

М.В. МОРГУНОВ¹, Д.А. МАСЛОВ¹¹ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, Россия

НОРМИРУЕМЫЕ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПО РАСЧЕТУ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. В исследовании проводится подробный анализ применения нормируемых деформационных моделей в целях практического вычисления такой расчетной характеристики, как трещиностойкость у железобетонных элементов. Для теоретической проверки значений момента трещинообразования используется два метода расчета, основанных на применении упругопластического момента сопротивления сечения и нелинейной деформационной модели. Также применяется сравнительный анализ расчетных значений с экспериментальными данными.

В ходе теоретических исследования момента трещинообразования с использованием данных методик сделаны и анализом экспериментальных данных сделаны следующие выводы. Расчетное значение в процессе применения упругопластического момента и двухлинейной диаграммы состояния бетона не превышает экспериментальные и обладают запасом в пределах 10%.

Ключевые слова: момент трещинообразования, упругопластический момент сопротивления сечения, железобетонная балка, прямоугольное сечение, нелинейная деформационная модель, диаграмма состояния бетона.

M.V. MORGUNOV¹, D.A. MASLOV¹¹Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk, Russia

NORMALIZED DEFORMATION MODELS FOR THE CALCULATION OF CRACKING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract. The study provides a detailed analysis of the application of normalized deformation models in order to practically calculate such a design characteristic as crack resistance in reinforced concrete elements. For theoretical verification of the values of the moment of cracking, two calculation methods are used, based on the application of the elastic-plastic moment of cross-section resistance and a nonlinear deformation model. A comparative analysis of calculated values with experimental data is also used.

In the course of theoretical studies of the moment of cracking using these techniques, the following conclusions were made and the analysis of experimental data was made. The calculated value during the application of the elastic-plastic moment and the two-line diagram of the state of concrete does not exceed the experimental ones and has a margin of 10%.

Keywords: cracking moment, elastic-plastic moment of cross-section resistance, reinforced concrete beam, rectangular cross-section, nonlinear deformation model, concrete state diagram.

Введение

Трещины являются наиболее распространенным дефектом в железобетонных конструкциях [1]. Их образование зависит от ряда причин, среди возможных факторов их образования – ошибки при проектировании, нарушение технологии производства и не соблюдение стандартов изготовления, агрессивное воздействие окружающей среды и аварийные ситуации [2,3]. Важно избегать ошибок на всех этапах создания, реализации конструкций и выполнять контроль в процессе их эксплуатации [4].

© Моргунов М.В., Маслов Д.А., 2022

На проектной стадии необходимо выполнить расчеты, для недопущения появления трещин в железобетоне [5]. Одним из подобных расчетов является расчет, направленный на вычисление момента трещинообразования [6-7]. Среди широкого спектра методик вычисления, в рамках данного исследования выделим наиболее распространенные: расчет с использованием упругопластического момента сопротивления сечения, а также расчет, основанный на теории о нелинейности деформаций [8].

Отдельное внимание стоит уделить применению методике с использованием диаграмм деформирования для бетона и арматуры [9-10]. Данный метод широко применяется в зарубежной практике и набирает значимость в России, в расчетах на прочность и деформативность железобетона, базой которого служит гипотеза плоских сечений [11-13].

Кусочно-линейные диаграммы зависимости относительных деформаций от напряжения в нормативной документации, заменяют собой экспериментальные зависимости стальной арматуры и бетона [14-16]. Нелинейная деформационная модель предоставляет общий порядок расчета, в частности момента трещинообразования [17].

Обзор проведенных ранее исследований данного вопроса [18] показал, что рассматривался и анализировался расчет момента трещинообразования железобетонного изделия с учетом только растянутой арматуры, соответственно является актуальным вопрос рассмотреть представленные методики учитывая армирование сжатой и растянутой арматурой.

Выбор между нелинейной методикой или расчетом с применением упругопластического момента сопротивления сечения осуществляется непосредственно проектировщиком [19-20]. Представляется важным определить, какая методика расчета момента трещинообразования дает наиболее исчерпывающие результаты, в сравнении с экспериментальными данными, гарантируя безопасность и функциональность конструкций из железобетона [21].

Для выполнения теоретических исследований были поставлены следующие задачи:

- выполнить численные исследования момента трещинообразования изгибаемых бетонных элементов балочного типа, посредством расчета с учетом упругопластического момента и нелинейной деформационной модели с применением диаграмм состояния бетона;
- выполнить сравнительный анализ момента трещинообразования изгибаемых бетонных элементов балочного типа, вычисленного по методике ядровых моментов и нелинейной деформационной модели с применением диаграмм состояния бетона с экспериментальными данными.

