



УДК 624.012.3

DOI: 10.22227/2949-1622.2026.1.34-45

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH ARTICLE

Теоретический изгибающий момент в железобетонных балках при наличии нормальных трещин

Е.П. Герасимов*

Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крычкова (НГУ-АДИ), Новосибирск, Российская Федерация

* GerasimovEP@mail.ru

Ключевые слова: нормальные трещины, ширина раскрытия трещин, железобетон, внутренние усилия, обследования железобетонных конструкций

История статьи

Поступила в редакцию: 27.01.2026

Доработана: 02.02.2026

Принята к публикации: 04.02.2026

Для цитирования

Герасимов Е.П. Теоретический изгибающий момент в железобетонных балках при наличии нормальных трещин // Железобетонные конструкции. 2026. Т. 13. № 1. С. 34–45.

Аннотация. Настоящая работа содержит предложение, согласно которому определяется внутреннее усилие (изгибающий момент) в железобетонных балках без предварительного напряжения продольной арматуры, в зависимости от ширины раскрытия нормальных трещин. Усилие определяется по формуле, которая была получена путем преобразования существующей формулы действующего СП по расчету ширины раскрытия нормальной трещины. При этом в предложенную формулу вводится коэффициент. Для определения этого коэффициента были использованы результаты лабораторных испытаний железобетонных балок различных авторов. Установлено, что коэффициент не имеет фиксированной величины и линейно зависит от ширины раскрытия нормальной трещины. По предложенной формуле были определены теоретические значения изгибающих моментов, которые сравнены со значениями изгибающих моментов, полученными путем испытания железобетонных перемычек. Результаты работы могут быть актуальны при обследовании эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Theoretical Bending Moment in Reinforced Concrete Beams in the Presence of Normal Cracks

E.P. Gerasimov*

Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts after A.D. Kryachkov (NSUADA), Novosibirsk, Russian Federation

* GerasimovEP@mail.ru

Keywords: normal cracks, crack opening width, reinforced concrete, internal forces, surveys of reinforced concrete structures

Article history

Received: 27.01.2026

Revised: 02.02.2026

Accepted: 04.02.2026

Abstract. The present work contains a proposal according to which the internal force (bending moment) in iron-concrete beams is determined without prestressing the longitudinal armature, depending on the opening width of normal cracks. The force is determined by the formula, which was obtained by converting the existing formula of the current joint venture to calculate the opening width of a normal crack. In this case, a coefficient is introduced into the proposed formula.

Евгений Петрович Герасимов, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительного производства, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крычкова (НГУАДИ), 630099, г. Новосибирск, Красный пр-т, д.38; eLIBRARY SPIN-код: 2867-3213, ORCID: 0009-0008-1140-7080, E-mail: GerasimovEP@mail.ru

© Герасимов Е.П., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

For citation

Gerasimov E.P. Theoretical Bending Moment in Reinforced Concrete Beams in the Presence of Normal Cracks. *Reinforced concrete structures*. 2026; 1(13):34-45.

To determine this coefficient, the results of laboratory tests of reinforced concrete beams by various authors were used. It is established that the coefficient has no fixed value and linearly depends on the opening width of a normal crack. According to the proposed formula, the theoretical values of bending moments were determined, which were compared with the values of bending moments obtained by testing reinforced concrete lintels. The results of the work may be relevant when examining used reinforced concrete structures.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении технического обследования железобетонных конструкций нередко обнаруживаются трещины. Причинами их образования могут быть изменение влажности при твердении бетона или превышение внутренних усилий над усилиями при образовании трещин. Последнее приводит к возникновению нормальных и наклонных трещин. Они являются наиболее опасными. Их наличие или превышение ширины раскрытия допускаемых значений может свидетельствовать о переходе железобетонной конструкции в предельное состояние. Поэтому такие трещины являются одними из важнейшими параметров при оценке эксплуатационной надежности железобетонной конструкции.

