперечной арматуры) при одинаковом пролете среза ($a = h$):

длина × высота × ширина	1400 × 120 × 60 мм
пролет среза	120 мм
класс и диаметр поперечной арматуры	B500, Ø5
процент поперечного армирования	0; 0,65; 1,1
класс, количество и диаметр продольной арматуры	A800, 2Ø12
процент продольного армирования	3,8
материал конструкции	каучуковый бетон (каутон); цементный бетон B30, B100

Под пролетом среза (a) понимается расстояние от опоры до ближайшего груза (рис. 1).

Процент поперечного армирования определяется по формуле

$$\mu_{sw} = \frac{A_{sw}}{bS} 100 \%,$$

где A_{sw} – площадь поперечного сечения поперечной арматуры;

b – ширина сечения балки;

S – шаг поперечных стержней.

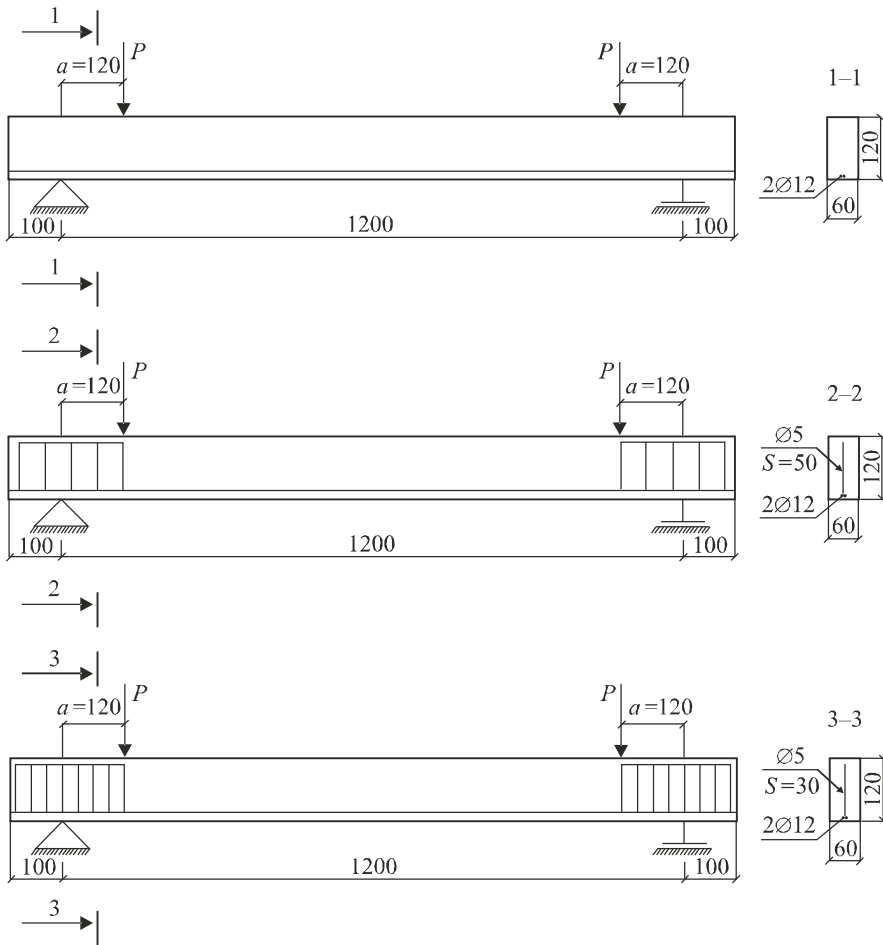


Рис. 1. Схема загрузки образцов и их армирование
 Fig. 1. The scheme of loading samples and their reinforcement

Схема загрузки экспериментальных образцов и их армирование представлены на рис. 1.