Модели и методы

Экспериментальные данные момента трещинообразования M_{cr} для сравнения с теоретическими значениями возьмем из исследований [22]. Прочностные и деформационные характеристики арматуры и бетона отражены в таблице 1.

Опыты по изучению трещиностойкости, выполнялись на образцах прямоугольного сечения из бетона класса В30, схема нагружения которых представлена на рисунке 1.

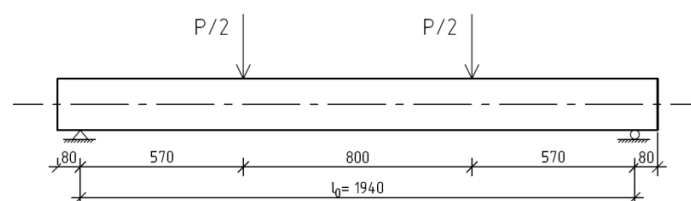


Рисунок 1 – Схема нагружения образцов[22]

Армирование производилось ненапрягаемой арматурой класса А400 в растянутой и сжатой зонах бетона (по два стержня). Конструкция образцов представлена на рисунке 2.

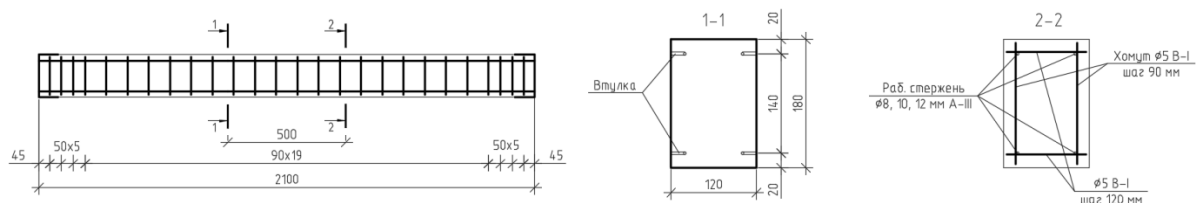


Рисунок 2 – Конструкция образцов [22]

Таблица 1 – Экспериментальные значения прочностных и деформационных характеристик арматуры и бетона [22]

Шифр балок	Сечение образца $b \times h$, см	Арматура				Бетон		
		$\mu = \mu'$, %	$A_s = A'_s$, см ²	$R_{s,ser} = R_{s,n}$, МПа	E_s , МПа	$R_{bt,ser} = R_{bt,n}$, МПа	$R_{b,ser} = R_{b,n}$, МПа	E_b , МПа
К-8	12x18	0,52	1,005	478	$2 \cdot 10^5$	2,2	30,6	30700
К-10		0,82	1,57	522				
К-12		1,18	2,26	502				

Вычисление теоретических значений момента трещинообразования выполним с учетом неупругих деформаций растянутого бетона и нелинейной деформационной модели с использованием диаграмм состояния бетона. Подробный расчет с применением кусочно-линейных диаграмм приведен для образца К-8, образцы К-10 и К-12 рассчитаны аналогичным образом, расчетные данные отражены в таблицах 3 и 4.

Определение M_{crc} с учетом неупругих деформаций растянутого бетона

Выполнение расчета железобетонных элементов по образованию трещин с учетом упругопластического момента сопротивления сечения производят по формуле:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl} \pm N \cdot e_x. \quad (1)$$

где $R_{bt,ser}$ – нормативное сопротивление бетона на растяжение по второй группе предельных состояний;

W_{pl} – упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона;

e_x – расстояние от точки приложения продольной силы (расположенной в центре тяжести приведенного сечения элемента) до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны, трещинообразование которой проверяется.

Учитывая отсутствие продольной силы N , мы имеем:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl}. \quad (2)$$

Для ортогональных разновидностей рассчитываемых сечений, расположенной в сжатой зоне, значение при действии момента в плоскости оси симметрии допускается принимать равным:

$$W_{pl} = 1,3 \cdot W_{red}. \quad (3)$$

где W_{red} – упругий момент сопротивления приведенного сечения.

Момент W_{red} рассчитаем следующим образом:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t}. \quad (4)$$

где I_{red} – момент инерции приведенного сечения элемента относительно его центра тяжести;

y_t – расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента.

