

УДК 624.04

*В.С. Уткин, К.А. Карпушова*

ВоГУ

## РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С НОРМАЛЬНОЙ ТРЕЩИНОЙ В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ БЕТОНА ПО КРИТЕРИЮ ЕЕ ДЛИНЫ

**Аннотация.** В работе рассмотрена проблема расчета надежности железобетонной балки с одиночной нормальной к оси балки трещиной по критерию ее длины. В нормах расчет железобетонной балки по надежности не регламентируется по длине трещины в растянутой зоне бетона балки, однако с развитием сравнительно новой науки — механики разрушения — на смену прочности как показателю качества строительного объекта приходят энергия, затрачиваемая на разрушение структуры материала балки; критическая длина трещины; критический коэффициент интенсивности напряжений бетона и железобетона. Для практического применения расчетов надежности на стадии эксплуатации железобетонной балки наиболее приемлемым в настоящее время является критерий критической длины трещины в растянутой зоне бетона. В связи с этим наряду с рассматриваемыми методами расчетов железобетонной балки по первой и второй группам предельных состояний предлагается метод расчета надежности железобетонной балки по критерию длины трещины. Этот метод расчета надежности реализуем на практике в условиях эксплуатации балки, хотя и не лишен некоторых трудностей, связанных с учетом дополнительного увеличения видимой длины трещины за счет участка в вершине трещины с частично разрыхленным бетоном.

Проведенное исследование представляет интерес для работников службы эксплуатации железобетонных конструкций и балок. Алгоритм расчета надежности железобетонной балки представлен в приведенных примерах.

**Ключевые слова:** железобетонная балка, нормальная трещина, расчет надежности, длина трещины, безопасность эксплуатации, отказ, интервал надежности, случайная величина, нечеткая переменная

**DOI:** 10.22227/2305-5502.2017.2.2\_

Существующими нормативными документами<sup>1</sup> несущая способность и надежность железобетонных балок не регламентируется

*V.S. Utkin, K.A. Karpushova*

VSTU

## CALCULATION OF RELIABILITY OF THE REINFORCED CONCRETE BEAM WITH THE NORMAL CRACK IN THE STRETCHED CONCRETE ZONE BY CRITERION OF ITS LENGTH

**Abstract.** In work the problem of calculation of reliability of a reinforced concrete beam with a single crack, normal to a beam axis, by criterion of its length is considered. In norms, for example, in the joint venture 63.13330.2012, etc. calculation of a reinforced concrete beam for reliability isn't regulated by GOST 27751-2014 on crack length in the stretched beam concrete zone, however with development of rather new science — “mechanics of destruction” of an indicator of quality of a construction object in the form of durability succeed the energy spent for destruction of structure of material of a beam; critical length of a crack; critical coefficient of intensity of tension of concrete and reinforced concrete. For practical application of calculations of reliability at a stage of operation of a reinforced concrete beam the criterion in the form of the critical length of a crack in the stretched concrete zone is the most acceptable now. In this regard along with the considered methods of calculations of a reinforced concrete beam by criterion the method of calculation of reliability of a reinforced concrete beam by criterion of length of a crack is offered to the first and second groups of limit states. This method of calculation of reliability most we realize in practice under operating conditions beams, though it isn't deprived of some difficulties connected taking into account additional increase in visible length of a crack at the expense of the site in crack top with partially loosened concrete. Work is of interest to employees of service of operation of reinforced concrete designs and beams, in particular. The algorithm of calculation of reliability of a reinforced concrete beam is presented in the given examples.

**Key words:** steel concrete beam, normal crack, reliability calculation, crack length, safety of operation, failure, reliability interval, random variable, indistinct variable

**DOI:** 10.22227/2305-5502.2017.2.2

The load-bearing capacity and reliability of reinforced concrete beams are not regulated by the existing normative documents<sup>1</sup> by the

<sup>1</sup> СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции.

ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения.

ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и основания.

<sup>1</sup> SP 63.13330.2012. Concrete and reinforced concrete designs.

State Standard 31937-2011. EN 1990 Buildings and constructions

State Standard 27751-2014. EN 1998 Reliability of building structures and foundations

условием ограничения длины трещины в растянутой зоне бетона балки. Однако с развитием сравнительно новой науки — механики разрушения — такая постановка вопроса становится необходимой для контроля уровня безопасности эксплуатации и качества железобетонной балки с нормальной трещиной (рис. 1) [1–3]. В настоящее время методы прогнозирования безопасности эксплуатации несущих элементов на основе линейной и нелинейной механики разрушения интенсивно развиваются и уже начинают внедряться в практику расчетов и эксплуатации железобетонных конструкций [3–7]. Можно сказать, что в анализ безопасности несущего элемента с трещиной вместо понятия прочности приходит понятие энергии, которая необходима для разрушения, а под разрушением понимается разделение твердого тела новыми поверхностями (трещинами).