Испытания проводились на универсальной напольной гидравлической испытательной системе фирмы INSTRON, модель 600KN в ЦКП имени профессора Ю.М. Борисова ВГТУ. Были использованы следующие приборы для определения особенностей разрушения полимербетонных балок по наклонным сечениям: тензодатчики ВХ120-20АА, датчик линейных перемещений, датчик силоизмерительный тензорезистивный С6А. Балка во время проведения испытаний представлена на рис. 2, после испытания – на рис. 3.

Для контроля прочности каутона с каждой балкой изготавливали образцы призмы (испытывали на сжатие) и образцы восьмерки (испытывали на растяжение).

На основании методики расчета действующих сводов правил (СП 63.13330.2018) были получены расчетные значения разрушающих поперечных сил для железобетонных балок из бетона классов В30 и В100, армирование которых также соответствует рис. 1. Полученные расчетные значения



Рис. 2. Вид балки во время испытания

Fig. 2. Type of beam during the test

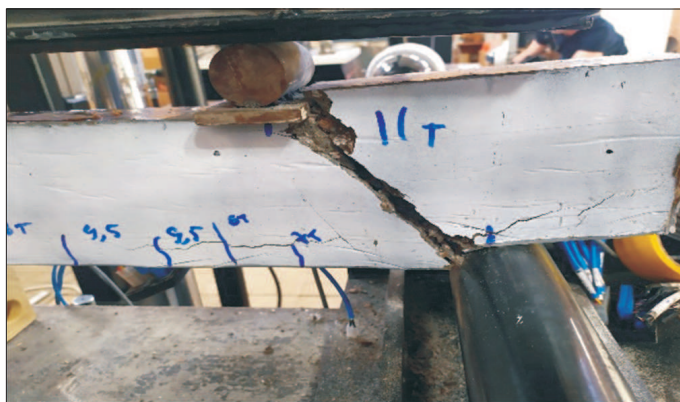


Рис. 3. Балка после испытания (разрушение по наклонному сечению)

Fig. 3. Beam after testing (destruction by inclined section)

для железобетонных балок и экспериментальные результаты испытаний армокаутонных образцов балок представлены в таблице.

Исходя из предположения, что поперечная сила, воспринимаемая поперечным армированием, для армокаутонных и железобетонных конструкций одинакова, можно сделать вывод, что с увеличением процента поперечного армирования влияние на прочность наклонных сечений значительно меньше (до 25 %), чем для железобетонных конструкций (до 70 %) [16–18]. Данный факт обусловлен более высокой прочностью каутона на растяжение и повышенной трещиностойкостью. Кроме того, прочность наклонных сечений армокаутонных балок выше аналогичного показателя для железобетонных балок из бетона класса В30 в 3–3,7 раза, в случае отсутствия поперечного армирования данный показатель увеличивается до 7,4 раза, а для балок из бетона класса В100 в 2,2–2,5 раза, в случае отсутствия поперечного армирования данный показатель увеличивается до 3,4 раза.

Зависимость несущей способности балок от процента поперечного армирования представлена на рис. 4.

Прочность наклонных сечений армокаутоновых и железобетонных балок
Strength of inclined sections of reinforced concrete and reinforced concrete beams

Шифр балки	μ_s , %	A_{sw} , см ²	μ_{sw} , %	Q , кН	Q_{sw} , кН	R_b , МПа	R_{bt} , МПа	$\frac{Q_{sw}}{Q}$
ПБК 120-0	3,8	0,0	0,0	98,5	0,0	85,0	13,4	0,0
ПБК 120-5		0,39	0,65	102,5	17,6	83,0	13,3	0,17
ПБК 120-3		0,79	1,1	115,5	29,4	84,0	12,9	0,25
ПББ30 120-0		0,0	0,0	12,9	0,0	22,0	1,75	0,0
ПББ30 120-5		0,39	0,65	30,5	17,6	22,0	1,75	0,58
ПББ30 120-3		0,79	1,1	42,3	29,4	22,0	1,75	0,70
ПББ100 120-0		0,0	0,0	27,9	0,0	71,0	3,8	0,0
ПББ100 120-5		0,39	0,65	45,6	17,6	71,0	3,8	0,39
ПББ100 120-3		0,79	1,1	57,3	29,4	71,0	3,8	0,51

Примечание: ПБК(ПББ) 120-0: П – тип поперечного сечения (прямоугольное); Б – вид элемента (балочный); К(Б) – материал изготовления; 120 – цифра после шифра указывает на пролет среза балки, мм; 0 – шаг поперечных стержней, см. R_b , R_{bt} – предел прочности при сжатии и растяжении соответственно. Для бетонов классов В30 и В100 приняты нормативные характеристики прочности на сжатие и растяжение согласно СП 63.13330.2018.

