

УДК 624.072.221

**РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**REPAIR AND RECOVERY  
OF BUILDING CONSTRUCTIONS OF THE TEXTILE ENTITIES**

*М.А. ОРЛОВА*

*M.A. ORLOVA*

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Politechnical Universit)

E-mail: orlovamaria\_na@mail.ru

*В статье представлены результаты физического и численного экспериментов по исследованию напряженно-деформированного состояния железобетонных балок с различными трещинами, а также балок без дефектов, имеющих аналогичные армирование, прочность бетона и геометрические размеры. Приводятся формулы для расчета несущей способности изгибаемых железобетонных элементов с дефектами, с применением эмпирических коэффициентов. В заключение дается анализ влияния различных трещин и их параметров на несущую способность железобетонных балок при изменяющихся прочности бетона и проценте армирования сечения.*

*The article presents the results of physical and numerical experiments on the study of stress-strain state of reinforced concrete beams with different cracks and beams without defects with similar reinforcement, concrete strength and dimensions. There are some formulas for calculation the bearing capacity of the bending reinforced concrete elements with defects, using empirical coefficients. Finally, gives an analysis of the impact of different cracks and their parameters on the bearing capacity of reinforced concrete beams under varying concrete strength and the percentage of reinforcement section.*

**Ключевые слова:** железобетонные балки, трещины, несущая способность.

**Keywords:** reinforced concrete beams, cracks, bearing capacity.

В нормативной литературе не учитывается наличие дефектов и повреждений при расчете несущей способности конструкций. Таким образом, возникла необходимость разработки методики оценки прочности изгибаемых железобетонных элементов, при-

меняемой в инженерной практике и учитывающей характер и степень повреждения конструкций.

С целью исследования напряженно-деформированного состояния и разработки методики расчета изгибаемых железобетон-

ных элементов с дефектами были проведены экспериментально-теоретические исследования по изучению влияния исходных параметров трещин на распределение напряжений в сжатой зоне бетона, а именно физический эксперимент железобетонных балок с начальными нормальными и горизонтальными трещинами [1...4] и численные исследования путем моделирования железобетонных балок с трещинами в среде программного комплекса "SCAD Office" [5].

На основе полученных результатов разработана методика расчета железобетонных балок с учетом влияния трещин [6]. Выполнена сравнительная оценка результатов теоретических расчетов несущей способности балок по предлагаемой методике с результатами физического и численного экспериментов, а также с результатами расчета по существующему методу, основанному на диаграммах деформирования материала – обобщенной расчетной модели (ОРМ).

С целью исследования влияния параметров начальных трещин на напряженно-деформированное состояние и несущую способность железобетонных элементов были испытаны 60 балок, разделенных на 12 серий, в зависимости от вида трещин, армирования и прочности бетона. Испытывались балки с нормальным и большим процентом армирования. Высота начальных нормальных трещин первой серии балок составляла 0,21 от высоты сечения элемента. Отличительной особенностью экспериментов является то, что были изготовлены и испытаны четыре серии балок с высотой начальных нормальных трещин, составляющих 0,42 высоты сечения элемента. При этом варьировались шаг трещин, прочность бетона на сжатие и процент армирования сечения. Кроме того, были испытаны две серии балок, имеющих как горизонтальные, так и нормальные трещины, а также одна серия балок, имеющих локальные горизонтальные трещины в сжатой зоне. Трещины создавались с помощью металлических пластин, которые извлекались после бетонирования. Ширина начальных трещин не превышала 0,2 мм. Одновре-

менно с балками, имеющими трещины, были изготовлены и испытаны балки без дефектов, имеющие аналогичные геометрические размеры, армирование и прочность бетона. Схема нагружения и расположения начальных трещин в балках, основные параметры дефектов, а также коэффициент армирования и прочность бетона на сжатие для различных серий балок приведены в табл. 1 и 2 (табл. 1 – экспериментально-теоретические исследования балок с нормальными трещинами, табл. 2 – экспериментально-теоретические исследования балок с нормальными и горизонтальными трещинами). Кроме этого, в таблицах представлены экспериментальные данные и результаты теоретических расчетов: соотношения напряжений, вычисленных в программном комплексе "SCAD Office"  $\sigma_{\text{test}}/\sigma_{\text{ult}}$ ; соотношения экспериментальных значений разрушающих моментов балок с трещинами и аналогичных балок без дефектов  $M_{\text{ult}}/M_{\text{test}}$ ; средние по серии значения экспериментального разрушающего момента  $M_{\text{m.ult}}^{\text{exp}}$ ; несущая способность, вычисленная по результатам численного эксперимента  $M_{\text{b}}^{\text{SCAD}}$  и теоретических расчетов  $M_{\text{b}}^{\text{v}}$ ; максимальные напряжения в бетоне сжатой зоны вычислены с использованием эмпирических коэффициентов –  $\sigma_{\text{b}}^{\text{v}}$  и с помощью SCAD –  $\sigma_{\text{ult}}$ .