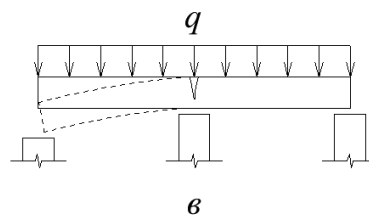
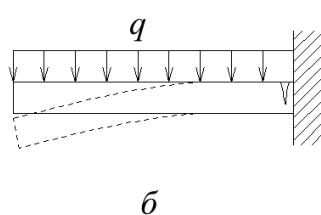
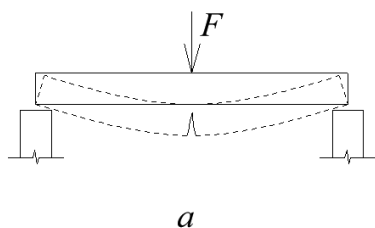


Рис. 1. Примеры балок с одиночной нормальной трещиной

Fig. 1. Examples of beams with single normal crack

Известно, что при определенной длине трещины в несущем элементе, называемой критической, происходит самопроизвольное разрушение элемента за счет накопленной потенциальной энергии в области вершины трещины [3, 8, 9]. Для железобетонных балок критическая длина трещины  $l_{кр}$  по разным источникам [3, 10] принимается равной  $0,3h_0$  и  $0,5h$ , где  $h_0$  — рабочая высота сечения балки;  $h$  — высота поперечного сечения балки. В работе [3] принимают  $l_{кр} = 0,3h_0$ , при достижении этого размера трещина может раздваиваться и даже переходить из поперечной в продольную — в зависимости от направления разрушающих сил и структуры материала. В последних исследованиях [11] длина трещины в железобетонной балке из обычного железобетона (бетон класса В25 и процент армирования  $\mu = (0,63...3,08)$  ограничена сверху сжатой зоной бетона при полном выключении из работы растянутого бетона

condition for limiting the crack length in the stretched zone of the concrete of the beam. However, with the development of rather new science — “mechanics of destruction” — this statement of the question becomes necessary to control the level operational safety and quality of reinforced concrete beam with a normal crack (Fig. 1) [1–3]. In present moment methods for predicting the safety of operation of load-bearing elements based on linear and nonlinear fracture mechanics are rapidly developing and are already beginning to be introduced into the practice of calculation and operation of reinforced concrete structures. We can say that in the safety analysis of a load-bearing element with a crack instead of the concept of strength comes the concept of energy, which is necessary for the destruction, and destruction means the separation of a solid by new surfaces (cracks).

It is known that at a certain length of the crack in the supporting element, called critical, spontaneous destruction of the element takes place due to the accumulated potential energy in the region of the crack tip [3, 8, 9]. For reinforced concrete beams, critical length of a crack  $l_{cr}$  in different sources [3, 10] is taken to be  $0.3h_0$  and  $0.5h_0$ , where  $h_0$  is the working height of the beam section;  $h$  — cross-sectional height of the beam. In work [3], it is assumed that  $l_{cr} = 0.3h_0$ , when this size is reached, the crack can split and even change from transverse to longitudinal, depending on the direction of the destructive forces and the structure of the material. In recent researches [11], the length of a crack in a reinforced concrete girder made of ordinary reinforced concrete (concrete of class B25 and the percentage of reinforcement  $\mu = (0.63–3.08)$ ) is bounded from above by a compressed concrete zone with complete switching off of the stretched concrete above it,

над ней, т.е. при  $l_{кр} = h - x$ , где  $x$  — высота сжатого слоя бетона балки, а критическая длина трещины определяется по формуле

$$l_{ult} = h - \frac{\sqrt{(E_s A_s)^2 + 4E_b b h_0 E_s A_s} - E_s A_s}{2E_b b}. \quad \text{Приме-}$$

нение этой формулы на практике встречает ряд трудностей, так как при каждом обследовании железобетонной балки приходится измерять значения высоты  $x$  сжатой зоны бетона балки, а также модуль упругости бетона  $E_b$  и стали арматуры  $E_s$ , которые являются случайными величинами. Для описания случайной величины  $\tilde{l}_{ult}$ , зависящей от случайных величин  $\tilde{E}_b$  и  $\tilde{E}_s$ , представленной формулой как вероятностными, так и возможностными методами пока не разработан способ. Принятие существенных упрощений для расчета надежности балки по представленной формуле приводит к неопределенности достоверности результатов расчета надежности.

Для определения значения уровня надежности железобетонной балки с одной нормальной к оси балки трещиной легко реализуемым на практике методом предлагается для расчетов надежности железобетонной балки использовать расчетные математические модели предельных состояний.

