

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ КАУТОНОВЫХ БАЛОК СО СМЕШАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ

ПОТАПОВ Ю.Б., ПОЛИКУТИН А.Э., ЛЕВЧЕНКО А.В.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия

Аннотация. Каутон-полимербетон на основе жидкого каучука. Ввиду высокой прочности каутона на растяжение конструкции из него рекомендуются, как конструкции с повышенными требованиями к трещинообразованию, также хотелось бы отметить, что значение отношения прочности на сжатие к прочности на растяжение лежит в диапазоне от 7-8, при этом в случае добавления дисперсного армирования данное соотношение прочностных показателей равняется ~6. Для сравнения хотелось бы отметить, что отношение прочности на сжатие к прочности на растяжение для бетона класса B25 равняется практически 15. Что говорит об актуальности применения каучукового полимербетона в качестве материала изготовления изгibtаемых элементов. Объектом исследования являются балки прямоугольного сечения из каучукового полимербетона (каутона) размером 60x120x1400мм. Экспериментально установлено, что добавление фибры из волокон металлокорда повышает трещиностойкость нормальных сечений до 1,5 раз. В результате обзора литературных источников установлено, что существующие методы расчета нормальных сечений изгibtаемых элементов нуждаются в адаптации и получении собственных эмпирических зависимостей для расчета балок из каучукового бетона. В результате расчета трещиностойкости по предложенной методике максимальная разница значений в каутоновых балках составляет 5,9%, а в фиброкаутоновых 4,1%.

Ключевые слова: трещиностойкость, балка, полимербетон, каутон, фибра, нормальные сечения

CALCULATION METHOD OF THE NORMAL SECTIONS CRACK RESISTANCE OF THE RUBCON BEAMS WITH MIXED REINFORCEMENT

POTAPOV Yu.B., POLIKUTIN A.E., LEVCHENKO A.V.

Voronezh State Technical University (VSTU), Voronezh, Russia

Abstract. Rubcon-polymer concrete based on liquid rubber. Due to the high tensile strength of the rubcon, structures made of it are recommended as structures with increased requirements for crack resistance, also should be noted that the value of the ratio of compressive strength to tensile strength lies in the range of 7-8, while in the case of the addition of dispersed reinforcement, this ratio of strength indicators is ~6. For comparison, it should be noted that the ratio of compressive strength to tensile strength for concrete class B25 is almost 15. This indicates the relevance of the use of rubber polymer-concrete as a material for the manufacture of bending elements. The objects of the study are beams of rectangular cross section from the rubber polymer (Rubcon) size 60x120x1400mm. It that the addition of fibers from the steel cord improves the crack resistance of normal section of up to 1.5 times experimentally was established. As a result of the review of literature sources, it was found that the existing methods of calculating the normal sections of bending elements need to be adapted and obtain their own empirical dependences for the calculation of beams from rubber concrete. As a result of the calculation of crack resistance according to the proposed method, the maximum difference of values in the rubcon beams is 5.9%, and in fibrocauton beams, 4.1%.

Keywords: crack resistance, beam, polymer concrete, rubcon, fibre, normal sections.

Введение

Применение конструкций на основе полимербетонов наиболее эффективно в зданиях и сооружениях эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред различной природы. Важным фактором для обеспечения нормальной эксплуатации таких конструкций является предотвращение проникновения агрессивной среды вглубь сечения и воздействия на стальную арматуру. Одним из путей решения такой проблемы является применение материала с повышенными прочностными характеристиками, в частности высокой прочностью на растяжение.

Получаемый на основе каучуков строительный материал – каутон обладает высокими прочностными показателями и высокой химической стойкостью, свойствами, необходимыми для зданий, сооружений или их частей, эксплуатируемых в агрессивных средах. В случае добавления дисперсного армирования в состав полимербетона, полученные конструкции могут эксплуатироваться в качестве конструкций с повышенными требованиями к трещинообразованию.