Момент инерции приведенного сечения определим как:

$$I_{red} = I + I_s \cdot \alpha + I'_s \cdot \alpha. \quad (5)$$

где I, I_s, I'_s – моменты инерции сечений бетона, растянутой и сжатой арматуры;
 α – коэффициент приведения арматуры к бетону, равный:

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b}. \quad (6)$$

где E_s – модуль упругости арматуры;
 E_b – начальный модуль упругости бетона.
 Величину y_t вычислим как отношение:

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}}. \quad (7)$$

где $S_{t,red}$ – статический момент площади приведенного поперечного сечения элемента относительно наиболее растянутого волокна бетона;

A_{red} – площадь приведенного поперечного сечения элемента, определяемая по формуле:

$$A_{red} = A + A_s \cdot \alpha + A'_s \cdot \alpha. \quad (8)$$

где A, A_s, A'_s – площади поперечного сечения бетона, растянутой и сжатой арматуры.

Результаты расчетов балок по формулам (1)-(8) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета момента трещинообразования балок с использованием упругопластического момента сопротивления сечения

Шифр балок	α	$A_{red}, \text{см}^2$	$S_{t,red}, \text{см}^3$	$y_t, \text{см}$	$I_{red}, \text{см}^4$	$W_{red}, \text{кН} \cdot \text{см}^2$	$W_{pl}, \text{кН} \cdot \text{см}^2$	$M_{crc}, \text{кН} \cdot \text{м}$
К-8	6,515	229,09	1957,09	8,5427	6521,53	763,4	992,42	2,183
К-10		236,46	1964,46	8,3079	6947,6	836,26	1087,14	2,392
К-12		245,45	1973,45	8,0402	7500,96	932,93	1212,81	2,668

Практическое применение двухлинейной диаграммы состояния бетона в целях выполнения расчета момента трещинообразования

Методология расчета момента трещинообразования M_{crc} с использованием теории нелинейной деформационной модели бетона изложена в специализированных нормативных актах по типу СП, которые полностью регламентируют ее выполнение [14]. Определим значения характеристики M_{crc} для образца балки К-8. Построим диаграммы состояния бетона В30, состоящей из двух линейных участков показано на рисунке 3.

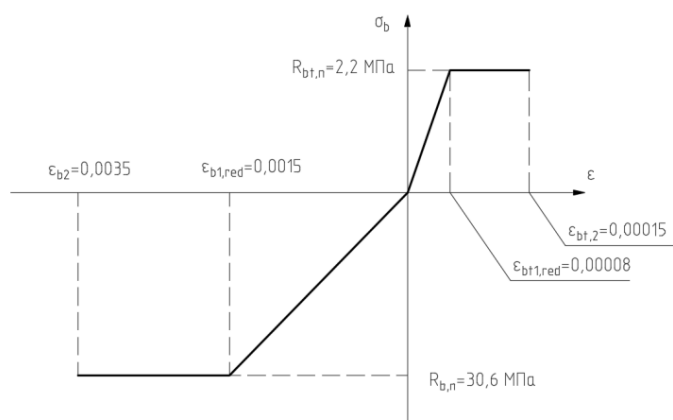


Рисунок 3 – Результат построения двухлинейной диаграммы для бетона класса В30

Для наглядности, эпюры деформаций, напряжения и усилия для исследуемого сечения балки изображены на рисунке 4.

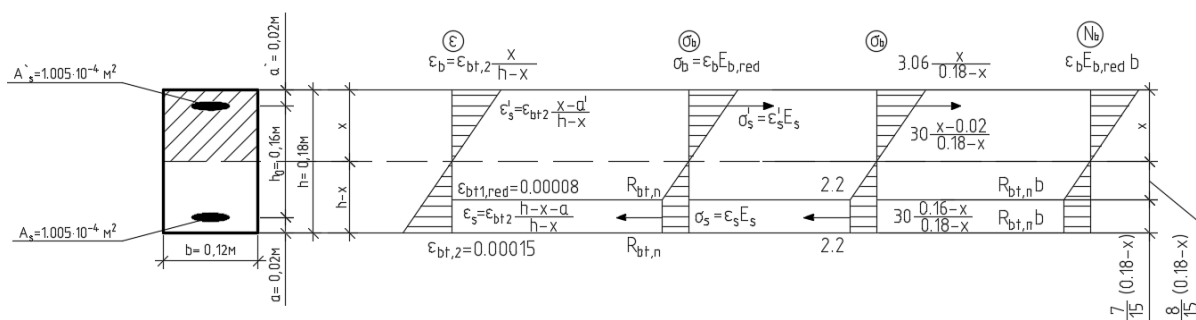


Рисунок 4 – Расчет эпюр для образца балки К-8, при двухлинейной диаграмме бетона

Усилия N в сжатой зоне бетона и арматуры, исходя из рисунка 4 составят:

$$N_{b,сж} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_b \cdot b \cdot x + \sigma_s' \cdot A_s' = \frac{1}{2} \cdot 3,06 \cdot \frac{x}{0,18-x} \cdot 0,12 \cdot x = 0,1836 \cdot \frac{x^2}{0,18-x}, \quad (9)$$

$$N_{s,сж} = \sigma_s' \cdot A_s' = 30 \cdot \frac{x-0,02}{0,18-x} \cdot 1,005 \cdot 10^{-4} = 0,003015 \cdot \frac{x-0,02}{0,18-x}. \quad (10)$$

Усилия в растянутом бетоне и арматуре определяются:

$$N_{b,раст} = \left(2,2 \cdot \frac{7}{15} \cdot (0,18-x) + \frac{1}{2} \cdot 2,2 \cdot \frac{8}{15} \cdot (0,18-x) \right) \cdot 0,12 = 0,130248 \cdot (0,18-x), \quad (11)$$

$$N_{s,раст} = 30 \cdot \frac{(0,18-x-0,02)}{0,18-x} \cdot 1,005 \cdot 10^{-4} = 0,003015 \cdot \frac{(0,16-x)}{0,18-x}. \quad (12)$$

С учетом выражений (9)-(12), получим уравнение равновесия:

$$0,1836 \cdot \frac{x^2}{0,18-x} + 0,003015 \cdot \frac{x-0,02}{0,18-x} = 0,130248 \cdot (0,18-x) + 0,003015 \cdot \frac{(0,16-x)}{0,18-x}. \quad (13)$$

Для определения высоты сжатой зоны, применялся программно-вычислительный комплекс Mathcad 15.1. Решая уравнение (13) $x=0,083$ м.

Момент от усилия в растянутой и сжатой арматуре:

$$M_{crc,s} = \sigma_s \cdot A_s \cdot (h-x-a) + \sigma_s' \cdot A_s' \cdot (x-a') = 0,308 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (14)$$

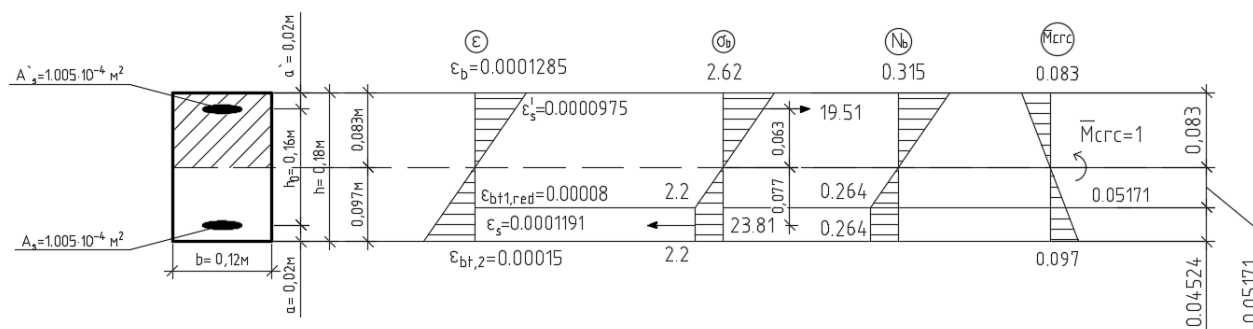


Рисунок 5 – Значение эпюр для образца балки К-8, при двухлинейной диаграмме бетона

При перемножении эпюр N_b и $\overline{M}_{crc}$, см. рисунок 5, $M_{crc,b}$:

$$M_{crc,b} = \sum \int N_b \cdot \overline{M}_{crc} dh = 1,817 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (15)$$

При суммировании (14) и (15), M_{crc} составит:

$$M_{crc} = 0,308 + 1,817 = 2,125 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (16)$$

