

УДК 624.072.2.011.7:678.7

А.Э. ПОЛИКУТИН, Ю.Б. ПОТАПОВ, А.В. ЛЕВЧЕНКО, Д.Н. КОРОТКИХ

**РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ  
КАУТОНОВЫХ И ФИБРОКАУТОНОВЫХ  
ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Рекомендации по применению полимербетонных изгибаемых конструкций невозможно разработать без создания или оптимизации существующих методов расчета, что в свою очередь невозможно без экспериментальных исследований прочности сечений балочных элементов. Для изучения прочности нормальных сечений были изготовлены балки прямоугольного поперечного сечения из каутона, фиброкаутона и испытаны на чистый изгиб. В результате экспериментальных исследований изгибаемых элементов смешанного армирования были установлены предпосылки и оптимизирована методика расчета по первой группе предельных состояний. Представлены результаты экспериментальных исследований прочности нормальных сечений изгибаемых элементов строительных конструкций, выполненных из эффективного, обладающего практически универсальной химической стойкостью полимербетона – каучукового бетона (каутона), а также приведены результаты расчета по изложенной оптимизированной методике. Отмечено, что фибровые волокна, полученные из отходов металлокорда шинного производства, позволяют увеличить прочность особенно растянутой зоны конструкций. По результатам исследований получены рекомендации по расчету прочности нормальных сечений каутоновых и фиброкаутоновых изгибаемых элементов.

**Ключевые слова:** каутон, фибра, фиброкаутон, балка, нормальные сечения, прямоугольное сечение, изгибаемый элемент, прочность.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-722-2-14-23

Применение композитных конструкций на основе полимеров наиболее эффективно в зданиях или его частях, эксплуатируемых в условиях воздействия агрессивных сред различной природы. Одним из таких материалов является каучуковый бетон (каутон), разработанный в Воронежском строительном университете. Каутон выгодно отличается от других полимербетонных практически универсальной химической стойкостью, а также высокими прочностными показателями и благоприятными деформационными характеристиками, относится к «новым», недостаточно изученным материалам и применение его в строительных конструкциях сдерживает несовершенство или отсутствие методик расчета. Для разработки методов расчета конструкций из таких материалов необходим детальный анализ результатов экспериментальных исследований.

Расчет прочности нормальных сечений каутоновых изгибаемых элементов основан на анализе их напряженно-деформированного состояния (НДС), установленного физическими экспериментальными исследованиями. Анализ работ авторов [1–6], занимающихся изучением конструкций на основе каучукового бетона, а также нормативных источников, показал, что на прочность

© Поликутин А.Э., Потапов Ю.Б., Левченко А.В., Коротких Д.Н., 2019

нормальных сечений, в первую очередь, влияет процент продольного армирования, но при этом нельзя не учитывать влияние дисперсного армирования [7, 8]. Также было отмечено влияние вида дисперсного армирования на прочностные характеристики каучукового бетона [9, 10]. Авторами работы [11] установлено положительное влияние примененных в составе бетона стальных фибр в качестве дисперсных волокон армирования на прочностные характеристики материала. Фибробетонные балки без продольного стержневого армирования претерпевают три стадии НДС, аналогичные железобетонным балкам с продольным армированием [7].

В результате экспериментальных исследований [8] и анализа литературных источников были установлены предпосылки метода расчета прочности нормальных сечений каутоновых изгибаемых элементов с дисперсным армированием и без него:

1. Расчет производится по 3-й стадии НДС.
2. Растягивающие усилия воспринимает растянутая арматура, для балок с дисперсным армированием растягивающие усилия также воспринимают волокна металлокорда.
3. Перед разрушением зависимость между деформациями и напряжениями в материале сжатой зоны нелинейная.
4. Значения напряжений в материале сжатой зоны достигают предела прочности.

Распределение усилий в нормальном сечении каутоновых (шифр опытных балок БПК) и фиброкаутоновых (шифр опытных балок БПФ) в 3-й стадии НДС с учетом изложенных выше предпосылок показано на рис. 1.