Поверочные расчеты, которые нередко выполняются во время технического обследования, включают в себя определение внутренних усилий. Но это не всегда предоставляется возможным. Тогда возникает вопрос: возможно ли определить эти усилия по ширине раскрытия трещин? Анализ литературы показал, что подобный вопрос не рассматривался. Имеется ряд работ [1, 2], посвященных исследованию зависимостей между параметрами железобетонных конструкций. Основываясь на зависимости между шириной раскрытия трещины и внутренним усилием, возможно определить данное усилие, не прибегая к уточнению действующих нагрузок и расчетной схемы конструкции. Для вывода зависимости будут рассмотрены только нормальные трещины в железобетонных балках без предварительного напряжения продольной арматуры.

МЕТОД

Нормальные трещины образуются в тех местах конструкции, где преобладающим усилием является изгибающий момент (рис. 1).

Методика расчета ширины нормальных трещин в железобетонных конструкциях прошла долгий путь развития [3–5]. В настоящее время, согласно действующим нормам [6], ширину их раскрытия определяют по формуле:

$$a_{cr} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s, \quad (1)$$

где φ_1 — коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки;

φ_2 — коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры;

φ_3 — коэффициент, учитывающий характер нагружения;

ψ_s — коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами;

σ_s — напряжение в продольной растянутой арматуре;

E_s — модуль упругости продольной арматуры;

l_s — базовое расстояние между смежными нормальными трещинами.

Gerasimov E. Petrovich, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Construction Production, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts named after A.D. Kryachkov (NSUADA), 38 Krasny Prospekt, Novosibirsk, 630099, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 2867-3213, ORCID: 0009-0008-1140-7080, E-mail: GerasimovEP@mail.ru

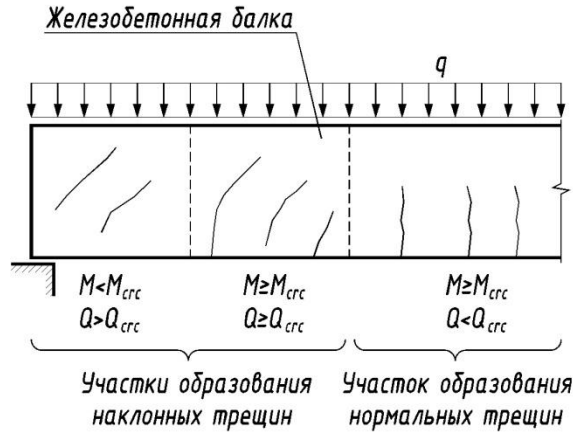


Рис. 1. Классификация трещин
 Fig. 1. Classification of cracks

Распишем некоторые составляющие формулы (1).

Согласно работе [6], ψ_s и σ_s можно определить следующим образом:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \cdot \frac{M_{crc}}{M}, \quad (2)$$

$$\sigma_s = \frac{M}{z_s \cdot A_s}, \quad (3)$$

где M_{crc} — изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин;

M — изгибающий момент от внешней нагрузки;

z_s — расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне элемента;

A_s — площадь сечения растянутой арматуры.

Изгибающий момент M — это будет то самое внутреннее усилие, которое необходимо определить.

Преобразуя M_{crc} , получим следующее:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl} = R_{bt,ser} \cdot 1,3 \cdot W_{red} = 1,3 \cdot R_{bt,ser} \cdot \frac{I_{red} \cdot A_{red}}{S_{red}}, \quad (9)$$

где $R_{bt,ser}$ — расчетное сопротивление бетона растяжению для предельных состояний второй группы;

I_{red} — момент инерции приведенного сечения;

A_{red} — площадь приведенного поперечного сечения элемента;

S_{red} — статический момент площади приведенного поперечного сечения.

