



## РАСЧЁТ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ НОРМАЛЬНЫХ ТРЕЩИН ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ИЗГИБЕ

Л. К. Абдрахманова, А. В. Мухамадияров\*, И. И. Сулейманов, Н. А. Холкин, А. Ф. Яковлева

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

### Calculation of normal crack opening width of reinforced concrete beams under bending

L. K. Abdrakhmanova, A. V. Mukhamadiyarov\*, I. I. Suleymanov, N. A. Kholkin, A. F. Yakovleva

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

#### ABSTRACT

When a reinforced concrete beam deflects, a process occurs that leads to the formation of cracks in the stretched area of the wall. In turn, cracks reduce the strength, bearing characteristics of the beam and, accordingly, have a direct effect on the increase in deflection, which worsens the bearing capacity of the entire structure, and leads to an emergency situation. The article considers the calculation of the opening of normal cracks of a reinforced concrete beam according to the methodology presented in SP 52-101-2003, SP 63.13330.2018, with pre-set parameters of the tested loads and strength characteristics of the beam.

**Keywords:** reinforced concrete beam; normal cracks; strength characteristics.

© 2023 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

С историей развития строительства и сложности зданий, сооружений тесно связано развитие законодательства так в 2010 году вступает в силу Закон РФ № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» который формулирует требования к количественной оценке зданий и сооружений и описываемые в ГОСТах, строительных правилах и других строительных нормативных документах.

В одном из ГОСТ Р 54257–2010 даётся понятие «надёжность», под которым понимается способность строительного объекта выполнять требуемые функции в течении расчётного срока эксплуатации, одним из несущих элементов строительного объекта, является железобетонная (ЖБ) балка.

Согласно [1] балка конструктивный элемент, укладываемый на опоры (колонны, стены и др.) и работающий главным образом на изгиб.

Так как ЖБ балка является несущим элементом основной работой на изгиб и соответственно от которой зависит комплексная, конструктивная безопасность здания, сооружения, то в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения» ЖБ балка проверяется по первой и второй группам предельных состояний.

В качестве критериев проверки прочности по СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», СП 52-101-2003 «Бетонные и желе-

зобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры» выступают прочность арматуры, бетона, деформации, образование трещин, раскрытие трещины.

Одной из основных задач в обеспечении безопасности в процессе эксплуатации здания, сооружения строительные конструкции согласно закону РФ № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» «должны обладать такой прочностью, чтобы в процессе эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни и здоровью людей» и «выполнение требований механической безопасности. .... должно быть обосновано расчетами». В процессе эксплуатации, большое количество ЖБ балок покрываются трещинами в растянутой зоне рисунка 1, что приводит к уменьшению их несущей способности, в соответствии с выше изложенным, расчёт по ширине раскрытия трещин является актуальной проблемой.

В соответствии с выше описанным произведём расчёт раскрытия нормальной трещины в ЖБ балке, в качестве примера возьмём ЖБ балку 2ПБ 10-1-п рисунке 2, которая авторами была рассчитана на изгиб в статье [2-9]. Расчётная схема приведена на рисунке 3.

Расчёт выполним в соответствии с СП 52-101-2003, СП 63.13330.2018. Необходимо определить ширину раскрытия нормальных трещин в ЖБ балке при заданных исходных данных:

Балка прямоугольного сечения с размерами  $14 \times 12$  см ( $b \times h$ ) запроектирована из бетона класса В15,  $E_b = 24000$  МПа.

Продольная арматура класса В500 (Вр-I),  $A_s = 1.131$  см<sup>2</sup>,  $E_s = 200000$  МПа. Величина изгибающего момента  $M = 56.12$  кН·см.