В случае разрушения по растянутой зоне напряжения в арматуре достигают предела текучести (при наличии дисперсного армирования напряжения в волокнах металлокорда также достигают предела текучести).

Высота сжатой зоны определяется из условия равновесия – суммы проекций внутренних усилий на продольную ось элемента.

Для каутоновых изгибаемых элементов

$$R_s A_s - R_k b x = 0, \quad (1)$$

где  $R_s$  – расчетное сопротивление арматуры. Стоит отметить, что для обеспечения сходимости расчетных и экспериментальных значений в материалах данной статьи вместо  $R_s$  применялся  $\sigma_t$  – предел текучести, полученный на основании испытания на растяжение контрольных образцов арматуры А500С;

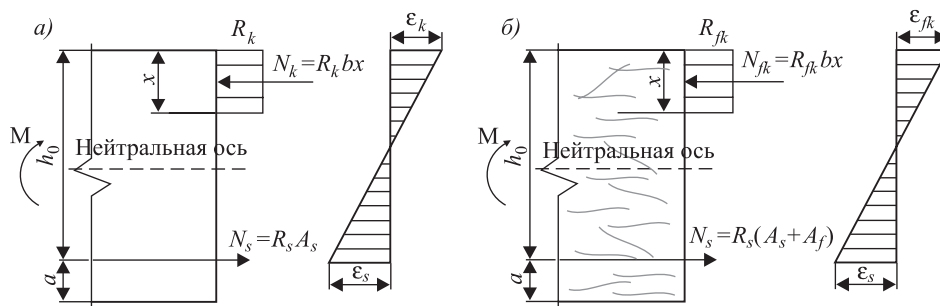


Рис. 1. Распределение внутренних усилий при расчете по прочности в нормальном сечении: каутоновых (а) и фиброкаутоновых (б) изгибаемых элементов

$A_s$  – площадь арматуры;

$b$  – ширина сечения;

$R_k$  – предел прочности каутона на сжатие.

Для фиброкаутоновых изгибаемых элементов

$$R_s(A_s + A_f) - R_{fk}bx = 0, \quad (2)$$

где  $R_{fk}$  – предел прочности фиброкаутона на сжатие;

$A_f = 0,2 \text{ см}^2$  – площадь фибрового армирования, приведенная к эквивалентному стержневому, установлена на основании испытания серий балок без продольного армирования (с фибровым и без него) и балок с армированием  $\sim 0,8 \%$ . Значение  $A_f$  определено переходом от установленного процента продольного армирования (рис. 2), равного  $\sim 0,34$ , к эквивалентной площади армирования. Данное значение  $A_f$  соответствует 2,5 % дисперсного армирования от массы элемента.

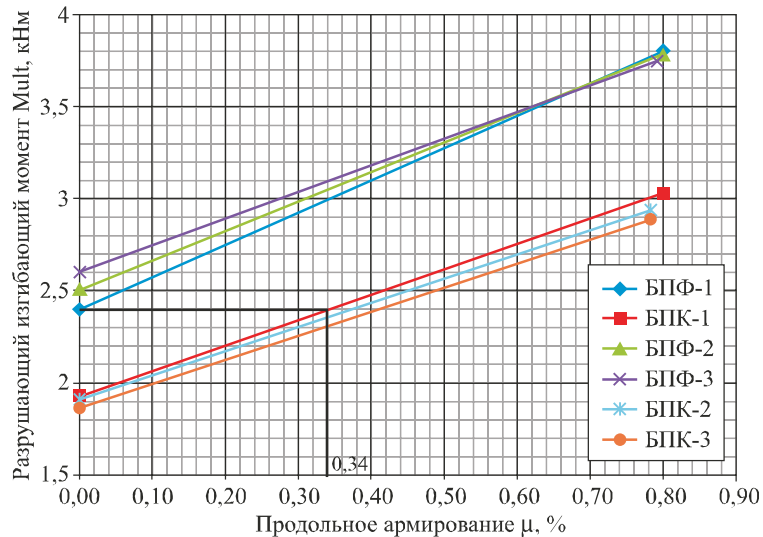


Рис. 2. Графики испытания серий каутоновых балок с фибровым армированием и без него

Несущая способность определена из суммы изгибающих моментов относительно центра тяжести сечения растянутой арматуры

$$M \leq Rbx(h_0 - 0,5x), \quad (3)$$

где  $R = R_k$  – для каутоновых балок;

$R = R_{fk}$  – для фиброкаутоновых балок.