Исследование свойств фиброкаутона было проведено в работах [1-5], среди которых было определено, что каучуковый бетон обладает практически универсальной химической стойкостью, а также высокой стойкостью к воздействию радиации. В связи, с чем исследование конструкций из данного полимербетона и адаптация методик расчета для их проектирования представляет научный интерес. Изучением поведения конструкций, изготовленных из него занимались исследователи [6-9]. В развитие темы исследования изгибаемых элементов были проведены испытания двухслойных балок, содержащие в сжатой зоне – бетон, в растянутой – каутон [6,7]. Предпосылки для оптимизации методик расчета нормальных сечений изгибаемых конструкций представлены в работе [9]. Также ряд исследователей занимался изучением изгибаемых элементов с применением полимерцементной защиты [10]. Одной из положительных характеристик каутона является высокая адгезия к поверхностям различного вида, наиболее высокая величина адгезии со сталью (12...13 МПа). Это подтверждает целесообразность выбора стальной фибры. Известны также способы повышения прочности растянутой зоны изгибаемых элементов путем применения углепластиковых лент в качестве внешнего армирования [11, 12], также в этих исследованиях предложен способ повышения прочности растянутой зоны путем совместного применения фибрового армирования и внешнего - углепластиковыми лентами. Добавлением в качестве дисперсного армирования стальную фибру в бетонные конструкции занимались исследователи [13]. Влияние мелкодисперсного наполнителя, а, именно золы-унос, из отходов ТЭЦ, которая также присутствует в составе каутона, занимались исследователи полиэфирного бетона [14], в результате чего было отмечено благоприятное влияние на прочностные характеристики уменьшение себестоимости композита. Некоторые прочностные свойства каучукового полимербетона приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства каучукового полимербетона

Свойства	Показатели для каутона	Показатели для фиброкаутона
Прочность при сжатии, МПа	75...80	85...90
Прочность при растяжении, МПа	9...11	13..15
Модуль упругости, МПа	25000...26000	30000...31000
Термостойкость, $^{\circ}\text{C}$	100...110	100...110
Морозостойкость, число циклов замораживания – оттаивания, не менее	500	500
Водопоглощение, мас. %	0,05	0,05
Усадка, мм/м	–	–

На сегодняшний день основной объем исследований направлен на совершенствования

методик расчета для традиционных железобетонных элементов с применением диаграмм деформирования [15-18] в том числе для балок, армированных углепластиковыми холстами, хотелось бы отметить, что в данных методиках расчета форма эпюры имеет не прямоугольную форму, как это принято в действующих строительных нормах. Что касается полимербетонных конструкций то исследованию и разработке методик расчета были в основном подвергнуты изгибающие элементы на основе эпоксидных и полиэфирных смол [19-21]. Однако данные методики не могут быть распространены на полимербетонные балки на основе жидкого каучука без получения собственных эмпирических зависимостей.

Модели и методы

С целью исследования трещиностойкости нормальных сечений, армированных каутоновых балок прямоугольного поперечного сечения, были изготовлены и испытаны на чистый изгиб экспериментальные образцы с продольным стержневым армированием.

Схема загружения и сечение балок изображены на рисунке 1.

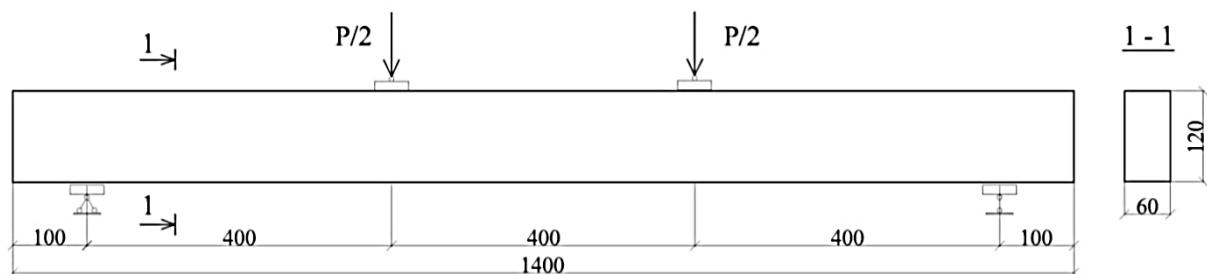


Рисунок 1 - Схема загружения и сечение изгибаемых элементов

Для определения изгибающего момента, при котором образовалась трещина на нижнюю грань балки и на арматурный стержень клеились тензодатчики, схема расположения которых приведена на рисунке 2.