№3 (101) 2022

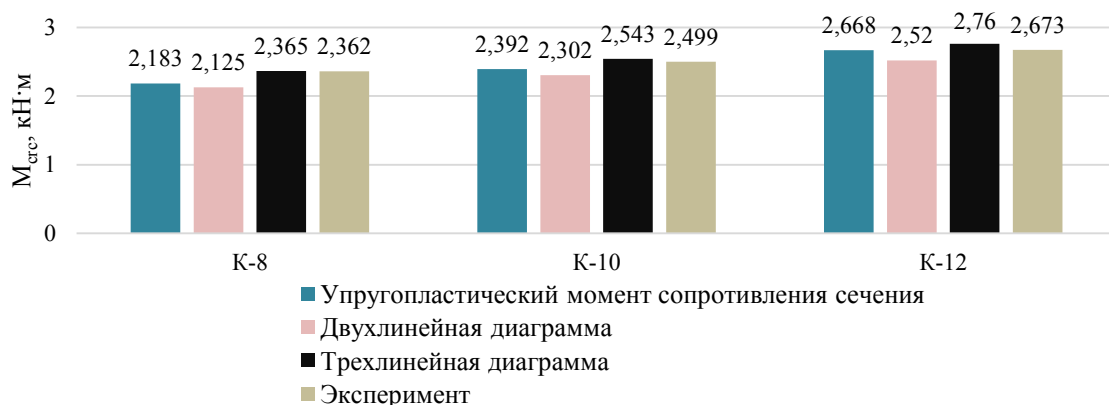


Рисунок 9 – Сравнительная диаграмма расчетных значений момента трещинообразования образцов балок с экспериментальными данными

Для образца К-8, значение M_{cr} по способу ядровых моментов – 2,183 кН·м, по двухлинейной диаграмме состояния бетона составило 2,125 кН·м, по трехлинейной – 2,362 кН·м. Сравнивая результаты расчета с экспериментальными данными – 2,362 кН·м, получаем, численный резерв момента трещинообразования по упругопластическому моменту сопротивления сечения 7,6 %, двухлинейная диаграмма имеет запас 10 %, значение по трехлинейной диаграмме превышает на 0,13%.

Экспериментальная величина момента трещинообразования для образца К-10 составила 2,499 кН·м. На рисунке 9 расчетное значение M_{cr} по упругопластическому моменту 2,392 кН·м, по двухлинейной диаграмме состояния бетона составляет – 2,302 кН·м, результат по трехлинейной диаграмме – 2,543 кН·м. Таким образом, запас значения M_{cr} по упругопластической теории и двухлинейной диаграмме 4,3% и 7,9% соответственно, превышение по трехлинейной диаграмме 1,8%.

Значения момента трещинообразования, рассчитываемого по упругопластической теории, составляет 2,668 кН·м, по двухлинейной и трехлинейной диаграммам состояния бетона образца К-12 равняется 2,52 кН·м и 2,76 кН·м соответственно. Сопоставляя с экспериментальным значением M_{cr} – 2,673 кН·м, имеем, применяя методику расчета ядровых моментов дополнительный резерв значения трещинообразования 0,19%, билинейная диаграмма имеет запас 5,7 %, а превышение по трехлинейной диаграмме составило 3,3%.

Данные зависимости запаса и превышения расчетных значений момента трещинообразования относительно опытных данных, представлены на рисунке 10, где экспериментальные значения взяты за 100%.