Таким образом, формула (1), с учетом (2)–(4), примет следующий вид:

$$a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \left(M - 1,04 \cdot R_{bt,ser} \cdot \frac{I_{red} \cdot A_{red}}{S_{red}} \right) \cdot \frac{l_s}{z_s \cdot A_s \cdot E_s}. \quad (5)$$

Искомый изгибающий момент M будет определяться следующим образом:

$$M = \frac{a_{crc} \cdot z_s \cdot A_s \cdot E_s}{\varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot l_s} + 1,04 \cdot R_{bt,ser} \cdot \frac{I_{red} \cdot A_{red}}{S_{red}}. \quad (6)$$

Вычисленные значения изгибающего момента будут отличаться от его реального значения в силу различных факторов: изменчивости прочности бетона, геометрических размеров сечения, уровня сцепления арматуры с бетоном и т.д. Если в процессе обследования удастся

установить прочностные и геометрические факторы, то другие остаются неизвестными. Например, продолжительность действия нагрузки, при которой раскрылась трещина. В связи с этим формулу (6) предлагается преобразовать путем замены некоторых коэффициентов единым коэффициентом. Кроме того, прочностные и геометрические параметры конструкции предлагается принять в виде средних значений. Тогда формула (6) примет следующий вид:

$$\bar{M} = \frac{\bar{a}_{cr} \cdot \bar{z}_s \cdot A_s \cdot \bar{E}_s}{\alpha \cdot \bar{I}_s} + 1,04 \cdot \bar{R}_{bt} \cdot \frac{\bar{I}_{red} \cdot \bar{A}_{red}}{\bar{S}_{red}}, \quad (7)$$

где α — введенный коэффициент.

Данный коэффициент, который является произведением коэффициентов φ_1 , φ_2 и φ_3 , учитывает вид действия нагрузки, уровня сцепления арматуры с бетоном, напряженно-деформированное состояние и другие факторы, которые учесть трудно. В связи с этим возникает необходимость в определении данного коэффициента. Для этого автором статьи были использованы результаты испытаний железобетонных балок, в которых определялась ширина раскрытия трещин [7, 8]. Для определения коэффициента α формула (7) была преобразована и приняла следующий вид:

$$\alpha = \frac{\bar{a}_{cr} \cdot \bar{z}_s \cdot A_s \cdot \bar{E}_s}{\left(\bar{M} - 1,04 \cdot \bar{R}_{bt} \cdot \frac{\bar{I}_{red} \cdot \bar{A}_{red}}{\bar{S}_{red}} \right) \cdot \bar{I}_s}. \quad (8)$$

Все исходные данные для вычисления были приняты согласно работам [7, 8] и приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Исходные данные для расчета согласно работе [7]

Марка балки согласно работе [7]	Поперечное сечение балки	Средняя кубиковая прочность бетона \bar{R}_b , МПа	Начальный модуль упругости бетона \bar{E}_b , МПа	Средняя ширина раскрытия трещин \bar{a}_{cr} , мм	Среднее значение изгибающего момента (\bar{M}), при котором трещины достигли ширины раскрытия, кг·см
ОП		27,67	31 500	0,08	24 000
				0,13	32 000
				0,17	40 000
				0,2	48 000
				0,26	56 000
				0,31	64 000
ОТ		25,92	30 500	0,04	24 000
				0,08	32 000
				0,09	40 000
				0,13	48 000
				0,17	56 000
				0,21	64 000
				0,31	72 000

Table 1

The initial data for the calculation according to work [7]

Beam grade according to work [7]	Beam cross section	Average cubic strength of concrete \bar{R}_b , MPa	The initial modulus of elasticity of concrete \bar{E}_b , MPa	Average crack opening width \bar{a}_{cre} , mm	The average value of the bending moment (\bar{M}) at which the cracks have reached the opening width, kg·sm
ОП		27.67	31,500	0.08	24,000
				0.13	32,000
				0.17	40,000
				0.2	48,000
				0.26	56,000
				0.31	64,000
ОТ		25.92	30,500	0.04	24,000
				0.08	32,000
				0.09	40,000
				0.13	48,000
				0.17	56,000
				0.21	64,000
0.31	72,000				

Таблица 2

Исходные данные для расчета согласно работе [8]