Результаты расчета по приведенной выше методике в сравнении с экспериментальными значениями даны в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что методика расчета прочности нормальных сечений, изложенная в СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции», обеспечивает достаточную точность расчета для каутоновых и фиброкаутоновых изгибаемых элементов, однако разница значений между фактическим положением нейтральной оси и расчетным достигает 82 %.

Таблица 1. Экспериментальные и расчетные значения прочности нормальных сечений каутоновых и фиброкаутоновых изгибаемых элементов

Шифр балок	$\mu$ , %	$M_n^{exp}$ , кНм	$x^{exp}$ , см	$M_n^t$ , кНм	$x^t$ , см	$\Delta M_n$ , %
БПК-8	0,78	2,96	2	2,71	0,58	8,45
БПК-10	1,26	4,28	2,9	4,12	0,90	3,67
БПК-12	1,83	5,8	4,4	5,75	1,30	0,78
БПК-2×10	2,52	7,82	4,5	7,86	1,80	-0,51
БПК-2×12	3,58	10,3	5,6	10,69	2,59	-3,84
БПК-2×14	4,93	14	5,5	13,61	3,53	2,77
БПК-2×16	6,38	15,32	5,8	16,35	4,61	-6,75
БПФ-8	0,80	3,78	3,9	3,77	0,72	0,34
БПФ-10	1,23	5,10	4,3	5,15	1,00	-0,90
БПФ-12	1,80	6,77	4,7	6,75	1,36	0,31
БПФ-2×10	2,47	8,77	5,4	8,86	1,80	-0,95
БПФ-2×12	3,55	11,28	6,4	11,70	2,51	-3,71
БПФ-2×14	4,94	15,10	6,4	14,85	3,34	1,68
БПФ-2×16	6,26	17,52	6,7	17,99	4,30	-2,68

Примечание.  $\mu$  – процент продольного армирования, определяемый из отношения площади арматуры к фактической рабочей площади сечения (ввиду некоторого отличия фактических геометрических параметров сечения значения процента продольного армирования для балок с одинаковым содержанием арматуры несколько различаются);  $M_n^{exp}$  – экспериментальный разрушающий изгибающий момент;  $M_n^t$  – расчетный разрушающий изгибающий момент;  $x^{exp}$  – экспериментальная высота сжатой зоны;  $x^t$  – расчетная высота сжатой зоны;  $\Delta M_n$  – отклонение расчетного изгибающего момента от экспериментального.

В тех случаях, когда необходимо достоверно определить положение нейтральной оси, нами предлагается выполнить расчет с учетом следующих предпосылок:

1. Расчет производится по 3-й стадии НДС.
2. Растягивающие усилия воспринимает растянутая арматура, растянутая фибра (для балок с шифром БПФ) и растянутый каутон, работа которого учтена коэффициентом  $\psi$ .
3. Перед разрушением зависимость между деформациями и напряжениями в каутоне сжатой зоны нелинейная.
4. Значения напряжений в материале сжатой зоны достигают предела прочности на сжатие, однако полнота эпюры сжимающих напряжений (ее очертание) учитывается коэффициентом  $\phi$ .

Указанные выше предпосылки также основаны на анализе работ [1, 12, 13].

Распределение усилий в нормальном сечении каутоновых и фиброкаутоновых изгибаемых элементов в 3-й стадии НДС с учетом изложенных выше предпосылок показано на рис. 3.