Расчет надежности железобетонной балки с одной трещиной, нормальной к оси балки по критериям первой и второй групп предельных состояний, был рассмотрен авторами в работах [1, 2]. Расчет надежности железобетонной балки по критерию длины трещины в настоящее время отсутствует. Для расчета надежности по этому критерию будем использовать математическую модель предельного состояния вида

$$l_{crc} \leq l_{crc,ult} = l_{кр}, \quad (1)$$

где  $l_{crc}$  — расчетная длина трещины в растянутой зоне бетона балки, определяемая измерениями.

Определение расчетной длины трещины  $l_{crc}$  с учетом участка за пределами видимого конца трещины представляет определенные трудности [1, 3, 11], вызванные тем, что трудно определить место теоретического конца трещины, показанной на рис. 2, а. В вершине трещины происходит разрыхление бетона, нарушение его структуры, предшест-

i.e. at  $l_{cr} = h - x$ , where  $x$  — is the height of the compressed concrete beam layer, and the critical crack length is determined by the formula

$$l_{ult} = h - \frac{\sqrt{(E_s A_s)^2 + 4E_b b h_0 E_s A_s} - E_s A_s}{2E_b b}. \quad \text{The}$$

application of this formula in practice encounters a number of difficulties, since every time a survey of a reinforced concrete beam has to measure the height  $x$  of the compressed zone of the concrete of the beam, as well as the modulus of elasticity of concrete  $E_b$  and the steel of the reinforcement  $E_s$ , which are random variables. To describe a random variable  $\tilde{l}_{ult}$  that depends on random variables  $\tilde{E}_b$  and  $\tilde{E}_s$ , represented by the formula both probabilistic and feasible methods, no method has been developed yet. The adoption of significant simplifications for calculating the reliability of the beam according to the presented formula leads to uncertainty in the reliability of reliability calculation results.

To determine the value of the level of reliability of reinforced concrete beam with a single crack, normal to a beam axis, by a method, that is easy to implement in practice, is offered to use computational mathematical models for calculation the reliability of a reinforced concrete beam.

Calculation of the reliability of a reinforced concrete beam with a single crack normal to a beam axis by the criteria of the first and second groups of limiting states was considered by the authors in [1, 2]. Calculation of the reliability of the reinforced concrete beam by the crack length criterion doesn't exist. To calculate the reliability by this criterion, we will use such mathematical model of the limiting state:

where  $l_{crc}$  — is the estimated crack length in the stretched zone of the beam concrete, determined by the measurements.

Determination of the estimated crack length  $l_{crc}$ , with considering the area outside the visible end of the crack, presents certain difficulties [1, 3, 11] due to the fact that it is difficult to determine the location of the theoretical end of the crack, shown in Fig. 2, a. At the top of the crack, there is a loosening of the concrete, a disruption of its structure, that is preceded by

вующее образованию новых микро- и макро-трещин и образованию новых поверхностей, как показано на рис. 2, а.

the formation of new micro- and macrocracks and the formation of new surfaces, as shown in Fig. 2, a.