Как можно заметить, аппроксимирующая прямая не выходит за 5%-ю погрешность для каждой экспериментальной точки, т.е. зависимость прочности наклонных сечений от содержания поперечного армирования (в исследуемом диапазоне значений) можно назвать линейной. Важно отметить, что угол наклона прямой, соответствующей зависимости прочности армокаутоновых балок от процента поперечного армирования, меньше, чем для железобетонных балок, что также говорит о меньшем влиянии поперечного армирования на прочность наклонных сечений армокаутоновых конструкций.

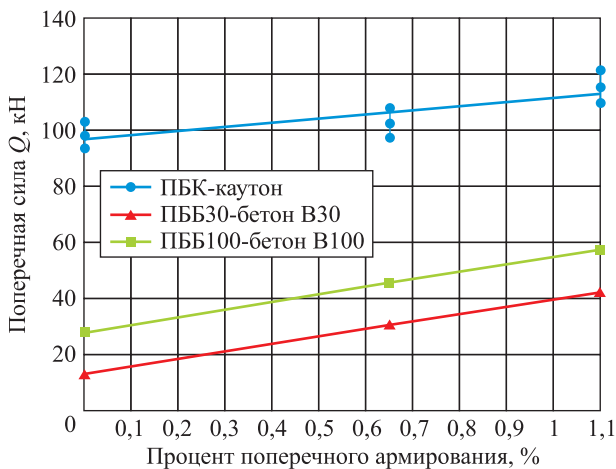


Рис. 4. Зависимость прочности наклонных сечений балок от процента поперечного армирования

Fig. 4. Dependence of the strength of inclined sections of beams on the percentage of transverse reinforcement

Заключение. При повышении процента поперечного армирования от 0 до 1,1 прочность наклонных сечений увеличивается незначительно – в 1,15 раза. Следовательно, возможно применение балки из каучукового бетона и без поперечного армирования, практически не снижая прочность наклонных сечений, но тем самым снижая металлоемкость и, как следствие, вес конструкций, трудоемкость изготовления. При этом увеличение процента поперечного армирования в меньшей степени влияет на прочность наклонных сечений армокаучуковых балок, чем в железобетонных конструкциях. Прочность наклонных сечений армокаучуковых конструкций превосходит аналогичный показатель для железобетонных конструкций из тяжелого бетона класса В30 более чем в 3 раза, из бетона класса В100 – в 2,5 раза. Авторами предлагается применение фибрового армирования для увеличения прочности наклонных сечений и оценка его влияния на данный показатель.