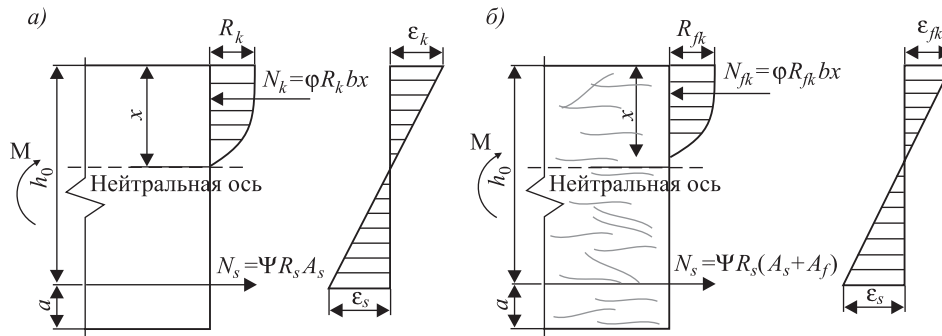


Рис. 3. Распределение внутренних усилий при расчете по прочности в нормальном сечении каутоновых (а) и фиброкаутоновых (б) изгибаемых элементов по уточняющей методике

Высота сжатой зоны определена из условия равновесия – суммы проекций внутренних усилий на продольную ось элемента:

для каутоновых изгибаемых элементов

$$\psi R_s A_s - \phi R_k b x = 0; \quad (4)$$

для фиброкаутоновых изгибаемых элементов

$$\psi R_s (A_s + A_f) - \phi R_{fk} b x = 0. \quad (5)$$

Несущая способность установлена из суммы изгибающих моментов относительно центра тяжести сечения растянутой арматуры

$$M \leq \phi R_k b x (h_0 - 0,5x). \quad (6)$$

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что коэффициент  $\psi$ , учитывающий работу растянутого каутона, и коэффициент  $\phi$ , учитывающий форму эпюры сжимающих напряжений, зависят от процента продольного армирования. Значения коэффициентов  $\psi$  и  $\phi$  и результаты расчетов с их использованием приведены в табл. 2.

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил установить, что практически на всем промежутке варьирования процентом продольного армирования в каутоновых балках коэффициент  $\psi$  равен 1,17, однако для балок с процентом продольного армирования, равным 6,38, произошло его уменьшение. Также на всем промежутке варьирования процентом продольного армирования фиброкаутоновых балок коэффициент  $\psi$  равен 1,25, однако для балок с процентом продольного армирования, равным 6,26, произошло его снижение.

Указанное уменьшение значения коэффициента  $\psi$  можно объяснить тем, что при таком содержании продольного армирования в сечении влияние на прочность нормальных сечений растянутого полимербетона невелико, ввиду значительного увеличения площади поперечного сечения продольного армирования и, следовательно, восприятием арматурными стержнями большей доли растягивающих усилий. В фиброкаутоновых балках уменьшение коэффициента  $\psi$  не так значительно, это обусловливается тем, что с момента появления трещины и до разрушения помимо арматурных стержней в работу включается дисперсное армирование, равномерно перераспределяя растяги-

Таблица 2. Экспериментальные и расчетные значения прочности нормальных сечений каутоновых и фиброкаутоновых изгибаемых элементов с применением уточняющих коэффициентов  $\psi$  и  $\phi$

Шифр балок	$\mu$ , %	$M_H^{exp}$ , кНм	$x^{exp}$ , см	$M_H^t$ , кНм	$x^t$ , см	$\Delta M_H$ , %	$\psi$	$\phi$
БПК-8	0,78	2,96	2,0	2,97	2,0	-0,34	1,18	0,34
БПК-10	1,26	4,28	2,9	4,28	2,9	-0,07	1,16	0,36
БПК-12	1,83	5,8	4,4	5,82	4,4	-0,31	1,17	0,36
БПК-2×10	2,52	7,82	4,5	7,83	4,5	-0,17	1,17	0,47
БПК-2×12	3,58	10,3	5,6	10,33	5,6	-0,24	1,17	0,54
БПК-2×14	4,93	14	5,5	13,98	5,5	0,18	1,17	0,75
БПК-2×16	6,38	15,32	5,8	15,34	5,8	-0,10	1,02	0,81
БПФ-8	0,80	3,78	3,9	3,78	3,71	-0,03	1,26	0,231
БПФ-10	1,23	5,10	4,3	5,13	4,22	-0,51	1,25	0,285
БПФ-12	1,80	6,77	4,7	6,77	4,55	0,09	1,25	0,361
БПФ-2×10	2,47	8,77	5,4	8,75	5,28	0,24	1,25	0,417
БПФ-2×12	3,55	11,28	6,4	11,32	6,3	-0,31	1,26	0,493
БПФ-2×14	4,94	15,10	6,4	15,02	6,32	0,53	1,27	0,663
БПФ-2×16	6,26	17,52	6,7	17,62	6,74	-0,59	1,23	0,74