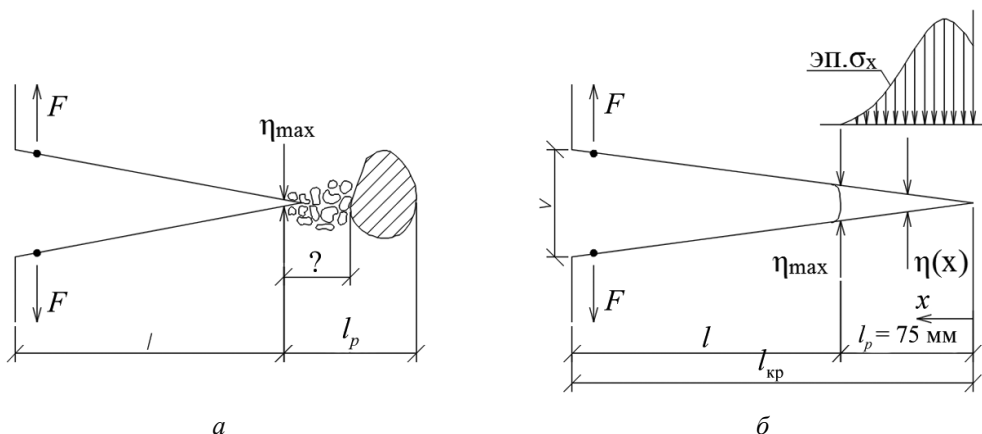


Рис. 2. Идеализированная модель трещины с зоной предразрушения

Fig. 2. Idealized model of a crack with prefracture zone

Для упрощения определения оперативной надежности железобетонной балки в реальных условиях практики эксплуатации балки по критерию длины трещины предлагается значение  $l_{crс}$  принимать простым измерением ее видимой части, добавляя к ней 75 мм, как показано на рис. 2, б [3]. Для более точного измерения видимой длины трещины предлагается поверхность бетона покрасить ацетоном, после испарения которого четко выделяется трещина на поверхности балки от неиспарившегося ацетона. Длину трещины  $l_{кр} = l + l_p$  можно определить способом, описанным в патенте [12]. Учитывая постулат метрологии о том, что результат любого измерения есть случайное число, в результате измерения  $l_{crс}$  и малого их числа будем рассматривать  $l_{crс}$  как нечеткую переменную в понятиях теории возможностей [13]. Критическая длина трещины  $l_{кр}$  в формуле (1) будет детерминированной величиной, равной  $l_{кр} = 0,3h_0$ , это наиболее осторожное решение из принимаемых  $l_{кр}$  для расчета надежности железобетонной балки [3, 10], если под надежностью понимается свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования<sup>2</sup>.

To simplify the definition of the operational reliability of a reinforced concrete beam in real conditions of the practice of operating a beam by the crack length criterion, it is suggested to take the value of  $l_{crс}$  by simply measuring its visible part, adding 75 mm to it, as shown in Fig. 2, б [3]. For a more accurate measurement of the visible crack length, it is proposed to paint the surface of concrete with acetone, after evaporation of which the crack on the beam surface from unevaporated acetone clearly stands out. The crack length  $l_{кр} = l + l_p$  can be determined by the method described in the patent [12]. Considering the postulate of metrology that the result of any measurement is a random number, as a result of measuring  $l_{crс}$  and a small number of them, we will consider  $l_{crс}$  as a fuzzy variable in terms of the theory of possibilities [13]. The critical crack length  $l_{кр}$  in formula (1) will be the deterministic value equal to  $l_{кр} = 0.3h_0$ , this is the most cautious solution of the received  $l_{кр}$  for calculating the reliability of a reinforced concrete beam [3, 10], if reliability is understood as the property of an object to preserve in time the ability to perform the required functions in given modes and conditions of use, maintenance, storage and transportation<sup>2</sup>.

Условие (1) представим в виде

Condition (1) can be represented in the follow form

<sup>2</sup> ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.

<sup>2</sup> State Standard 27.002-2015. Reliability in techniques. Terms and definitions.

$$\tilde{l}_{crc} \leq l_{кр} \text{ или } \tilde{l}_{crc} \leq 0,3h_0, \tag{2}$$

где  $\tilde{l}_{crc}$  — случайная величина;  $l_{кр} = 0,3h_0$  — детерминированная величина, так как величина  $h_0$  хотя и находится путем измерений, но, учитывая малую изменчивость результатов измерения  $h_0$ , примем ее детерминированной величиной для упрощения расчетов.

В расчетах надежности железобетонной балки с нормальной трещиной по формуле (2) в силу ограниченности статистической информации о величине  $\tilde{l}_{crc}$  будем значение надежности определять возможностными методами [13], где  $\tilde{l}_{crc}$  будем принимать нечеткой переменной в терминах [13] и описывать ее функцией распределения возможностей (при обозначении  $\tilde{l}_{crc} = X$ ) вида

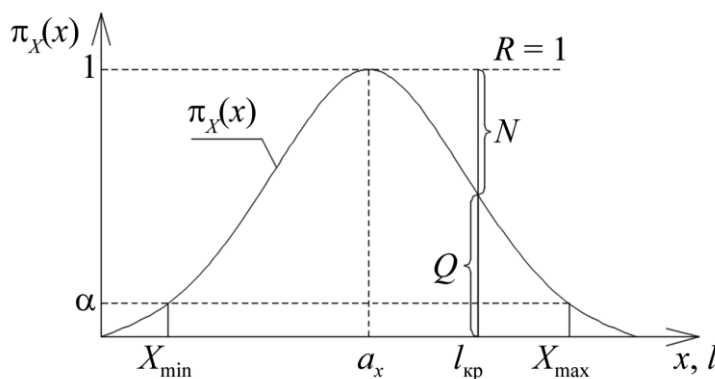
$$\pi_X(x) = \exp \left[ - \left( \frac{x - a_x}{b_x} \right)^2 \right]. \tag{3}$$

На рис. 3 показан вид функции  $\pi_X(x)$ , где  $a_x = 0,5(X_{max} + X_{min})$ ;  $b_x = 0,5(X_{max} - X_{min}) / \sqrt{-\ln \alpha}$ ,  $\alpha \in [0; 1]$  — уровень среза, значением которого задаются

where  $\tilde{l}_{crc}$  — random variable;  $l_{кр} = 0,3h_0$  — although it is found by measurements but taking into account the small variability of  $h_0$  measuring results we shall take variable of  $h_0$  as a deterministic variable to simplify calculations.