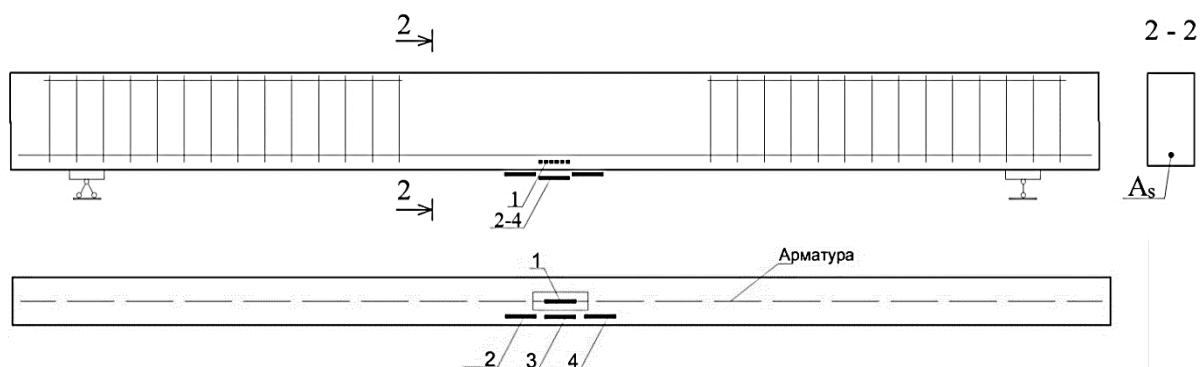


Рисунок 2 - Схема расположения арматурного каркаса и схема расположения датчиков

Для измерения относительных деформаций арматуры клеился тензодатчик 1, для измерения относительных деформаций растянутой зоны балки, а также, для определения нагрузки, при которой появилась трещина, клеились тензодатчики №2-4.

Как отмечалось в работе [22] процесс трещинообразования изгибаемых элементов начинается при достижении крайним растянутым волокном каутона или фиброкаутона предельной растяжимости. Следовательно, расчет трещиностойкости нормального сечения сводится к определению момента внешних сил, при котором происходит достижение предела прочности каутона на растяжение.

Расчет трещиностойкости нормальных сечений каутоновых и фиброкаутоновых балок.

В результате проведенных экспериментов и анализа полученных результатов было решено принять следующие предпосылки расчета трещиностойкости нормальных сечений:

1. до образования трещин изменение деформаций по высоте сечения происходит по линейному закону;
2. в материале растянутой зоны возникают неупругие деформации. Эпюра нормальных напряжений растянутой зоны имеет треугольную форму;
3. в материале сжатой зоны возникают только упругие деформации, эпюра нормальных напряжений сжатой зоны имеет треугольную форму.
4. напряжения в полимербетоне растянутой зоны равны пределу прочности на растяжение.

Ввиду того что конструкции из фиброкаутона и каутона рекомендуются, как конструкции с повышенными требованиями к трещинообразованию, на основании проведенных экспериментов было установлено, что наиболее эффективное использование прочности материала растянутой зоны ограничено процентом продольного армирования равным 4,95.

Распределение внутренних усилий и деформаций (перед образованием трещины), принимаемых при расчете нормального сечения балок из каучукового бетона приведено на рисунке 3.

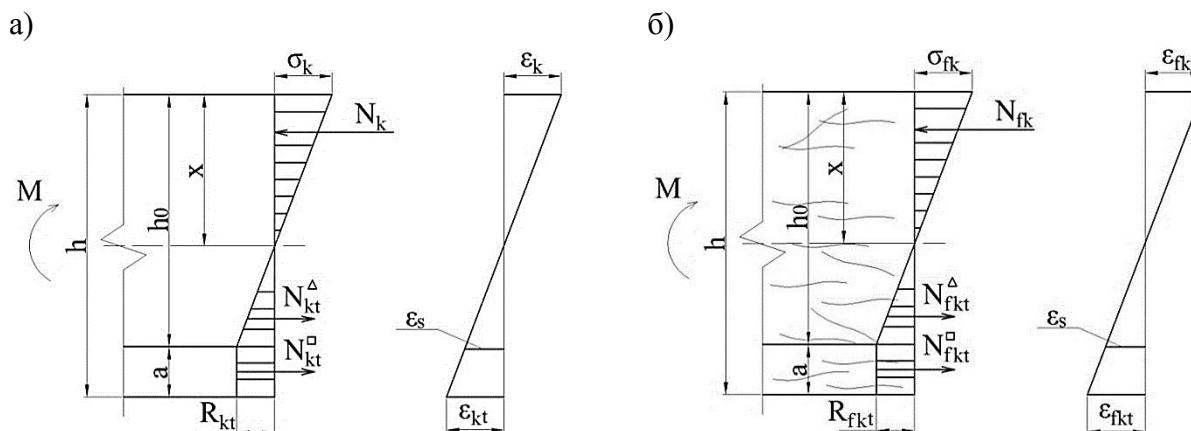


Рисунок 3 – Расчетные картины распределения внутренних усилий и деформаций в нормальном сечении изгибаемых элементов из каутона (а) и фиброкаутона (б) при расчете на трещинообразование

Сжимающие усилия в каутоне:

$$N_k = \frac{1}{2} \sigma_k \cdot x \cdot b, \quad (1)$$

где согласно гипотезе плоских сечений: $\sigma_k = \varepsilon_{kt} \cdot E$.