Примечание. При расчете прочности нормальных сечений допускается значение коэффициента  $\psi$  для каутоновых балок с  $\mu \leq 4,93$  % принимать равным 1,17, для фиброкаутоновых балок с  $\mu \leq 4,94$  % – 1,25.

вающие усилия, возникающие в сечении, пораженном трещиной, на полимербетон в соседних сечениях.

При математическом анализе экспериментальных значений коэффициента  $\phi$  на ЭВМ была получена зависимость:

для каутоновых изгибаемых элементов

$$\phi = 0,094\mu + 0,232, \quad (7)$$

где  $\mu$  – процент продольного армирования;

для фиброкаутоновых изгибаемых элементов

$$\phi = 0,093\mu + 0,175. \quad (8)$$

Таким образом, было установлено, что «стандартная» методика расчета по первой группе предельных состояний изгибаемых элементов обеспечивает достаточную сходимость расчетных и экспериментальных значений изгибающего момента. Однако с целью определения фактического положения нейтральной оси и повышения уровня сходимости расчетного и фактического значения изгибающего момента нами была оптимизирована данная методика с применением двух коэффициентов, учитывающих работу растянутого полимербетона и форму очертания (полноту) эпюры сжимающих напряжений.

**Заключение.** При расчете по методике, изложенной в строительных правилах, максимальное отклонение расчетного изгибающего момента при разрушении от экспериментального для каутоновых балок составило 8,45 %, для фиброкаутоновых – 3,71 %; минимальное отклонение расчетного изгибающего момента при разрушении от экспериментального для каутоновых балок 0,51 %, для фиброкаутоновых – 0,31 %. При расчете максимального изгибающего момента с использованием уточняющих коэффициентов максимальное отклонение расчетного изгибающего момента от экспериментального для каутоновых балок составило – 0,34 %, для фиброкаутоновых – 0,59 %; минимальное отклонение расчетного изгибающего момента от экспериментального для каутоновых балок – 0,07 %, для фиброкаутоновых – 0,03 %. Важно отметить, что при расчете с применением уточняющих коэффициентов расчетное положение нейтральной линии соответствует эксперименту.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нгуен Фан Зуи. Двухслойные каутоно-бетонные изгибаемые элементы строительных конструкций: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2010. 185 с.
2. Борисов Ю.М., Поликутин А.Э., Нгуен Фан Зуи. Напряженно-деформированное состояние нормальных сечений двухслойных каутоно-бетонных изгибаемых элементов строительных конструкций // Научный вестник ВГАСУ «Архитектура и строительство». 2010. № 2. С. 18–24.
3. Пинаев С.А., Франсиско Савити Матиас Да Фонеска. Влияние полимерцементной защиты на трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов // Научный вестник ВГАСУ «Высокие технологии в экологии». 2011. № 9. С. 85–88.
4. Пинаев С.А. Короткие сжатые элементы строительных конструкций из эффективного композита на основе бутадиенового полимера: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2001. 191 с.
5. 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. P. 104–109.
6. 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, caouton reinforcement and concrete // MATEC Web of Conferences. 2016. No. 73.
7. Корнеев А.М., Бузина О.П., Суханов А.В. Детерминированная математическая модель и алгоритм анализа напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов с дискретными волокнами // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9. С. 57–62.
8. Поликутин А.Э., Потапов Ю.Б., Левченко А.В. Экспериментальные исследования влияния дисперсного армирования на прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из каутона // Изв. вузов. Строительство. 2018. № 8. С. 28–35.
9. Борисов Ю.М., Панфилов Д.В., Каштанов С.В., Юдин Е.М. Дисперсно-армированные строительные композиты // Строительная механика и конструкции. 2010. № 2. С. 32–37.
10. Панфилов Д.В. Дисперсно-армированные строительные композиты на основе полибутадиенового олигомера: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2004. 188 с.
11. Song P.S., Wang S.H. Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete // Construction and Building Materials, 2004. Vol. 18, Iss. 9. P. 669–673.