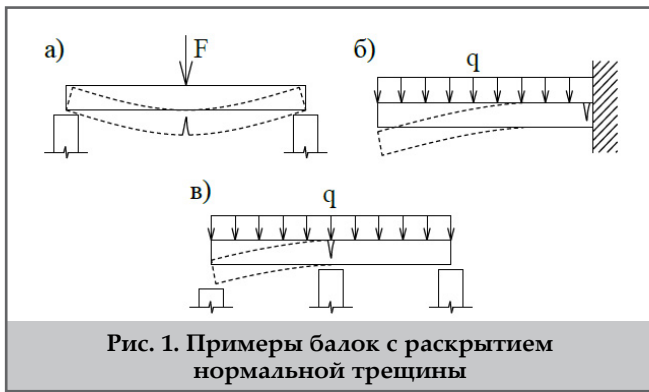


Рис. 1. Примеры балок с раскрытием нормальной трещины

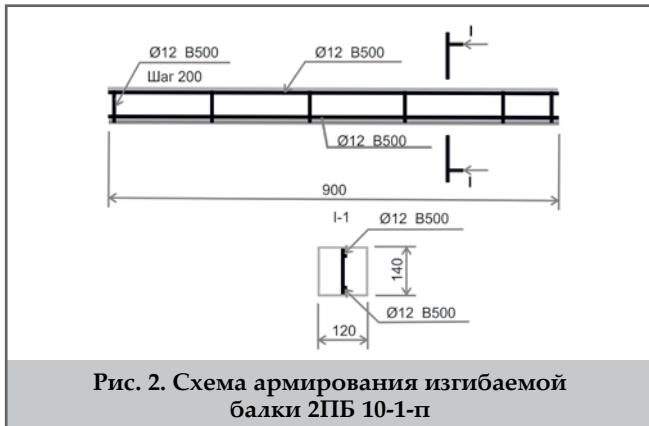


Рис. 2. Схема армирования изгибаемой балки 2PB 10-1-п

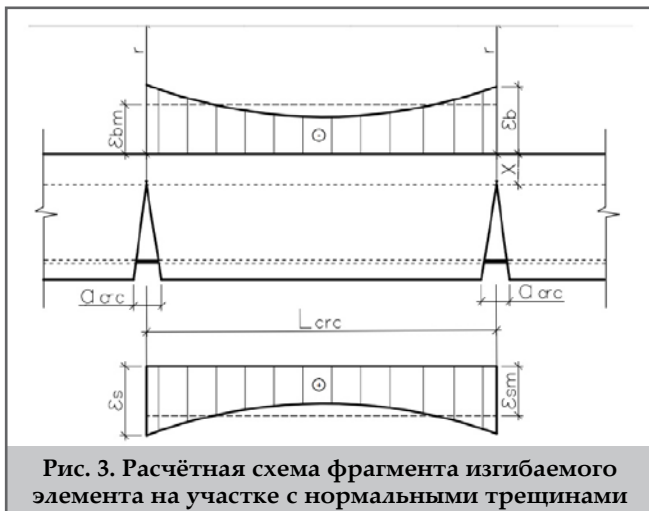


Рис. 3. Расчётная схема фрагмента изгибаемого элемента на участке с нормальными трещинами

Ширина раскрытия нормальных трещин, относительно продольной оси элемента согласно СНиП - 2.03.01-84\* определяется по следующей эмпирической формуле:

$$a_{cr} = \delta \cdot \varphi_l \cdot \eta \cdot \varepsilon_s \cdot 20 \cdot (3.5 - 100 \cdot \mu) \cdot \sqrt[3]{d} \quad (1)$$

где  $\delta$  – коэффициент принимаемый равным для элементов: сжатых – 1; растянутых – 1.2.

Балка 2PB 10-1-п испытывает деформацию на изгиб, соответственно в рассчитываемой зоне  $\delta = 1$ .

$\varphi_l$  – коэффициент учитывающий влияние действия нагрузки, принимаемый равным:

кратковременных нагрузок и непродолжительного действия постоянных и длительных нагрузок – 1.00;

многократно повторяющейся нагрузки, а также продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок для конструкций из бетона:

тяжелого: естественной влажности –  $\varphi_l = 1.60 - 15 \cdot \mu$ ; в

водонасыщенном состоянии – 1.20; при попеременном водонасыщении и высушивании – 1.75;

мелкозернистого групп: А – 1.75; Б – 2.00; В – 1.50; легкого и поризованного – не менее 1.50; ячеистого – 2.50.

$$\varphi_l = 1.60 - 15 \cdot \mu \quad (2)$$

$\mu$  – коэффициент армирования сечения.

$$\mu = \frac{A_s}{b \cdot h_0} \quad (3)$$

Согласно формуле (3) вычислим коэффициент  $\mu$ :

$$\mu = \frac{A_s}{b \cdot h_0} = \frac{1.131}{12 \cdot (14 - 2.2)} = 0.00799$$

Согласно формуле (2) вычислим коэффициент  $\varphi_l$ :

$$\varphi_l = 1.60 - 15 \cdot \mu = 1.60 - 15 \cdot 0.00799 = 1.48$$

$\eta$  – коэффициент учитывающий вид арматуры, принимаемый равным: при стержневой арматуре периодического профиля – 1.0; стержневой арматуре гладкой – 1.3; проволочной арматуре периодического профиля и канатах – 1.2; гладкой арматуре – 1.4.