In reliability calculation of steel concrete beam with a normal crack, according to formula (2), in the case of the limited statistical information on the variable  $\tilde{l}_{crc}$  we will determine the indistinct variable by the feasible methods [13] where we will take  $\tilde{l}_{crc}$  as indistinct variable in terms [13] and describe it by the distribution function (in the designation  $\tilde{l}_{crc} = X$ )

In Fig. 3 form of the function  $\pi_X(x)$  is shown, where  $a_x = 0.5(X_{max} + X_{min})$ ;  $b_x = 0.5(X_{max} - X_{min}) / \sqrt{-\ln \alpha}$ ,  $\alpha \in [0; 1]$  — slicing level, value of which is set [14].



**Рис. 3.** Функция распределения возможностей  $\pi_X(x)$  для характеристики (описания) нечеткой переменной  $X$

**Fig. 3.** Distribution function  $\pi_X(x)$  for characterization (description) of indistinct variable  $X$

С учетом удлинения трещины на 75 мм в формуле (3) [3]

Taking into account crack elongation by 75 mm and in formula (3) [3]

$$a_{x,p} = 0,5[(X_{max} + 75) + (X_{min} + 75)] = 0,5(X_{max} + X_{min}) + 75;$$

$$b_{x,p} = b_x = 0,5[(X_{max} + 75) - (X_{min} + 75)] / \sqrt{-\ln \alpha} = 0,5(X_{max} - X_{min}) / \sqrt{-\ln \alpha}.$$

При принятом подходе к расчету на-

In accepted approach to reliability calcula-

дежности железобетонной балки по формуле (2) с учетом (3) значение надежности представляется по работам [4–7, 15] в виде интервала  $[N; R]$ , где  $R$  и  $N$  — возможность и необходимость безотказной работы или в вероятностных показателях  $[\underline{P}; \bar{P}]$ , где  $\underline{P}, \bar{P}$  — нижнее и верхнее значения вероятности безотказной работы балки по критерию длины трещины.

Применительно к условию (2) при принятом обозначении  $\tilde{l}_{cr} = X$  имеем

$$X \leq l_{кр} . \tag{4}$$

При  $a_x \leq l_{кр}$ , как обычно бывает в условиях эксплуатации железобетонных балок, возможность безотказной работы  $R = 1$  (см. рис. 3). Возможность отказа  $Q$  определяется из условия  $Q = \exp \left[ - \left( \frac{l_{кр} - a_x}{b_x} \right)^2 \right]$ , которое получаем из формулы (4) с учетом условия (3) при  $x = l_{кр}$ . Необходимость безотказной работы  $N = 1 - Q$  (см. рис. 3). Надежность железобетонной балки как условной последовательной механической системы в понятиях теории надежности по всем критериям в возможностном методе расчетов надежности определяется по формулам  $Q = \max Q_i$  и  $R = \min R_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$  число критериев работоспособности железобетонной балки.

**Пример 1.** Пусть в железобетонной балке высотой  $h_0 = 1$  м по результатам измерений условно известны значения  $\tilde{l}_{cr} = X = \{0,15; 0,17; 0,21\}$  м. Примем  $l_{кр} = 0,3 \cdot 1 = 0,3$  м,  $\alpha = 0,05$ .

Получим

$$a_x = 0,5 \cdot (0,21 + 0,15) \text{ м} = 0,18 \text{ м};$$

$$b_x = 0,5 \cdot (0,21 - 0,15) / \sqrt{-\ln 0,05} = 0,0173 \text{ м}.$$

С учетом  $l_p$  имеем  $a_{x,p} = 0,18 + 0,075 = 0,255$  м;  $b_{x,p} = 0,0173$  м. Так как  $a_{x,p} = 0,255$  м  $<$   $l_{кр} = 0,3$  м, то  $R = 1$ . Найдем

$$Q = \exp \left[ - \left( \frac{0,3 - 0,255}{0,0173} \right)^2 \right] = 0,0012 .$$

Необходимость безотказной работы  $N = 1 - 0,0012 = 0,9988$ .

tion of steel concrete beam, using formula (2), taking into account (3) reliability value is represented by papers [4–7, 15] in form of interval  $[N; R]$ , where  $R$  and  $N$  — the possibility and necessity of no-failure work or in probabilistic indices  $[\underline{P}; \bar{P}]$ , where  $\underline{P}, \bar{P}$  — lower and upper values of beam no-failure work probability by crack length criterion.