Растягивающие усилия, воспринимаемые каутоном и арматурой, определяем совместно, применяя формулу площади приведенного сечения:

$$N_{kt} = N_k^{\square} + N_k^{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot R_{kt} \cdot [b(h - x) + \alpha A_s \cdot \theta - a \cdot b] + \nu \cdot R_{kt} \cdot b \cdot a, \quad (2)$$

где $\theta = (h_0 - x)/x$ – коэффициент, учитывающий меньшее значение деформации арматурного стержня по сравнению с крайним растянутым волокном каутона;

$\nu = 0,5$ – коэффициент упругопластических свойств каутона.

Величину сжатой зоны определяем из суммы проекций внутренних усилий на продольную ось элемента:

$$x^2 \left(\frac{1}{2} \cdot \varepsilon_{kt} \cdot E_k \cdot b + \frac{1}{2} \cdot R_{kt} \cdot b \right) - x \left(R_{kt} \cdot b \left(\frac{1}{2} h - \frac{1}{2} a + \nu \cdot a \right) - \frac{1}{2} R_{kt} \cdot \alpha \cdot A_s \right) - \frac{1}{2} R_{kt} \cdot \alpha \cdot A_s \cdot h_0 = 0, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{kt} = 0,00053$ – предельная растяжимость каутона.

Момент трещинообразования определяем из условия равновесия моментов внутренних усилий относительно точки действия равнодействующей усилий, возникающих в растянутой зоне элемента:

$$M_{crc} = N_k \cdot \left(h - \frac{x}{3} - y_t \right), \quad (4)$$

где $y_t = S_{red}/A_{red}$ – расстояние от нижней грани до центра тяжести приведенного сечения растянутой зоны изгибающего элемента;

$A_{red} = (h-x) \cdot b + \alpha \cdot A_s$ – площадь приведенного сечения растянутой зоны изгибающего элемента;

S_{red} – статический момент инерции приведенного сечения растянутой зоны изгибающего элемента.

Расчетные значения момента трещинообразования каутоновых изгибаемых элементов по приведенной выше методике приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета моментов трещинообразования каутоновых изгибаемых элементов

Код балок	μ , %	M_{crc}^{exp} , кНм	M_{crc}' , кНм	Откл. M_{crc}' от M_{crc}^{exp} , %
БПК-8	0,8	1,45	1,52	4,8
БПК-10	1,25	1,48	1,56	5,4
БПК-12	1,8	1,52	1,61	5,9
БПК-2х10	2,5	1,76	1,68	-4,5
БПК-2х12	3,55	1,84	1,75	-4,9
БПК-2х14	4,95	1,86	1,81	-2,7

Шифр БПК означает, что балка выполнена из каутона *без* фиброного армирования

Из таблицы 2 можно увидеть, что разница между расчетными и экспериментальными значениями лежит в пределах от -4,9% до 5,9 %. Экспериментальный и расчетный графики момента трещинообразования приведены на рисунке 4.

Для балок с процентом продольного армирования выше 1,8 можно наблюдать скачок значений момента трещинообразования, который обусловлен переходом от армирования растянутой зоны одним продольным стержнем к армированию в виде двух продольных стержней, что говорит об увеличении сцепления материала балки с арматурным каркасом вследствие увеличения площади контакта каутона с арматурной сталью.

Сжимающие усилия в фиброкаутоне:

$$N_{fk} = \frac{1}{2} \sigma_{fk} \cdot x \cdot b, \quad (5)$$

где согласно гипотезе плоских сечений: $\sigma_{fk} = \varepsilon_{fkt} \cdot E$.