12. Филимошкина Г.И. Оценка прочности изгибаемых элементов железобетонных конструкций с учетом особенностей экспериментальной диаграммы напряжений – деформаций сжатой зоны бетона: дис. ... канд. техн. наук. М., 1999. 180 с.
13. Ганага П.Н., Малян Л.Р. Совершенствование методов расчета железобетонных конструкций и снижение их металлоемкости / Ставроп. краев. произв. упр. стр-ва и эксплуатации автомоб. дорог. Ставрополь: Кн. изд-во, 1987. 152 с.

**Поликутин Алексей Эдуардович**, канд. техн. наук, доцент; E-mail: a.pl@mail.ru  
Воронежский государственный технический университет

**Потапов Юрий Борисович**, д-р техн. наук, профессор; E-mail: apl-sc@mail.ru  
Воронежский государственный технический университет

**Левченко Артем Владимирович**, аспирант; E-mail: Alevchenko@vgasu.vrn.ru  
Воронежский государственный технический университет

**Коротких Дмитрий Николаевич**, д-р техн. наук, доцент;  
E-mail: korotkih.dmitry@gmail.ru

Воронежский государственный технический университет

Получено после доработки 10.01.19

**Polikutin Aleksey Eduardovich**, PhD, Ass. Professor; E-mail: a.pl@mail.ru  
Voronezh State Technical University, Russia

**Potapov Yuriy Borisovich**, DSc, Professor; E-mail: apl-sc@mail.ru  
Voronezh State Technical University, Russia

**Levchenko Artem Vladimirovich**, Post-graduate Student;  
E-mail: Alevchenko@vgasu.vrn.ru

Voronezh State Technical University, Russia

**Korotkih Dmitriy Nikolaevich**, DSc, Ass. Professor; E-mail: korotkih.dmitry@gmail.ru  
Voronezh State Technical University, Russia

## **STRENGTH CALCULATION OF NORMAL SECTION RUBCON AND FIBRORUBCON BENDING ELEMENTS**

Develop recommendations for the use of polymer concrete bending elements is impossible without the creation or optimization of methods of calculation. In turn this is impossible without experimental studies of the strength of sections of beam elements. To study the strength of normal sections, beams of rectangular cross section were produced from rubcon, fibrorubcon and tested for pure bending. As a result of experimental studies of bending elements of mixed reinforcement, the prerequisites for the calculation were established and the calculation method for the first group of limit states was optimized. The article presents the results of experimental studies of the strength of normal sections of bending elements of building structures made of an effective polymer concrete with practically universal chemical resistance – rubber concrete (rubcon). And also shows the calculation results for the optimized method. It should be noted that the fibers from the waste of steel cord tire production, allow increasing the strength, especially the tensile zone of structures. According to the results of the research, recommendations were obtained for the calculation of the strength of normal sections of the rubcon and fibrorubcon bending elements.