With respect to condition (2), with the notation adopted  $\tilde{l}_{cr} = X$  we have

At  $a_x \leq l_{кр}$  as is usually the case in the operation of reinforced concrete beams, the possibility of failure-free operation  $R = 1$  (see Fig. 3). The possibility of failure of  $Q$  is determined

from the condition  $Q = \exp \left[ - \left( \frac{l_{кр} - a_x}{b_x} \right)^2 \right]$  that

we obtain from formula (4), taking into account the condition (3) with  $x = l_{кр}$ . The need for uninterrupted operation  $N = 1 - Q$  (see Fig. 3). The reliability of a reinforced concrete beam as a conventional sequential mechanical system in terms of reliability theory by all criteria in the feasible method of reliability calculations is determined by the formulas  $Q = \max Q_i$  and  $R = \min R_i$ , where  $i = 1, 2, \dots, n$ , the number of criteria for the performance of a reinforced concrete beam.

**Example 1.** Let in the reinforced concrete beam height  $h_0 = 1$  m by the results of measurements conditionally known values  $\tilde{l}_{cr} = X = \{0.15; 0.17; 0.21\}$  m. We will accept  $l_{кр} = 0.3 \cdot 1 = 0.3$  m.  $\alpha = 0.05$ .

We get

$$a_x = 0.5 \cdot (0.21 + 0.15) \text{ m} = 0.18 \text{ m};$$

$$b_x = 0.5 \cdot (0.21 - 0.15) / \sqrt{-\ln 0.05} = 0.0173 \text{ m}.$$

With allowance for  $l_p$ , we have  $a_{x,p} = 0.18 + 0.075 = 0.255$  m;  $b_{x,p} = 0.0173$  m. Since  $a_{x,p} = 0.255$  m  $<$   $l_{кр} = 0.3$  m, then  $R = 1$ . We find

Necessity of trouble-free operation  $N = 1 - 0.0012 = 0.9988$ .

Надежность характеризуется интервалом  $[0,9988; 1]$ .

**Пример 2.** Представим, что через некоторое время трещина в этой же балке увеличилась и достигла значений  $\tilde{l}_{cr} = X = \{0,15; 0,18; 0,23\}$  м;  $h_0 = 1$  м. Примем  $l_{кр} = 0,3 \cdot 1 = 0,3$  м. Значение  $l_p$  (см. рис. 2) примем 75 мм;  $\alpha = 0,05$ .

Получим:

$$a_x = 0,5 \cdot (0,23 + 0,15) \text{ м} = 0,19 \text{ м};$$

$$b_x = 0,5 \cdot (0,23 - 0,15) / \sqrt{-\ln 0,05} = 0,0231 \text{ м}.$$

С учетом  $l_p$  имеем  $a_{x,p} = 0,19 + 0,075 = 0,265$  м;  $b_{x,p} = 0,0231$  м. Так как  $a_x = 0,265 \text{ м} < l_{кр} = 0,3 \text{ м}$ , то  $R = 1$ . Найдем

$$Q = \exp \left[ - \left( \frac{0,3 - 0,265}{0,0231} \right)^2 \right] = 0,1009.$$

Необходимость безотказной работы  $N = 1 - 0,1009 = 0,8991$ . Надежность характеризуется интервалом  $[0,8991; 1]$ , что в ответственных балках недопустимо и свидетельствует о прекращении эксплуатации и необходимости усиления балки или ее замене.

Подведем итоги работы.

1. Предложен новый дополнительный метод расчета железобетонной балки по критерию длины нормальной трещины в растянутой зоне бетона балки.

2. В качестве критической длины трещины  $l_{кр}$  в понятиях механики разрушения принято значение  $l_{кр} = 0,3h_0$ .

3. Рассмотренный метод расчета надежности железобетонной балки может быть использован для других несущих железобетонных элементов и при расчетах их надежности на стадии эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пирадов К.А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона. М.: Энергия, 1998. 355 с.
2. Пирадов К.А., Савицкий Н.В. Механика разрушения и теория железобетона // Бетон и железобетон. 2014. № 2. С. 23–25.
3. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. М.: Высш. шк., 1991. 288 с.

Reliability is characterized by an interval  $[0.9988; 1]$ .

**Example 2.** Imagine that after a while the crack in the same beam increased and reached values  $\tilde{l}_{cr} = X = \{0.15; 0.18; 0.23\}$  m;  $h_0 = 1$  m. We will accept  $l_{кр} = 0.3 \cdot 1 = 0.3$  m. The value  $l_p$  (see Fig. 2) is 75 mm;  $\alpha = 0.05$ .