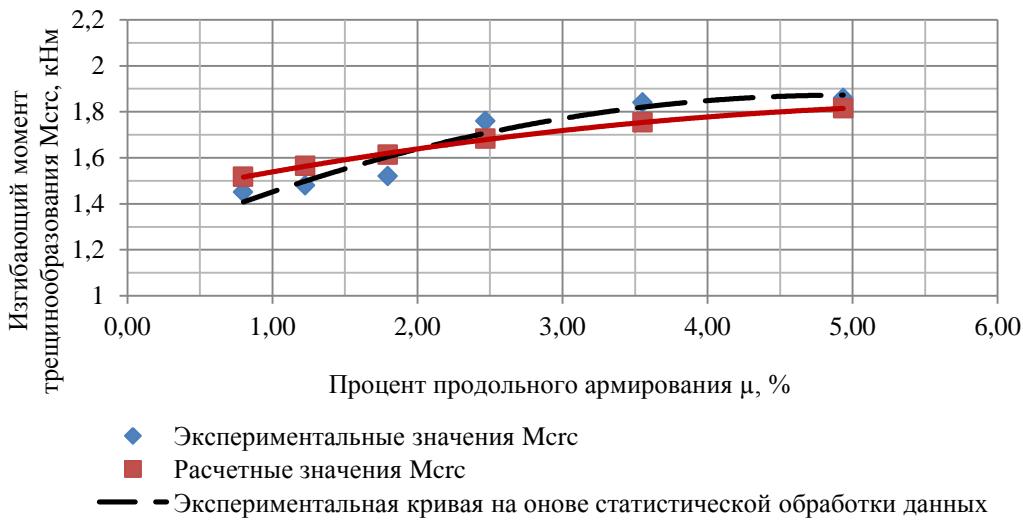


Рисунок 4 – Экспериментальный и расчетный графики момента трещинообразования

Растягивающие усилия, воспринимаемые каутоном и арматурой, определяем совместно, применяя формулу площади приведенного сечения:

$$N_{fkt} = N_{fk}^{\square} + N_{fk}^{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot R_{fkt} \cdot [b(h - x) + \alpha A_s \cdot \theta - a \cdot b] + \nu \cdot R_{fkt} \cdot b \cdot a, \quad (6)$$

где $\theta = (h_0 - x)/x$ – коэффициент, учитывающий меньшее значение деформации арматурного стержня по сравнению с крайним растянутым волокном каутона;

$\nu = 0,7$ – коэффициент упругопластических свойств фиброкаутона.

Величину сжатой зоны определяем из суммы проекций внутренних усилий на продольную ось элемента:

$$x^2 \left(\frac{1}{2} \cdot \varepsilon_{fkt} \cdot E_{fk} \cdot b + \frac{1}{2} \cdot R_{fkt} \cdot b \right) - x \left(R_{fkt} \cdot b \left(\frac{1}{2} h - \frac{1}{2} a + \nu \cdot a \right) - \frac{1}{2} R_{fkt} \cdot \alpha \cdot A_s \right) - \frac{1}{2} R_{fkt} \cdot \alpha \cdot A_s \cdot h_0 = 0, \quad (7)$$

где $\varepsilon_{fkt} = 0,00061$ – предельная растяжимость фиброкаутона.

Момент трещинообразования в фиброкаутоновой балке определяем подобно каутоновой по формуле (4). Расчетные значения момента трещинообразования фиброкаутоновых изгибаемых элементов по приведенной выше методики приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета моментов трещинообразования фиброкаутоновых изгибаемых элементов

Шифр балок	$\mu, \%$	$M_{crc}^{exp}, \text{кНм}$	$M_{crc}^t, \text{кНм}$	Откл. M_{crc}^t от $M_{crc}^{exp}, \%$
БПФ-8	0,8	2,11	2,12	0,5
БПФ -10	1,25	2,4	2,33	-2,9
БПФ -12	1,8	2,45	2,38	-2,9
БПФ -2x10	2,5	2,5	2,45	-2,0
БПФ -2x12	3,55	2,51	2,52	0,4
БПФ -2x14	4,95	2,7	2,59	-4,1
Шифр БПФ означает, что балка выполнена из каутона с фибровым армированием				

Из таблицы 3 можно увидеть, что разница между расчетными и экспериментальными значениями лежит в пределах от -2,9% до 0,5 %. Экспериментальный и расчетный графики момента трещинообразования приведены на рисунке 5.

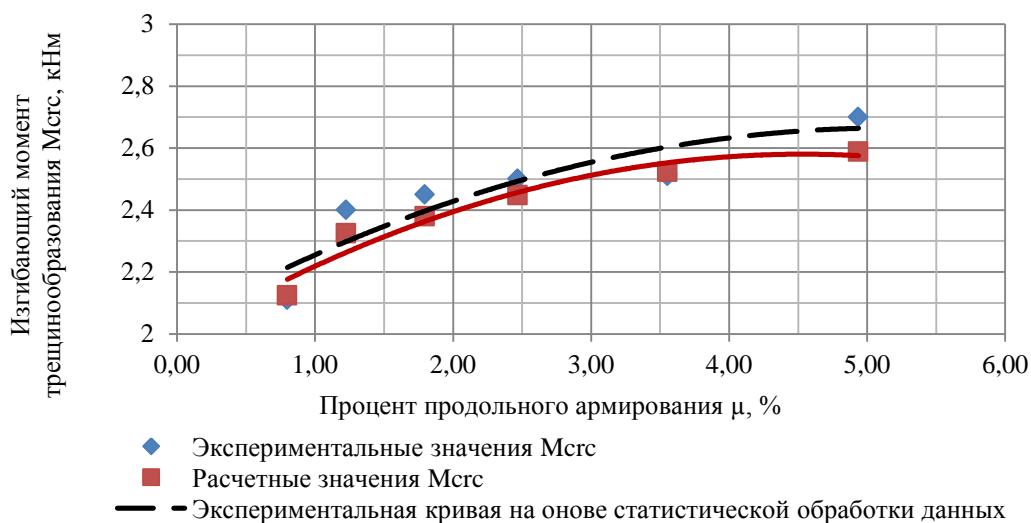


Рисунок 5 – Экспериментальный и расчетный графики момента трещинообразования

Хотелось бы отметить, что графики экспериментальных значений момента трещинообразования и расчетных, изображенные на рисунках 4,5, практически совпадают.