**Key words:** rubcon, fiber, fibrorubcon, beam, normal cross-sections, rectangular cross-section, strength, stresses.



REFERENCES

1. Nguyen Phan Duy. Dvukhsloynnye kautono-betonnyye izgibayemyye elementy stroitel'nykh konstruksiy: dis. ... kand. tekhn. nauk [Double-layered, rubcon-concrete bending elements of building structures: dis. ... PhD]. Voronezh, 2010. 185 p. (in Russian)
2. Borisov Yu.M., Polikutin A.E., Nguen Phan Duy. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye normal'nykh secheniy dvukhsloynnykh kautono-betonnykh izgibayemykh elementov stroitel'nykh konstruksiy [The stress-strain state of normal sections of double-layered, rubcon-concrete bending elements of building structures]. Nauchnyy vestnik VGASU "Arkhitektura i stroitel'stvo" [Scientific Herald of the VSUAC "Architecture and construction"]. 2010. No. 2. Pp. 18–24. (in Russian)
3. Pinaev S.A., Francisco Saviti Mathias da Fonesca. Vliyaniye polimertsementnoy zashchity na treshchinostoykost' zhelezobetonnykh izgibayemykh elementov [Effect of polymer-cement protection on the crack resistance of reinforced concrete bending elements]. Nauchnyy vestnik VGASU "Vysokiye tekhnologii v ekologii" [Scientific Herald of the VSUAC "High technology. Ecology"]. 2011. No. 9. Pp. 85–88. (in Russian)
4. Pinaev S.A. Korotkie szhatye ehlementy stroitel'nykh konstruksiy iz effektivnogo kompozita na osnove butadienovogo polimera: dis. ... kand. tekhn. nauk [Short compressed elements of building structures from an effective composite based on a butadiene polymer: dis. ... PhD]. Voronezh, 2001. 191 p. (in Russian)
5. 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. No. 871. Pp. 104–109.
6. 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, caouton reinforcement and concrete. MATEC Web of Conferences. 2016. No. 73.
7. Korneev A.M., Buzina O.P., Sukanov A.V. Determinirovannaya matematicheskaya model' i algoritm analiza napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya izgibaemykh ehlementov s diskretnymi voloknami [Deterministic mathematical model and algorithm for analysis of stress-strain state of bending elements with discrete fibers]. Sovremennyye naukoemkie tekhnologii [Modern High Technologies]. 2016. No. 9. Pp. 57–62. (in Russian)
8. Polikutin A.E., Potapov Yu.B., Levchenko A.V. Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya dispersnogo armirovaniya na prochnost' normal'nykh secheniy izgibaemykh ehlementov iz kautona [Experimental research of the effect of dispersive reinforcement on the strength of normal sections of bending elements of rubcon]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2018. No. 8. Pp. 28–35. (in Russian)
9. Borisov Yu.M., Panfilov D.V., Kashtanov S.V., Yudin E.M. Dispersno-armirovannyye stroitel'nyye kompozity [Construction dispersed reinforced composites]. Stroitel'naya mekhanika i konstruksii [Structural mechanics and design]. 2010. No. 2. Pp. 32–37. (in Russian)
10. Panfilov D.V. Dispersno-armirovannyye stroitel'nyye kompozity na osnove polibutadiyenovogo oligomera: dis. ... kand. tekhn. nauk [Dispersed reinforced building composites based on polybutadiene oligomer: dis. ... PhD]. Voronezh, 2004. 188 p. (in Russian)
11. Song P.S., Wang S.H. Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. Construction and Building Materials. 2004. Vol. 18, Iss. 9. Pp. 669–673.

12. Filimoshkina G.I. Otsenka prochnosti izgibayemykh elementov zhelezo-betonnykh konstruktsiy s uchetom osobennostey eksperimentalnoy diagrammy napryazheniy – deformatsiy szhatoy zony betona: dis. ... kand. tekhn. nauk [Evaluation of the strength of the bending elements of reinforced concrete structures taking into account the features of the experimental stress – strain diagram of the compressed zone of concrete: dis. ... PhD]. Moscow, 1999. 180 p. (in Russian)
  13. Ganaga P.N., Mailyan L.R. Sovershenstvovaniye metodov rascheta zhelezo-betonnykh konstruktsiy i snizheniye ikh metalloyemkosti [Improvement of methods of calculation of reinforced concrete structures and reduction of their metal content]. Stavropol, 1987. 152 p. (in Russian)
-