Для ЖБ балки 2PB 10-1-п, используется стержневая арматура периодического профиля, диаметром  $d = 12$  мм, таким образом коэффициент  $\eta = 1$ .

$\varepsilon_s$  – деформация в растянутой арматуре.

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (4)$$

$\sigma_s$  – напряжение в растянутой арматуре.

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot z} \quad (5)$$

где  $z$  – плечо внутренней пары сил.

$$z = h_0 - \frac{x}{2} \quad (6)$$

где  $x$  – высота сжатой зоны бетона.

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b} \quad (7)$$

где  $R_s$  – расчётное значение сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, 415 МПа;  $R_b$  – сжатие осевое (призмная прочность) 8.5 МПа.

Согласно формуле (7) вычислим  $x$ :

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b} = \frac{41.5 \cdot 1.131}{0.85 \cdot 12} = 4.6 \text{ см}$$

Согласно формуле (6) вычислим  $z$ :

$$z = h_0 - \frac{x}{2} = (14 - 2.2) - \frac{4.6}{2} = 9.7$$

Согласно формуле (5) вычислим  $\sigma_s$ :

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot z} = \frac{56120}{1.131 \cdot 9.7} = 5115.4 \text{ Н/см}^2$$

Согласно формуле (4) вычислим  $\varepsilon_s$ :

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{51.154}{200000} = 0.0002558$$

Согласно формуле (1) определим ширину раскрытия трещины  $a_{cr}$ :

$$a_{cr} = \delta \cdot \varphi_l \cdot \eta \cdot \varepsilon_s \cdot 20 \cdot (3.5 - 100 \cdot \mu) \cdot \sqrt[3]{d} = 1 \cdot 1.48 \cdot 1 \cdot 0.0002558 \cdot 20 \cdot (3.5 - 100 \cdot 0.00799) \cdot \sqrt[3]{12} = 0.047 \text{ см}$$

Расчёт по раскрытию трещин согласно СП 63.13330.2018 производится из условия  $a_{cr} \leq a_{cr,ult}$ .

$a_{cr}$  – ширина раскрытия трещин от действия внешней нагрузки.

$a_{cr,ult}$  – предельно допустимая ширина раскрытия трещин.

Значения  $a_{cr,ult}$  принимают равными:

а) из условия обеспечения сохранности арматуры классов А240...А600, В500:

- 0.3 мм – при продолжительном раскрытии трещин;

- 0.4 мм – при непродолжительном раскрытии трещин;

классов А800, А1000, Вр1200-Вр1400, К1400, К1500 (К-19) и К1500 (К-7), К1600 диаметром 12 мм и более:

- 0.2 мм – при продолжительном раскрытии трещин;

- 0.3 мм – при непродолжительном раскрытии трещин;

классов Вр1500, К1500 (К-7), К1600, К1700, К1800, К1900 диаметром менее 12 мм:

- 0.1 мм – при продолжительном раскрытии трещин;

- 0.2 мм – при непродолжительном раскрытии трещин;

б) из условия ограничения проницаемости конструкций:

- 0.2 мм – при продолжительном раскрытии трещин;

- 0.3 мм – при непродолжительном раскрытии трещин.

Согласно проведённым расчётам, пункту (а) условий расчёта по раскрытию трещин и полученному результату  $0.047 \text{ см} < 0.3 \text{ см}$ , эксплуатация ЖБ балки 2ПБ 10-1-п безопасная эксплуатация разрешена при продолжительном раскрытии трещин.

#### Литература

- (2007). Терминологический словарь по бетону и железобетону. Москва: ФГУП «НИЦ «Строительство» НИИЖБ им. А. А. Гвоздева».
- Абдрахманова, Л. К., Мухамадияров, А. В. (2022). Расчёт надёжности железобетонной балки на изгиб. *Нефтегазовое дело*, 2, 28-39.
- Абдрахманова, Л. К., Мухамадияров, А. В. (2022). Расчёт площади сечения арматуры железобетонной балки. *Нефтегазовое дело*, 3, 89-97.
- (2004). СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. Москва: Госстрой России; ГУП «НИИЖБ», ФГУП ЦПП.
- (2018). СП 63.13330.2018. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: НИИЖБ им. А.А. Гвоздева.
- (2006). ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С, В500С для армирования железобетонных конструкций. Москва: ФГУП НИЦ «Строительство НИИЖБ» им. И.П. Бардина.
- (2019). ГОСТ 8829-94. Межгосударственный стандарт, изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. Москва: «НИИЖБ» им. А.А. Гвоздева.
- (1986). Серия 1.038.1-1. Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами. Выпуск 1. Перемычки брусковые для жилых и общественных зданий. Рабочие чертежи. Москва: Госгражданстрой России, ЦНИИЭПжилища.
- (1989). СНиП-2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. Москва: Госстрой СССР.