Марка балки согласно работе [8]	Поперечное сечение балки	Средняя кубиковая прочность бетона R_b , МПа	Средняя ширина раскрытия трещин \bar{a}_{cre} , мм	Среднее значение изгибающего момента (\bar{M}), при котором трещины достигли ширины раскрытия, кг·см
Б-1		38,2	0,15	77 797
Б-2		39,7	0,1	
Б-3		31,2	0,2	
Б-4		32,1	0,15	

Продолжение таблицы 2

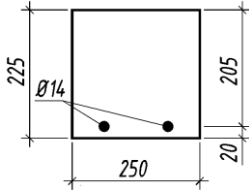
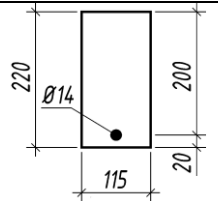
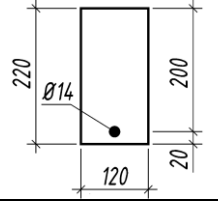
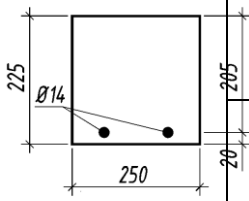
Марка балки согласно ра-боте [8]	Поперечное сечение балки	Средняя кубико-вая прочность бетона \bar{R}_b , МПа	Средняя ширина раскрытия трещин $\bar{a}_{crс}$, мм	Среднее значение изгибающего момента (\bar{M}), при котором трещины достигли ширины раскрытия, кг·см
Б-5		21,9	0,15	117 957
Б-6		23,7	0,15	

Table 2

The initial data for the calculation according to work [8]

Beam grade according to work [8]	Beam cross section	Average cubic strength of concrete \bar{R}_b , МПа	Average crack opening width $\bar{a}_{crс}$, mm	The average value of the bending moment (\bar{M}) at which the cracks have reached the opening width, kg·sm
Б-1		38.2	0.15	77,797
Б-2		39.7	0.1	
Б-3		31.2	0.2	77,797
Б-4		32.1	0.15	
Б-5		21.9	0.15	117,957
Б-6		23.7	0.15	

Среднее значение прочности бетона на растяжение было определено по формуле:

$$\bar{R}_{bt} = 0,23 \cdot \sqrt[3]{R_b^2}. \quad (9)$$

Так как в работе [8] отсутствовала информация о начальном модуле упругости бетона, то он был вычислен по формуле:

$$E = \frac{1000000}{1,7 + \frac{360}{R_b}}. \quad (10)$$

Среднее значение модуля упругости арматуры \bar{E}_s было принято равным 200 000 МПа. Остальные составляющие формулы (8) $\bar{z}_s, \bar{I}_{red}, \bar{A}_{red}, \bar{S}_{red}, \bar{l}_s$ определены согласно работе [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общее количество расчетов составило 19. Результаты приведены в табл. 3 и графически представлены на рис. 2. Расчеты показали, что величина α имеет зависимость от ширины раскрытия трещин. Статистическая обработка результатов показала, что данная зависимость линейна (на рис. 2 показана в виде прямой) и ее можно выразить следующим образом:

$$\alpha = 0,191 + 5,82 \cdot \bar{a}_{cre}. \quad (11)$$

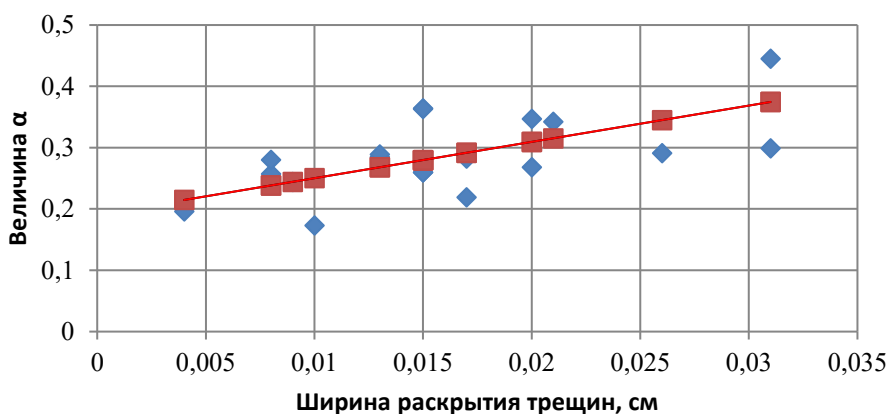


Рис. 2. Зависимость величины α от ширины раскрытия трещин
Fig. 2. Dependence of α value on crack opening width