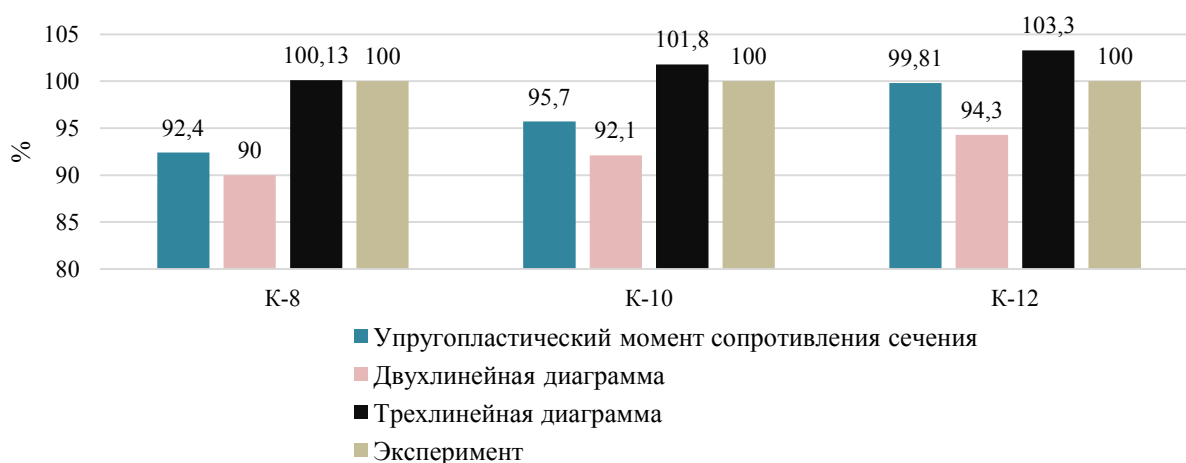


Рисунок 10 – Соотношение значений момента трещинообразования при расчете по различным методикам

Выводы

В ходе выполненных численных исследований были установлены следующие закономерности:

1. Используя упругопластический момент сопротивления сечения, при определении момента трещинообразования, можно получить наиболее достоверные результаты, обладая запасом (в пределах 8%). Вдобавок методика расчета позволяет наиболее быстро и просто произвести вычисления, не опираясь на дополнительные построения диаграмм и сложные математические уравнения. Это дает ряд преимуществ над нелинейной деформационной моделью.

2. Величина момента трещинообразования M_{crc} , найденная по нелинейной деформационной модели во многом зависит от вида диаграммы состояния бетона. При расчете по двухлинейной диаграмме имеется запас (в пределах 10%) относительно опытных данных момента трещинообразования. Используя трехлинейную диаграмму состояния бетона, определено, что расчетные значения M_{crc} превышают экспериментальные (в пределах 4%). Данное следствие вносит неопределённость, для принятия решений при проектировании конструкций из железобетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khabidolda O., Bakirov ZH.B., Nuguzhinov Zh.S., Vatin N.I. Determining stress intensity factor in bending reinforced concrete beams // Bulletin of the Karaganda University. 2019. N. 4 (96). P. 90-98.
2. Овакимян С.С., Трекин С.С. Исследование трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 34. С. 340-343.
3. Колчунов В.И., Федорова Н.В. Некоторые проблемы живучести железобетонных конструктивных систем при аварийных воздействиях // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1 (16). С. 115-119.
4. Моргунов М.В. Расчет момента трещинообразования изгибаемого бетонного элемента, армированного стеклопластиковой арматурой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. № 1. Т. 23. С. 64-73.
5. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.И. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
6. Колчунов В.И., Кузнецова К.Ю., Федоров С.С. Модель критерия трещиностойкости и прочности плосконапряженных конструкций из высокопрочного фибробетона и фиброжелезобетона // Строительство и реконструкция. 2021. № 3 (95). С. 15-26.
7. Toshin D.S. Perspectives of the application for the nonlinear deformation model in the calculations of reinforced concrete elements // Material science forum. 2019. V. 974. Pp. 505-509.
8. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Никитин И.К., Соседов К.Е. Практические методы и примеры расчета железобетонных конструкций из тяжелого бетона по СП 63.13330. Монография. М.: ООО «Бумажник». 2017. С.61-83.
9. Ерышев В.А. Численные методы расчета прочности железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели с использованием диаграмм деформирования модели // Вестник НГИЭИ. 2018. №6(85). С. 17-26.
10. Никулина Ю.А. Использование нелинейной деформационной расчетной модели для определения трещиностойкости железобетонных предварительно напряженных балок // Сборник докладов международного студенческого строительного форума. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. С. 133-140.
11. Карпенко Н.И., Белостоцкий А.М., Павлов А.С., Акимов П.А., Карпенко С.Н., Петров А.Н. Обзор моделей деформирования железобетона, учитывающих процессы трещинообразования. Часть 1: Разборки отечественных ученых // Сборник научных трудов РААСН. Москва: РААСН. 2020. С. 231-240.
12. Карпенко Н.И., Белостоцкий А.М., Павлов А.С., Акимов П.А., Карпенко С.Н., Петров А.Н. Обзор моделей деформирования железобетона, учитывающих процессы трещинообразования. Часть 2: разработки зарубежных ученых // Сборник научных трудов РААСН. Москва: РААСН, 2020. С. 241-254.
13. Гипотеза плоских сечений и принцип Сен-Венана. [Электронный ресурс]. URL: https://scask.ru/c_book_rbt.php?id=103
14. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения СНиП 52-01-2003. М.: Стандартинформ, 2019.
15. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2003.