Результаты исследования и их анализ

Из анализа результатов исследований трещиностойкости нормальных сечений каутоновых и фиброкаутоновых изгибаемых элементов можно сделать вывод, что в балках с дисперсным армированием, как и в балках без него, процент продольного армирования влияет на значение момента трещинообразования. Данная зависимость подобна линейной, однако из-за ряда специфических свойств материала изготовления балок графики зависимостей « $M_{crc} - \mu$ » приобретают криволинейные очертания. Введение фибрового армирования в состав каутона повышает величину изгибающего момента трещинообразования (M_{crc}). При этом увеличение M_{crc} происходит практически на одну и ту же величину во всем диапазоне значений процента продольного армирования.

Выводы

Конструкции из каучукового бетона рекомендуются, как конструкции с повышенными требованиями к трещинообразованию.

Экспериментально определено, что добавление фибры по всей высоте сечения элемента при одинаковом проценте продольного армирования повышает момент трещинообразования фиброкаутоновых изгибаемых элементов по сравнению с изгибаемыми элементами из каутона (без дисперсного армирования) до 1,5 раз

Для расчета трещиностойкости нормальных сечений каутоновых, фиброкаутоновых изгибаемых элементов рекомендуется использовать уравнения равновесия с применением коэффициента, учитывающего меньшее значение деформации арматурного стержня по сравнению с крайним растянутым волокном полимербетона, а также с учетом неупругих деформаций, возникающих в полимербетоне растянутой зоны, $v=0,7$ – для фиброкаутона и $v=0,5$ – для каутона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Ю.М., Панфилов Д.В., Каштанов С.В., Юдин Е.М. Дисперсно армированные строительные композиты // Строительная механика и конструкции. 2010. № 2 (5). С. 32-37.
2. Панфилов Д.В. Дисперсно армированные строительные композиты на основе полибутиадиенового олигомера: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 // Панфилов Дмитрий Вячеславович. Воронеж, 2004. 188 с.
3. Фиговский О.Л., Потапов Ю.Б., Панфилов Д. В., Каштанов С. В., Юдин Е.М. Исследование распределения дефектов в структуре фиброкаутона методом Монте-Карло // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. №11 (72). С. 21-25.
4. Чмыхов В. А. Сопротивление каучукового бетона действию агрессивных сред: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 // Чмыхов Виталий Александрович. Воронеж, 2002. – 224 с.
5. Перекальский О.Е. Строительные композиты на основе полибутиадиеновых олигомеров для защиты от радиации: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. // Перекальский Олег Евгеньевич. Воронеж, 2006. - 174 с.
6. Нгуен Фан Зуй. Двухслойные каутоно-бетонные изгибающие элементы строительных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 // Нгуен Фан Зуй. Воронеж, 2010. - 185 с.
7. Поликутин А.Э., Чыонг З.Х., Пинаев С.А. Результаты экспериментальных исследований прочности наклонных сечений каутоно-бетонных изгибающихся элементов при изменении поперечного армирования и пролета среза // Актуальные вопросы науки и техники. Самара, 2015. С. 127-131.
8. Polikutin A. E., Comparative analysis of the durability of normal sections reinforced rubber concrete with fiber and reinforced concrete bending element // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. №463. doi:10.1088/1757-899X/463/2/022040.
9. Potapov Yu., Polikutin A., Perekal'skiy O., Levchenko A. The stress-strain state of normal sections rubcon bending elements with mixed reinforcement // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. №983. doi: 10.1007/978-3-030-19868-8.
10. Potapov Y. 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. Pp. 104-109.
11. Grace, N. F.; Soliman, A. K.; Sayed, G. A.; and Saleh, K. R., Behavior and Ductility of Simple and Continuous Beams Reinforced with FRP Bars and Stirrups. // ASCE Journal of Composites for Construction. 1998. November.
12. Grace, N. F., Sayed, G. A., Soliman, A. K., Saleh, K. R. Strengthening Reinforced Concrete Beams Using Fiber Reinforced Polymer (FRP) Laminates // ACI Structural journal. 1999. Pp. 865-875.
13. Swamy, R. N., Sa'ad A. Al-Ta'an. Deformation and Ultimate Strength in Flexure of Reinforced Concrete Beams Made with Steel Fiber Concrete // Journal Proceedings. 1981. №78. Pp. 395-405.
14. 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). Pp. 546-555.
15. Yu-Gui Cao, Cheng Jiang and Yu-Fei Wu. Cross-Sectional Unification on the Stress-Strain Model of Concrete Subjected to High Passive Confinement by Fiber-Reinforced Polymer // Polymers. 2016. №8(5). doi:10.3390/polym8050186
16. Dinh Tho Vu, Elena Korol, Yuliya Kustikova1, Huy Hoang Nguyen. Finite element analysis of three-layer concrete beam with composite reinforcement // E3S Web of Conferences. 2019. №97. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199702023>
17. Antonio R. Marí, Eva Oller, Jesús M. Bairán, Noemí Duarte. Simplified method for the calculation of long-term deflections in FRP-strengthened reinforced concrete beams // Composites Part B: Engineering. 2013. №45(1). Pp:1368-1376.
18. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer // Materials and Design. 2010. №31(3), Pp: 1130-1147.
19. Abdel-Fattah H, El-Hawary MM. Flexural behavior of polymer concrete // Construction and Building Materials. 1999. №13(5). Pp: 253-262.
20. Расчеты и применение конструкций из армополимербетонов в строительстве (Руководство) НИИЖБ ГИПРОЦВЕТМЕТ, 1975. – 238с.
21. Давыдов С.С., Иванов А.М. Сталеполимербетонные строительные конструкции. М.: Стройиздат, 1972. 280 с.
22. Поликутин А.Э., Барабаш Д.Е., Левченко А.В., Коротких Д.Н. Экспериментальные исследования трещиностойкости нормальных сечений изгибающихся элементов из каутона и фиброкаутона // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 1 (53). С. 11-21. doi: 10.25987/VSTU.2019.53.1.001.