#### References

- (2007). Terminological dictionary of concrete and reinforced concrete. Moscow: FSUE «SIC «Construction» NIIZHB named after A. A. Gvozdev».
- Abdrakhmanova, L. K., Mukhamadiyarov, A. V. (2022). Calculation of reinforced concrete beam reliability. *Oil and Gas Business*, 2, 28-39.
- Abdrakhmanova, L. K., Mukhamadiyarov, A. V. (2022). Calculation of the section area of reinforced concrete beam. *Oil and Gas Business*, 3, 89-97.
- (2004). SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing reinforcement. Moscow: Gosstroy Rossii, GUP «NIIZHB», FGUP TSPP.
- (2018). SP 63.13330.2018. Set of rules. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Updated edition of SNiP 52-01-2003. Moscow: NIIZHB im. A.A. Gvozdeva.
- (2006). GOST R 52544-2006. Welded rebar of a periodic profile of classes А500С, В500С for reinforcing reinforced concrete structures. Moscow: FGUP NITS «Stroitel'stvo NIIZHB» im. I.P. Bardina.
- (2019). GOST 8829-94. Interstate standard, prefabricated reinforced concrete and concrete building products. Load test methods. Rules for assessing strength, stiffness and crack resistance. Moscow: «NIIZHB» im. A.A. Gvozdeva.
- (1986). Series 1.038.1-1. Reinforced concrete lintels for buildings with brick walls. Issue. 1. Bar lintels for residential and public buildings. Working drawings. Moscow: Gosgrazhdanstroy Rossii, TSNIIEPzhilishcha.
- (1989). SNiP - 2.03.01-84\*. Concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Gosstroy of the USSR.

## Расчёт ширины раскрытия нормальных трещин железобетонных балок при изгибе

*Л. К. Абдрахманова, А. В. Мухамадияров, И. И. Сулейманов,  
Н. А. Холкин, А. Ф. Яковлева*

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

### Реферат

При прогибе железобетонной балки возникает процесс, ведущий к образованию трещин в растянутой зоне. В свою очередь трещины снижают прочностные, несущие характеристики балки и соответственно оказывают прямое влияние на увеличение прогиба, что ухудшает несущую способность всей конструкции, и приводит к возникновению аварийной ситуации. В статье рассматривается расчёт раскрытия нормальных трещин железобетонной балки согласно методике, представленной в СП 52-101-2003, СП 63.13330.2018, с заранее с заданными параметрами испытываемых нагрузок и прочностных характеристик балки.

*Ключевые слова:* железобетонная балка; нормальные трещины; силовые характеристики.

## Əyilmə zamanı dəmir-beton şüalarının normal çatlarının açılma genişliyinin hesablanması

*L. K. Abdraxmanova, A. V. Muhamadiyarov, I. I. Süleymanov,  
N. A. Holkin, A. F. Yakovleva*

Ufa Dövlət Neft Texniki Universiteti, Ufa, Rusiya

### Xülasə

Dəmir-beton şüalarının əyilməsi zamanı uzanan zonada çatların yaranmasına səbəb olan proses baş verir. Öz növbəsində, çatlar şüanın möhkəmliyini, daşıyıcı xüsusiyyətlərini azaldır və müvafiq olaraq bütün quruluşun daşıyıcı qabiliyyətini pozan və fəvqəladə vəziyyətə səbəb olan əyilmənin artmasına birbaşa təsir göstərir. Məqalədə SP 52-101-2003, SP 63.13330.2018-də təqdim olunan metodikaya uyğun olaraq dəmir-beton şüalarının normal çatlarının açılmasının sınaqdan keçirilmiş yüklərin və şüanın güc xüsusiyyətlərinin əvvəlcədən müəyyən edilmiş parametrləri ilə hesablanması nəzərdən keçirilir.

*Açar sözlər:* dəmir-beton şüası; normal çatlar; güc xüsusiyyətləri.