16. СП 52-102-04. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2003.
17. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. Проектирование бетонных, железобетонных, каменных и армокаменных элементов и конструкций с применением диаграммных методов расчета. Монография. М.: АСВ. 2019. С. 18-22.
18. Окусок С.А. Расчет момента трещинообразования железобетонного элемента без предварительного напряжения арматуры на основании требований СП 63.13330.2012 // Строительство и реконструкция. 2015. № 6(62). С. 14-20.
19. Гаджиева У.М. Расчет железобетонных элементов круглого поперечного сечения по нелинейной деформационной модели // Эксперт: теория и практика. 2021. № 5 (14). С. 13-20.
20. Opbul E., Dmitriev D., Fan Van Fuk. Practical calculation of flexible elements using a model of nonlinear deformation on the example of a typical RGD beam 4, 56-90 // Architecture and Engineering. 2018. No. 3. Pp. 29-41.
21. Сейфуллаев Х.К., Гараев А.Н. Приложение нелинейной деформационной модели к расчету изгибаемых железобетонных элементов // Science of Europe. 2018. № 33. С. 51-60.
22. Ерышев В.А., Косков М.Ю. К методике определения момента трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели // Вестник НГИЭИ. 2017. № 12 (79). С. 32-42.

REFERENCES

1. Khabidolda O., Bakirov ZH.B., Nuguzhinov Zh.S., Vatin N.I. Determining stress intensity factor in bending reinforced concrete beams // Bulletin of the Karaganda University. 2019. No. 4 (96). P. 90-98.
2. Ovakimyan S.S., Trekin S.S. Issledovanie treshchinoobrazovaniya izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov [Investigation of crack formation of bent reinforced concrete elements] // Innovacii. Nauka. Obrazovanie. 2021. No. 34. Pp. 340-343. (rus)
3. Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Nekotorye problemy zhivuchesti zhelezobetonnykh konstruktivnykh sistem pri avariynnykh vozdeystviyakh [Some problems of survivability of reinforced concrete structural systems during emergency impacts] // Vestnik NII Stroitel'stvo. 2018. No. 1 (16). Pp. 115-119. (rus)
4. Morgunov M.V. Raschet momenta treshchinoobrazovaniya izgibaemogo betonno elementa, armirovannogo stekloplastikovoy armaturoj [Calculation of the moment of cracking of a bent concrete element reinforced with fiberglass reinforcement] // Izvestiya YUGO-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2019. No. 1. Pp.64-73. (rus)
5. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.I. Deformacionnye modeli zhelezobetona pri osobyykh vozdeystviyakh [Deformation models of reinforced concrete under special influences] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. No. 8. Pp. 54-60. (rus)
6. Kolchunov V.I., Kuznecova K.YU., Fedorov S.S. Model' kriteriya treshchinostojkosti i prochnosti ploskonapryazhennykh konstrukcij iz vysokoprochnogo fibrobetona i fibrozhelezobetona [A model of the crack resistance criterion and the strength of flat-stressed structures made of high-strength fibroconcrete and fibro-reinforced concrete] // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2021. No. 3 (95). Pp. 15-26. (rus)
7. Toshin D.S. Perspectives of the application for the nonlinear deformation model in the calculations of reinforced concrete elements // Material science forum. 2019. Vol. 974. Pp. 505-509.
8. Kodysh E.N., Trekin N.N., Nikitin I.K., Sosedov K.E. Prakticheskie metody i primery rascheta zhelezobetonnykh konstrukcij iz tyazhelogo betona po SP 63.13330 [Practical methods and examples of calculation of reinforced concrete structures made of heavy concrete according to SP 63.13330]. М.: «Bumazhnik». 2017. Pp. 61-83. (rus)
9. Eryshev V.A. CHislennyye metody rascheta prochnosti zhelezobetonnykh elementov po nelinejnoj deformacionnoj modeli s ispol'zovaniem diagramm deformirovaniya modeli [Numerical methods for calculating the strength of reinforced concrete elements according to a nonlinear deformation model using model deformation diagrams] // Vestnik NGIEI. 2018. No. 6 (85). Pp. 17-26. (rus)
10. Nikulina YU.A. Ispol'zovanie nelinejnoj deformacionnoj raschetnoj modeli dlya opredeleniya treshchinostojkosti zhelezobetonnykh predvaritel'no napryazhennykh balok [Using a nonlinear deformation calculation model to determine the crack resistance of reinforced concrete prestressed beams] // Sbornik dokladov mezhdunarodnogo studencheskogo stroitel'nogo foruma. Belgorod: BGTU im. V.G. Shuhova. 2018. Pp. 133-140. (rus)
11. Karpenko N.I., Belostockij A.M., Pavlov A.S., Akimov P.A., Karpenko S.N., Petrov A.N. Obzor modelej deformirovaniya zhelezobetona, uchityvayushchih processy treshchinoobrazovaniya. CHast' 1: Razborki otechestvennykh uchenykh [Review of reinforced concrete deformation models that take into account the processes of cracking. Part 1: Disassembly of domestic scientists] // Sbornik nauchnykh trudov RAASN. Moskva: RAASN. 2020. Pp.231-240. (rus)
12. Karpenko N.I., Belostockij A.M., Pavlov A.S., Akimov P.A., Karpenko S.N., Petrov A.N. Obzor modelej deformirovaniya zhelezobetona, uchityvayushchih processy treshchinoobrazovaniya. CHast' 2: razrabotki zarubezhnykh