REFERENCES

1. Borisov Yu. M., Panfilov D. V., Kashtanov S. V., Yudin Ye. M., Dispersno armirovannye stroitel'nye kompozity [Construction dispersed reinforced composites]. *Stroitel'naya mehanika i konstrukcii*, 2010. Vol. 2. No 5. Pp. 32-37. (rus)
2. Panfilov D. V. Dispersno armirovannye stroitel'nye kompozity na osnove polibutadienovogo oligomera [Dispersed reinforced building composites based on polybutadieneoligomer]. Dis. candidate in tech. sciences: 05.23.05. Voronezh, 2004. 188 p. (rus)
3. Figovskiy O.L., Potapov Yu. B., Panfilov D. V., Kashtanov S. V., Yudin E. M. Issledovanie raspredele-niya defektov v strukture fibrokautona metodom Monte-Karlo [Research on the spreading of defects in fiber concrete structure by the Monte Carlo method]. *Eastern European Journal of Advanced Technology*, 2014. Vol. 11 No 72. Pp. 21-25. (rus)
4. Chmykhov V. A. Soprotivlenie kauchukovogo betona dejstviyu agressivnyh sred [Rubber concrete resistance to aggressive environment]. Dis. candidate in tech. sciences: 05.23.05, Voronezh, 2002. 224p. (rus)
5. Perekalsky O. E. Stroitel'nye kompozity na osnove polibutadienovyh oligomerov dlya zashchity ot radi-aci-ii [Building composites based on polybutadiene oligomers for radiation protection]. Dis. candidate in tech. sciences: 05.23.05, Voronezh, 2006. 174p. (rus)
6. Nguyen Phan Dhuy. Dvuhslojnye kautono-betonnye izgibaemye elementy stroitel'nyh konstrukcij [Double-layered, rubcon-concrete bending elements of building structures]. Dis. candidate in tech. sciences: 05.23.01, Voronezh, 2010. 185 p.(rus)
7. Polikutin A E, Cheung Z H and Pinaev S A. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij prochnosti naklonnyh sechenij kautono-betonnyh izgibaemyh elementov pri izmenenii poperechnogo armirovaniya i proleta sreza [The results of experimental researches on the strength of inclined sections of rubcon- concrete flexural members with a change in transverse reinforcement and shear span]. *Aktual'nye voprosy nauki i tekhniki*. Samara (2015) 127-131. (rus)
8. Polikutin A. E., Comparative analysis of the durability of normal sections reinforced rubber concrete with fiber and reinforced concrete bending element. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. No 463. doi:10.1088/1757-899X/463/2/022040.
9. Potapov Yu., Polikutin A., Perekal'skiy O., Levchenko A. The stress-strain state of normal sections rub-con bending elements with mixed reinforcement. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. No 983. doi: 10.1007/978-3-030-19868-8.
10. Potapov Y. 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.
11. Grace, N. F.; Soliman, A. K.; Sayed, G. A.; and Saleh, K. R., Behavior and Ductility of Simple and Con-tinuous Beams Reinforced with FRP Bars and Stirrups. *ASCE Journal of Composites for Construction*. 1998. November.
12. Grace, N. F., Sayed, G. A., Soliman, A. K., Saleh, K. R. Strengthening Reinforced Concrete Beams Using Fiber Reinforced Polymer (FRP) Laminates. *ACI Structural journal*. 1999. Pp. 865-875.
13. Swamy, R. N., Sa'ad A. Al-Ta'an. Deformation and Ultimate Strength in Flexure of Reinforced Concrete Beams Made with Steel Fiber Concrete. *Journal Proceedings*. 1981. No 78. Pp. 395-405.