Список источников

1. *Figovsky O., Beilin D.* Advanced polymer concretes and compounds. CRC Press. Boca Raton, 2013. 237 p. DOI: 10.1201/b16237
2. *Figovsky O.* New polymeric matrix for durable concrete // Proceedings of the International Conference on Cement Combinations for Durable Concrete. 2005. P. 269–276.
3. *Figovsky O., Beilin D., Blank N., Potapov J., Chernyshev V.* Development of polymer concrete with polybutadiene matrix // Cement and Concrete Composites. 1996. Vol. 18, no. 6. P. 437–444. DOI: 10.1016/S0958-9465(96)00036-4
4. *Чмыхов В.А.* Сопротивление каучукового бетона действию агрессивных сред: Дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2002. 224 с.
5. *Gorninski J.P., Dal Molin D.C., Kazmierczak C.S.* Comparative assessment of isophthalic and orthophthalic polyester polymer concrete: Different costs, similar mechanical properties and durability // Construction and Building Materials. 2007. Vol. 21, no. 3. P. 546–555. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2005.09.003
6. *Potapov Yu.B., Borisov Yu.M.* Wear-resistant coatings on the basis of oligodienes // Russian journal of building construction and architecture. 2010. No. 1. P. 38–44.
7. *Potapov Yu.B., Pinaev S.A., Arakelyan A.A., Barabash A.D.* Polymer-cement material for corrosion protection of reinforced concrete elements // Solid state phenomena. 2016. Vol. 871. P. 104–109. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.104
8. *Пинаев С.А., Франсиско Савити Матиас Да Фонсека.* Влияние полимерцементной защиты на трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов // Науч. вестн. Воронеж. гос. архит.-строит. ун-та. 2011. № 9. С. 85–88.
9. *Пинаев С.А.* Короткие сжатые элементы строительных конструкций из эффективного композита на основе бутадиенового полимера: Дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2001. 191 с.
10. *Нгуен Фан Зуй.* Двухслойные каутоно-бетонные изгибаемые элементы строительных конструкций: Дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2010. 185 с.
11. *Polikutin A.E., Potapov Yu.B., Levchenko A., Perekal'skiy O.* The stress-strain state of normal sections rubcon bending elements with mixed reinforcement // Advances in intelligent systems and computing. 2019. Vol. 983. P. 586–599. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_56
12. *Potapov Yu., Polikutin A., Panfilov D., Okunev M.* Comparative analysis of strength and crack resistance of normal sections of bent elements of T-sections, made of rubber concrete, cauton reinforcement and concrete // MATEC Web of Conferences. 2016. No. 73. DOI: 10.1051/mateconf/20167304018

13. Borisov Yu.M., Polikutin A.E. Strength of inclined sections of bendable reinforcing elements // Concrete and reinforced concrete. 2004. No. 1. P. 14–20.
14. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // Engineering structures. 2018. Vol. 173. P. 122–149. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.06.082
15. Izzuddin B.A., Vlassis A.G., Elghazouli A.Y., Nethercot D.A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss. Part I: Simplified assessment framework // Engineering structures. 2008. Vol. 30, no. 5. P. 1308–1318. DOI: 10.1016/j.engstruct.2007.07.011
16. Antonova D., Zavaloka M., Karpiuk V., Karpiuk I., Rusu I. Strength, crack resistance and deformability of reinforced concrete beams damaged by through cracks, reinforced carbon fiber // Journal of engineering science. 2020. P. 50–63. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3713366>
17. Karpiuk V., Tselikova A., Khudobych A., Karpiuk I., Kostyuk A. Study of strength, deformability property and crack resistance of beams with BFRP // Eastern-European journal of enterprise technologies. 2020. No. 4. P. 42–53. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209378
18. Филатов В.Б. Особенности работы и эффективное использование жесткой поперечной арматуры железобетонных балок // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 4(5). С. 1326–1328.