Таким образом, при наличии нормальных трещин в обследуемой железобетонной балке можно определить значение действующего изгибающего момента. Для этого необходимо:

- измерить ширину раскрытия трещины;
- определить необходимые геометрические размеры конструкции и прочность бетона на растяжение. Данные параметры принимаются в виде их средних значений;
- по формуле (11) вычислить коэффициент α . При этом ширина раскрытия трещины в формуле должна иметь размерность — см;
- по формуле (7) определить искомое значение изгибающего момента.

Для оценки точности теоретических расчетов предложенной методики используем результаты испытаний сборных железобетонных перемычек [9]. Согласно работе [9] в ходе проведения испытаний фиксировались значения изгибающих моментов, когда ширина раскрытия трещин достигала 0,3 мм. При данной ширине раскрытия трещин величина α составит: $\alpha = 0,191 + 5,92 \cdot 0,03 = 0,3686$.

Необходимые для расчета данные — геометрические размеры, прочностные характеристики бетона, средние значения изгибающих моментов, при которых ширина раскрытия нормальных трещин достигала 0,3 мм, приведены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты расчетов

Марка балки	Средняя ширина раскрытия трещин $\bar{a}_{crс}$, мм	Среднее значение изгибающего момента (\bar{M}), при котором трещины достигли ширины раскрытия, кг·см	Величина α	
ОП	0,08	24 000	0,257	
	0,13	32 000	0,285	
	0,17	40 000	0,282	
	0,2	48 000	0,268	
	0,26	56 000	0,291	
	0,31	64 000	0,299	
ОТ	0,04	24 000	0,196	
	0,08	32 000	0,280	
	0,09	40 000	0,244	
	0,13	48 000	0,289	
	0,17	56 000	0,319	
	0,21	64 000	0,342	
	0,31	72 000	0,445	
Б-1	0,15	77 797	0,26	
Б-2	0,1		0,173	
Б-3	0,2		0,347	
Б-4	0,15		0,260	
Б-5	0,15		117 957	0,363
Б-6	0,15			0,364

Table 3

Calculation results

Beam grade	Average crack opening width $\bar{a}_{crс}$, mm	The average value of the bending moment (\bar{M}) at which the cracks have reached the opening width, kg·sm	Value α	
ОП	0.08	24,000	0.257	
	0.13	32,000	0.285	
	0.17	40,000	0.282	
	0.2	48,000	0.268	
	0.26	56,000	0.291	
	0.31	64,000	0.299	
ОТ	0.04	24,000	0.196	
	0.08	32,000	0.280	
	0.09	40,000	0.244	
	0.13	48,000	0.289	
	0.17	56,000	0.319	
	0.21	64,000	0.342	
	0.31	72,000	0.445	
Б-1	0.15	77,797	0.26	
Б-2	0.1		0.173	
Б-3	0.2		0.347	
Б-4	0.15		0.260	
Б-5	0.15		117,957	0.363
Б-6	0.15			0.364

Таблица 4

Информация по перемычкам согласно работе [9]