14. Gorninski J.P., Dal Molin, D.C., Kazmierczak, C.S. Comparative assessment of isophthalic and orthophthal-ic polyester polymer concrete: Different costs, similar mechanical properties and durability. *Construction and Building Materials*. 2007. Vol. 21. No. 3. Pp. 546-555.
15. Yu-Gui Cao, Cheng Jiang and Yu-Fei Wu. Cross-Sectional Unification on the Stress-Strain Model of Concrete Subjected to High Passive Confinement by Fiber-Reinforced Polymer. *Polymers*. 2016. Vol. 8. No. 5. doi:10.3390/polym8050186
16. Dinh Tho Vu, Elena Korol, Yuliya Kustikova1, Huy Hoang Nguyen. Finite element analysis of three-layer concrete beam with composite reinforcement. *E3S Web of Conferences*. 2019. No 97. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199702023>
17. Antonio R. Marí, Eva Oller, Jesús M. Bairán, Noemí Duarte. Simplified method for the calculation of long-term deflections in FRP-strengthened reinforced concrete beams. *Composites Part B: Engineering*. 2013. Vol. 45 No. 1. Pp:1368-1376.
18. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer. *Materials and Design*. 2010. Vol. 31. No. 3, Pp: 1130-1147.
19. Abdel-Fattah H, El-Hawary MM. Flexural behavior of polymer concrete. *Construction and Building Ma-terials*. 1999. Vol. 13. No. 5. Pp: 253-262.
20. Raschety i primenie konstrukcij iz armopolimerbetonov v stroitel'stve [Calculations and application of armopolymer concrete structures in construction (Management)]. NIZHGB GIPROTSVETMET, 1975. – 238p. (rus)
21. Davydov S. S., Ivanov A. M. Stalepolimerbetonnye stroitel'nye konstrukcii [Reinforced polymer concrete building structures]. M.: Stroizdat, 1972. 280p. (rus)

22. Polikutin A. E., Barabash D. E., Levchenko A.V. Korotkih D.N. Eksperimental'nye issledovaniya tresh-chinostojkosti normal'nyh sechenij izgibaemyh elementov iz kautona i fibrokautona. [Experimental research of crack resistance of normal section of bending elements from rubcon and fibrorubcon]. *Scientific journal of civil engineering and architecture*. 2019. Vol. 1. No 53. pp: 11-21. doi: 10.25987/VSTU.2019.53.1.001. (rus)

Информация об авторах:

Потапов Юрий Борисович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия, доктор техн. наук, профессор кафедры Строительных конструкций оснований и фундаментов им. проф. Ю.М. Борисова»; E-mail: apl-sc@mail.ru

Поликутин Алексей Эдуардович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры Строительных конструкций оснований и фундаментов им. проф. Ю.М. Борисова»; E-mail: a.pl@mail.ru

Левченко Артем Владимирович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия, аспирант кафедры Строительных конструкций оснований и фундаментов им. проф. Ю.М. Борисова»; E-mail: Alevchenko@vgasu.vrn.ru

Information about authors:

Potapov Yuri B.

Voronezh State Technical University (VSTU), Voronezh, Russia,
doctor in tech. sc., prof. of the dep. of building constructions, bases and foundations named after professor Yu.M. Borisov; E-mail: apl-sc@mail.ru

Polikutin Aleksei E.

Voronezh State Technical University (VSTU), Voronezh, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of building constructions, bases and foundations named after professor Yu.M. Borisov; E-mail: a.pl@mail.ru

Levchenko Artem V.

Voronezh State Technical University (VSTU), Voronezh, Russia,
postgraduate student of the dep. of building constructions, bases and foundations named after professor Yu.M. Borisov;
E-mail: Alevchenko@vgasu.vrn.ru