We obtain:

$$a_x = 0.5 \cdot (0.23 + 0.15) \text{ m} = 0.19 \text{ m};$$

$$b_x = 0.5 \cdot (0.23 - 0.15) / \sqrt{-\ln 0.05} = 0.0231 \text{ m}.$$

Taking into account  $l_p$ , we have  $a_{x,p} = 0.19 + 0.075 = 0.265$  m;  $b_{x,p} = 0.0231$  m. Since  $a_x = 0.265 \text{ m} < l_{кр} = 0.3 \text{ m}$ , then  $R = 1$ . We find

Necessity of trouble-free operation  $N = 1 - 0.1009 = 0.8991$ . Reliability is characterized by an interval  $[0.8991; 1]$ , which is inadmissible in the responsible beams and indicates the termination of operation and the need to reinforce the beam or replace it.

Results of work:

1. Suggested a new additional method for calculating reinforced concrete beams on the criterion of length of normal cracks in the extended area of concrete of a beam.

2. As the critical crack length  $l_{кр}$  in terms of fracture mechanics is taken a value  $l_{кр} = 0.3h_0$ .

3. Considered method of calculation of reliability of reinforced concrete beams can be used for other carriers of reinforced concrete elements and in the calculation of their reliability during the operational phase.

#### REFERENCES

1. Piradov K.A. *Teoreticheskie i eksperimental'nye osnovy mekhaniki razrusheniya betona i zhelezobetona* [Theoretical and Experimental Fundamentals of Fracture Mechanics of Concrete and Reinforced Concrete]. Moscow, Energiya Publ., 1998, 355 p. (In Russian)
2. Piradov K.A., Savitskiy N.V. *Mekhanika razrusheniya i teoriya zhelezobetona* [Fracture Mechanics and Theory of Reinforced Concrete]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2014, no. 2, pp. 23–25. (In Russian)
3. Zaytsev Yu.V. *Mekhanika razrusheniya dlya stroiteley* [Fracture Mechanics for Builders]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991, 288 p. (In Russian)

4. Уткин В.С., Карпушова К.А. Расчет надежности железобетонной балки по критерию прочности рабочей арматуры при образовании нормальной трещины в растянутой зоне бетона // Экология и строительство. 2016. № 2. С. 4–8.
5. Уткин В.С., Карпушова К.А. Расчет надежности железобетонных балок по критерию прочности бетона в сечении с нормальной трещиной // Экология и строительство. 2016. № 4. С. 4–8.
6. Уткин В.С., Карпушова К.А. Расчет надежности несущих железобетонных элементов по критерию прочности рабочей арматуры в сечении с нормальной трещиной // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. № 2 (271). С. 28–29.
7. Уткин В.С., Карпушова К.А. Расчет надежности железобетонной балки с нормальной трещиной по прогибу на стадии эксплуатации // Экология и строительство. 2017. № 1. С. 4–9.
8. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: Наука, 1980. 256 с.
9. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 240 с.
10. Гвоздев А.А., Дмитриев С.А., Гуца Ю.П. и др. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1978. 204 с.
11. Радайкин О.В. К совершенствованию методики расчета жесткости изгибаемых железобетонных элементов из обычного железобетона // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 1 (19). С. 59–66.
12. Патент РФ 2596694, МПК G01B 7/00. Способ измерения длины трещины и скорости ее развития изгибаемых и растягиваемых элементов конструкций / В.С. Уткин, С.А. Соловьев, А.А. Каберова, В.В. Русанов; патентообл.: Вологодский Государственный Университет. № 2015131233/28; заявл. 27.07.2015; опубл. 10.09.2016, бюл. № 25.
13. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: пер. с фр. М.: Радио и связь, 1990. 288 с.
14. Уткин В.С., Соловьев С.А., Каберова А.А. Значение уровня среза (риска) при расчете надежности несущих элементов вероятностным методом // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 6. С. 63–67.
4. Utkin V.S., Karpushova K.A. Raschet nadezhnosti zhelezobetonnoy balki po kriteriyu prochnosti rabochey armatury pri obrazovanii normal'noy treshchiny v rastyanutoy zone betona [Reliability Calculation of Reinforced Concrete Beam as per Strength Criterion of Main Reinforcement at Formation of Normal Crack in Tensile Zone of Concrete]. *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and Construction]. 2016, no. 2, pp. 4–8. (In Russian)
5. Utkin V.S., Karpushova K.A. Raschet nadezhnosti zhelezobetonnykh balok po kriteriyu prochnosti betona v sechenii s normal'noy treshchinoy [Reliability Calculation of Reinforced Concrete Beams as per Concrete Strength Criterion in Section with Normal Crack]. *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and Construction]. 2016, no. 4, pp. 4–8. (In Russian)
6. Utkin V.S., Karpushova K.A. Raschet nadezhnosti nesushchikh zhelezobetonnykh elementov po kriteriyu prochnosti rabochey armatury v sechenii s normal'noy treshchinoy [Reliability Calculation of Load-Bearing Reinforced Concrete Elements as per Strength Criterion of Main Reinforcement in Section with Normal Crack]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2017, no. 2 (271), pp. 28–29. (In Russian)
7. Utkin V.S., Karpushova K.A. Raschet nadezhnosti zhelezobetonnoy balki s normal'noy treshchinoy po progibu na stadii ekspluatatsii [Reliability Calculation of Reinforced Concrete Beam with Normal Crack as per Deflection at the Stage of Use]. *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and Construction]. 2017, no. 1, pp. 4–9. (In Russian)
8. Morozov E.M., Nikishkov G.P. *Metod konechnykh elementov v mekhanike razrusheniya* [Finite Elements Method in Fracture Mechanics]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 256 p. (In Russian)
9. Parton V.Z. *Mekhanika razrusheniya: ot teorii k praktike* [Fracture Mechanics: from Theory to Practice]. Moscow, Nauka Publ., 1990, 240 p. (In Russian)
10. Gvozdev A.A., Dmitriev S.A., Gushcha Yu.P. et al. *Novoe v proektirovanii betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy* [The New in Designing of Concrete and Reinforced Concrete Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978, 204 p. (In Russian)
11. Radaykin O.V. K sovershenstvovaniyu metodiki rascheta zhestkosti izgibaemykh elementov iz obychnogo zhelezobetona [About Improving of Stiffness Analysis Procedure of Bending Elements Made of Ordinary Reinforced Concrete]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2012, no. 1 (19), pp. 59–66. (In Russian)
12. Utkin V.S., Solov'ev S.A., Kaberova A.A. et al. Patent No. RF 2596694, MPK G01B 7/00. *Sposob izmereniya dliny treshchiny i skorosti ee razvitiya izgibaemykh i rastyagivaemykh elementov konstruksiy* [Patent No. RF 2596694, MPK G01B 7/00. Crack Length Measurement Method and Rate of Crack Propagation of Bending and Tensile Structural Elements]. Patent holder Vologodsky State University, no. 2015131233/28; appl. 27.07.2015; publ. 10.09.2016, bulletin no. 25. (In Russian)
13. Dubois D., Prade H. *Possibility Theory*. New York: Plenum, 1988.
14. Utkin V.S., Solov'ev S.A., Kaberova A.A. Znachenie urovnya sreza (riska) pri raschete nadezhnosti nesushchikh elementov vozmozhnostnym metodom [Significance of Cut-off (Risk) Level in Calculation of Reliability of Load-Bearing Elements Using Possibilistic Method]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2015, no. 6, pp. 63–67. (In Russian)