References

1. Figovsky O., Beilin D. Advanced polymer concretes and compounds. CRC Press. Boca Raton, 2013. 237 p. DOI: 10.1201/b16237
2. Figovsky O. New polymeric matrix for durable concrete. Proceedings of the International Conference on Cement Combinations for Durable Concrete. 2005. P. 269–276.
3. Figovsky O., Beilin D., Blank N., Potapov J., Chernyshev V. Development of polymer concrete with polybutadiene matrix. *Cement and Concrete Composites*. 1996; 18(6): 437–444. DOI: 10.1016/S0958-9465(96)00036-4
4. Chmykhov V.A. Rubber concrete resistance to aggressive environment: Author diss. ... PhD. Voronezh, 2002. 224 p. (In Russ.).
5. Gorninski J.P., Dal Molin D.C., Kazmierczak C.S. Comparative assessment of isophthalic and orthophthalic polyester polymer concrete: Different costs, similar mechanical properties and durability. *Construction and Building Materials*. 2007; 21(3): 546–555. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2005.09.003
6. Potapov Yu.B., Borisov Yu.M. Wear-resistant coatings on the basis of oligodienes. *Russian journal of building construction and architecture*. 2010; (1): 38–44.
7. Potapov Yu.B., Pinaev S.A., Arakelyan A.A., Barabash A.D. Polymer-cement material for corrosion protection of reinforced concrete elements. *Solid state phenomena*. 2016; (871): 104–109. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.104
8. Pinaev S.A., Francisco Saviti Mathias da Fonesca. Effect of polymer-cement protection on the crack resistance of reinforced concrete bending elements. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Construction*. 2011; (9): 85–88. (In Russ.).
9. Pinaev S.A. Short compressed elements of building structures from an effective composite based on a butadiene polymer: Author diss. ... PhD. Voronezh, 2001. 191 p. (In Russ.).
10. Nguyen Phan Duy. Double-layered, rubcon-concrete bending elements of building structures: Author diss. ... PhD. Voronezh, 2010. 185 p. (In Russ.).
11. Polikutin A.E., Potapov Yu.B., Levchenko A., Perekal'skiy O. The stress-strain state of normal sections rubcon bending elements with mixed reinforcement. *Advances in intelligent systems and computing*. 2019; (983): 586–599. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_56

12. Potapov Yu., Polikutin A., Panfilov D., Okunev M. Comparative analysis of strength and crack resistance of normal sections of bent elements of T-sections, made of rubber concrete, caoutchouc reinforcement and concrete. *MATEC Web of Conferences*. 2016; (73). DOI: 10.1051/mateconf/20167304018
13. Borisov Yu.M., Polikutin A.E. Strength of inclined sections of bendable reinforcing elements. *Concrete and reinforced concrete*. 2004; (1): 14–20.
14. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Engineering structures*. 2018; (173): 122–149. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.06.082
15. Izzuddin B.A., Vlassis A.G., Elghazouli A.Y., Nethercot D.A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss. Part I: Simplified assessment framework. *Engineering structures*. 2008; 30 (5): 1308–1318. DOI: 10.1016/j.engstruct.2007.07.011
16. Antonova D., Zavaloka M., Karpiuk V., Karpiuk I., Rusu I. Strength, crack resistance and deformability of reinforced concrete beams damaged by through cracks, reinforced carbon fiber. *Journal of engineering science*. 2020. P. 50–63. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3713366>
17. Karpiuk V., Tselikova A., Khudobych A., Karpiuk I., Kostyuk A. Study of strength, deformability property and crack resistance of beams with BFRP. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2020; (4): 42–53. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209378
18. Filatov V.B. Features of exploitation and effective use of rigid transverse reinforcement of reinforced concrete beams. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2012; 14(4(5)): 1326–1328. (In Russ.).

Информация об авторах

Алексей Эдуардович Поликутин – кандидат технических наук, доцент, a.pl@mail.ru

Артем Владимирович Левченко – ассистент, Alevchenko@vgasu.vrn.ru

Юрий Борисович Потапов – доктор технических наук, профессор, apl-sc@mail.ru

Дмитрий Вячеславович Панфилов – кандидат технических наук, доцент, panfilov_dv@vgasu.vrn.ru

Давут Ресулович Каракчи-Огли – аспирант, karakchiogli.david@mail.ru

Information about the authors

Aleksey Eduardovich Polikutin – PhD, Ass. Professor, a.pl@mail.ru

Artem Vladimirovich Levchenko – Assistant, Alevchenko@vgasu.vrn.ru

Yuri Borisovich Potapov – DSc, Professor, apl-sc@mail.ru

Dmitry Vyacheslavovich Panfilov – PhD, Ass. Professor, panfilov_dv@vgasu.vrn.ru

Davut Resulovich Karakchi-Ogli – Post-graduate Student, karakchiogli.david@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.09.2021

Одобрена после рецензирования 22.10.2021

Принята к публикации 29.10.2021

The article was submitted 22.09.2021

Approved after reviewing 22.10.2021

Accepted for publication 29.10.2021