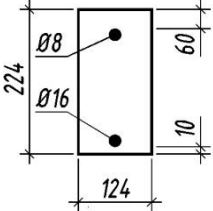
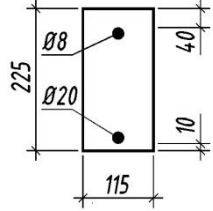
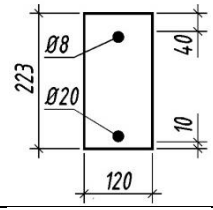
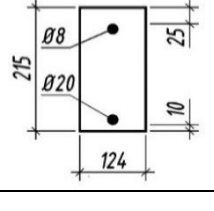
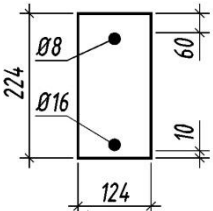
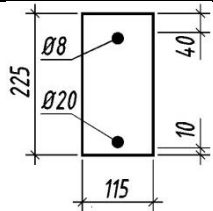
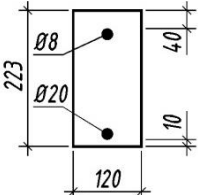
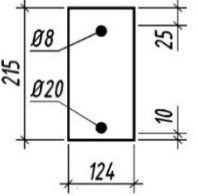
Марка перемычки	Поперечное сечение	Класс бетона	Среднее значение изгибающего момента (\bar{M}) при ширине раскрытия трещин 0,3 мм, кг·см
ПБ-1,8-1		B20	159 400
ПБ-1,6-1		B15	221 900
ПБ-1,6-2		B15	212 000
ПБ-1,4-1		B15	187 000

Table 4

Datas on lintels according to work [9]

Lintel grade	Cross section	Concrete class	The average value of the bending moment (\bar{M}), with a crack opening width of 0.3 mm, kg·sm
ПБ-1,8-1		B20	159,400
ПБ-1,6-1		B15	221,900

Continuation of table 4

Lintel grade	Cross section	Concrete class	The average value of the bending moment (\bar{M}), with a crack opening width of 0.3 mm, kg·sm
ПБ-1,6-2		B15	212,000
ПБ-1,4-1		B15	187,000

Так как, согласно работе [9], в качестве прочности бетона указан класс бетона, то среднее значение прочности бетона на растяжение было получено следующим образом.

Сначала определялось среднее значение кубиковой прочности:

$$\bar{R} = \frac{B}{0,7786}, \quad (12)$$

где B — класс бетона.

Далее по формуле (9) определялось среднее значение прочности бетона на растяжение.

Согласно полученным значениям прочности бетона и геометрическим размерам перемычек, по формуле (7) были определены теоретические средние значения изгибающих моментов при $a_{crc} = 0,3$ мм и $\alpha = 0,3686$. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты расчетов

Марка перемычки	Среднее значение изгибающего момента при $a_{crc} = 0,3$ мм, кг·см, согласно работе [9]	Среднее значение изгибающего момента согласно расчету автора, кг·см	Расхождение между опытными и расчетными значениями
ПБ-1.8-1	159 400	123 339	23 %
ПБ-1.6-1	221 900	249 731	12 %
ПБ-1.6-2	212 000	239 260	12 %
ПБ-1.4-1	187 000	230 247	23 %

Table 5

Calculation results

Lintel grade	The average value of the bending moment at $a_{crc} = 0.3$ mm, kg·sm, according to work [9]	The average value of the bending moment according to the author's calculation, kg·sm	Discrepancy between the experimental and calculated values
ПБ-1.8-1	159,400	123,339	23 %
ПБ-1.6-1	221,900	249,731	12 %
ПБ-1.6-2	212,000	239,260	12 %
ПБ-1.4-1	187,000	230,247	23 %

Расчеты показали, что между теоретическими значениями изгибающих моментов и значениями, полученными в результате опытов, имеются расхождения. Они колеблются от 12 до 23 % как в меньшую, так и в большую сторону. Расхождения можно объяснить наличием различных случайных факторов, учесть которые не предоставляется возможным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам работы можно привести следующие выводы:

1. Определить значение изгибающего момента в железобетонной балке, не прибегая к уточнению действующих нагрузок и расчетной схемы при наличии информации о ширине раскрытия нормальной трещины, возможно.
2. Для вычисления значения изгибающего момента выведена формула, в которую введен коэффициент α . Введенный коэффициент не имеет фиксированного значения и зависит от ширины раскрытия трещин.
3. Предложена математическая зависимость коэффициента α от ширины раскрытия трещин.
4. При использовании выведенной формулы и введенного коэффициента были рассчитаны средние значения изгибающих моментов в железобетонных перемычках. Расхождения между вычисленными теоретическими значениями и значениями, полученными в результате опытов, составляют от 12 до 23 %.
5. Предложенный метод может быть использован при вычислении действующего изгибающего момента во время проведения обследования. При этом изгибающий момент будет вычислен именно в том месте, где располагается трещина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яловая Ю.С., Тур В.В. Зависимость между шириной раскрытия трещин нормального отрыва и прогибом в железобетонных балках // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения : мат. Междунар. академ. чтений. Курск, 2019. С. 201–208.
2. Машлян Д.Р., Несветаев Г.В. Регулирование жесткости и прочности железобетонных балок варьированием модуля упругости бетона // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 4. С. 86–93.
3. Семенов Д.А. Эволюция нормативного подхода к расчету железобетонных элементов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 5. С. 43–50.
4. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Парфенов С.Г., Андриян К.Р. Развитие метода расчета железобетонных конструкций по образованию и раскрытию нормальных трещин // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 4. № 4. С. 20–31.
5. Кузьмин П.К. Метод расчета ширины раскрытия трещин в железобетонных конструкциях при изгибе // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 1. С. 23–26.
6. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01–2003. М. : Стандартинформ, 2019. 124 с.
7. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Ширина раскрытия нормальных трещин в железобетонных балках трапециевидного поперечного сечения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 4. С. 68–74.
8. Жильцов Ю.В. Результаты испытаний перемычек, нагруженных двумя сосредоточенными силами // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство : сб. ст. / под ред. М.П. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова. Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. С. 121–125.
9. Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Экспериментальные исследования конструкций сборных железобетонных перемычек наружных несущих стен общественного здания // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22. № 5 (80). С. 47–57.
10. Закс Л. Статистическое оценивание / пер. с нем. В.Н. Варыгина; под ред. Ю.П. Адлера, В.Г. Горского. М. : Статистика, 1976. 598 с.

REFERENCES

1. Yalovaya Y.S., Tur V.V. The relationship between the crack opening width of normal separation and deflection in reinforced concrete beams. *Safety of the Russian construction fund. Problems and solutions : Materials of International academic readings*. Kursk, 2019; 201-208. (in Russian).
2. Mailyan D.R., Nesvetaev G.V. Regulirovanie zhestkosti i prochnosti zhelezobetonnykh balok varirovaniem modulya uprugosti betona. *Journal of Construction and Architecture*. 2018; 20(4):86-93. (in Russian).
3. Semenov D.A. Evolution of the normative approach to the calculation of reinforced concrete elements. *Construction mechanics of engineering structures and structures*. 2017; 5:43-50. (in Russian).
4. Trekin N.N., Kodysh E.N., Parfenov S.G., Andrian K.R. Development of the Method for Calculation of Reinforced Concrete Structures on the Formation and Opening of Normal Cracks. *Reinforced concrete structures*. 2023; 4(4):20-31. (in Russian).
5. Kuzmin P. K. Method for calculating the width of crack openings in reinforced concrete structures during bending. *Construction mechanics of engineering structures and structures*. 2016; 1:23-26. (in Russian).
6. SR 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition SNiP 52-01–2003. Moscow, Standartinform, 2019; 124. (in Russian).
7. Obernihin D.V., Nikulin A.I. The opening width of normal cracks in reinforced concrete beams of trapezoidal cross section. *Bulletin of the Belgorod State Technological University V.G. Shuhov*. 2022; 4:68-74. (in Russian).
8. Zhilcov Y.V. Test results of jumpers loaded with two concentrated forces. *Traditions and innovations in construction and architecture. Construction : collection of articles*. Samara, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 2015; 121-125. (in Russian).
9. Smolago G.A., Frolov N.V. Experimental studies of the structures of precast reinforced concrete lintels of external load-bearing walls of a public building. *Proceedings of the Southwestern State University*. 2018; 22:5(80):47-57. (in Russian).
10. Zaks L. *Statistical evaluation*. Moscow, Statistika, 1976; 598. (in Russian).