15. Уткин В.С., Уткин Л.В. Расчет надежности механических систем при ограниченной статистической информации. Вологда : ВоГТУ, 2008. 188 с.

Поступила в редакцию в мае 2017 г.

15. Utkin V.S., Utkin L.V. *Raschet nadezhnosti mekhanicheskikh sistem pri ogranichennoy statisticheskoy informatsii* [Reliability Calculation for Mechanical Systems with Limited Statistical Information]. Vologda, VoGTU Publ., 2008, 188 p. (In Russian)

Received in May 2017.

Об авторе: **Уткин Владимир Сергеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства, **Вологодский государственный университет (ВоГУ)**, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, utkinvogtu@mail.ru.

**Карпушова Кристина Алексеевна**, магистрант кафедры промышленного и гражданского строительства, **Вологодский государственный университет (ВоГУ)**, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, karpuschowa.kris@yandex.ru

About the author: **Utkin Vladimir Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Industrial and Civil Construction, **Vologda State University (VSTU)**, 15 Lenina St., 160000, Vologda, Russian Federation; utkinvogtu@mail.ru.

**Karpushova Kristina Alekseevna**, Graduate Student of the Department of Industrial and Civil Engineering, **Vologda State University (VSU)**, 15 Lenina St., 160000, Vologda, Russian Federation; karpuschowa.kris@yandex.ru

Для цитирования:

Уткин В.С., Карпушова К.А. Расчет надежности железобетонной балки с нормальной трещиной в растянутой зоне бетона по критерию ее длины // Строительство: наука и образование. 2017. Т. 7. Вып. 2 (23). Ст. 2. Режим доступа: <http://nso-journal.ru>.

For citation:

Utkin V.S., Karpushova K.A. Raschet nadezhnosti zhelezobetonnoy balki s normal'noy treshchinoy v rastyanutoy zone betona po kriteriyu ee dliny [Calculation of Reliability of the Reinforced Concrete Beam with the Normal Crack in the Stretched Concrete Zone by Criterion of Its Length]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2017, vol. 7, issue 2 (23), paper 2. Available at: <http://www.nsojournal.ru>. (In Russian)