- uchenyh [Review of reinforced concrete deformation models that take into account the processes of cracking. Part 2: developments of foreign scientists] // Sbornik nauchnyh trudov RAASN. Moskva: RAASN. 2020. Pp. 241-254. (rus)
13. The hypothesis of plane sections and the Saint-Venant principle. [Online]. URL: https://scask.ru/c_book_rbt.php?id=103 (date of application 17.02.2022).
14. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya SNiP 52-01-2003 [Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions of SNiP 52-01-2003]. M.: Standartinform. 2019. (rus)
15. SP 52-101-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury [SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing the reinforcement]. M.: GUP NII ZHB Gosstroya Rossii. 2003. (rus)
16. SP 52-102-04. Predvaritel'no napryazhennye zhelezobetonnye konstrukcii [SP 52-102-04. Prestressed reinforced concrete structures]. M.: GUP NII ZHB Gosstroya Rossii, 2003. (rus)
17. Karpenko N.I. Proektirovanie betonnyh, zhelezobetonnyh, kamennyh i armokamennyh elementov i konstrukcij s primeneniem diagrammnyh metodov rascheta. Monografiya [Design of concrete, reinforced concrete, stone and reinforced stone elements and structures using diagrammatic calculation methods]. M.: ASV. 2019. Pp. 18-22. (rus)
18. Okusok S.A. Raschet momenta treshhinoobrazovaniya zhelezobetonnogo jelementa bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury na osnovanii trebovanij SP 63.13330.2012 [Calculation of the moment of cracking of a reinforced concrete element without prestressing reinforcement based on the requirements of SP 63.13330.2012] // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2015. No. 6. Pp. 14-20. (rus)
19. Gadzhieva U.M. Raschet zhelezobetonnyh elementov kruglogo poperechnogo secheniya po nelinejnoj deformacionnoj modeli [Calculation of reinforced concrete elements of circular cross-section by nonlinear deformation model] // Ekspert: teoriya i praktika. 2021. No. 5 (14). Pp. 13-20. (rus)
20. Opubl E. Dmitriev D., Fan Van Fuk. Practical calculation of flexible elements using a model of nonlinear deformation on the example of a typical RGD beam 4,56-90 // Architecture and Engineering. 2018. No. 3. Pp. 29-41.
21. Sejfullaev H.K., Garaev A.N. Prilozhenie nelinejnoj deformacionnoj modeli k raschetu izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov [Application of a nonlinear deformation model to the calculation of bent reinforced concrete elements] // Science of Europe. 2018. No. 33. Pp. 51-60. (rus)
22. Eryshev V.A., Koskov M.YU. K metodike opredeleniya momenta treshhinoobrazovaniya izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov po nelinejnoj deformacionnoj modeli [To the method of determining the moment of cracking of bent reinforced concrete elements by a nonlinear deformation model] // Vestnik NGIEI. 2017. No. 12 (79). Pp. 32-42. (rus)

Информация об авторах:

Моргунов Михаил Валерьевич

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: 5555@bk.ru

Маслов Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, Россия, магистрант кафедры строительных конструкций.
E-mail: maslov0707@gmail.com

Information about authors:

Morgunov Mikhail V.

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk, Russia, candidate of technical science, associated professor of the department of building constructions.
E-mail: 5555@bk.ru

Maslov Dmitry An.

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk, Russia, master student of the department of building constructions.
E-mail: maslov0707@gmail.com