В результате экспериментальных исследований установлено, что влияние длины и количества трещин на разрушающий момент железобетонных балок увеличивается при снижении коэффициента армирования и прочности бетона на сжатие. Несущая способность балок с нормальными и горизонтальными трещинами снижается по сравнению с балками без дефектов на 1,6...18%, в зависимости от типа и количества трещин, прочности бетона и коэффициента армирования. Проведенные экспериментальные исследования позволили вычислить эмпирические коэффициенты  $k_{\text{h}}=k_{\text{v}}=M_{\text{ult}}/M_{\text{test}}$ .

Таблица 1

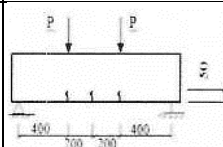
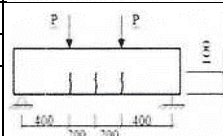
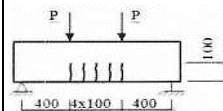
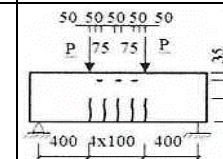
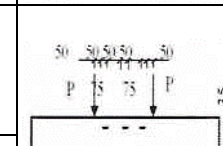
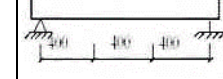
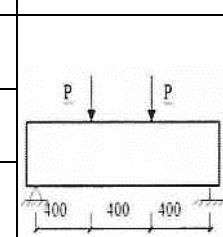
Серия	Схема дефектов	Материал		Теоретические значения		Физический эксперимент		Численный эксперимент			ОРМ
		$\mu$ , %	$R_{bn}$ , МПа	максимальное напряжение $\sigma_b^v$ , МПа	несущая способность $M_b^v$ , КН·м	$M_{ult}/M_{test}$	разрушающий момент $M_{exp_{m,ult}}$ , КН·м	$\sigma_{test}/\sigma_{ult}$	максимальное напряжение $\sigma_{ult}$ , МПа	несущая способность $M_b^{SCAD}$ , КН·м	несущая способность, КН·м
1		1,4	37	18,7	28,3	0,885	30,04	0,9	17,5	27	30,64
2		1,4	37	18,57	28,1	0,88	29,88	0,9	18,03	27,73	30,18
9		1,4	19	15,6	24,7	0,82	26,6	0,86	15,96	25,93	28,04
3		2,6	37	27,18	47,02	0,984	48,0	0,92	26,1	45,2	48,4
4		1,4	37	18,15	27,46	0,86	29,12	0,89	17,82	27	29,8

Таблица 2

Серия	Схема дефектов	Материал		Теоретические значения		Физический эксперимент		Численный эксперимент		
		$\mu$ , %	$R_{bn}$ , МПа	максимальное напряжение в зоне сжатой зоны $\sigma_b^v$ , МПа	несущая способность $M_b^v$ , КН·м	$M_{ult}/M_{test}$	средние по серии значения $M_{exp_{m,ult}}$ , КН·м	$\sigma_{test}/\sigma_{ult}$	максимальное напряжение в зоне сжатой зоны $\sigma_{ult}$ , МПа	несущая способность $M_b^{SCAD}$ , КН·м
5		2,6	37	26,9	46,48	0,973	47,5	0,997	26,59	46
6		2,6	37	26,23	45,38	0,95	46,13	0,95	26,02	45,02
10		2,6	19	19,1	35,1	0,92	39,7	0,98	18,99	34,94
7		1,4	37	21,1	32	1	33,95	1	18,77	28,41
8		2,6	37	27,61	47,8	1	48,8	1	27,33	47,3
11		1,4	19	19,54	31,75	1	32,29	1	18,204	29,6
12		2,6	19	20,76	38,2	1	43,2	1	23,4	43

Несущая способность нормальноармированных и перearмированных железобетонных балок с нормальными и горизонтальными трещинами определяется в зависимости от максимального напряжения в бетоне сжатой  $\sigma_b^{v,h}$  зоны по формуле:

$$M_b^{v,h} = \sigma_b^{v,h} \xi (1 - 0,5\xi) b h_0^2, \quad (1)$$

где  $\xi$  – начальная относительная высота сжатой зоны бетона;  $b$  и  $h_0$  – размеры поперечного сечения балки.

Максимальные нормальные напряжения в бетоне сжатой зоны определяются по значениям критического коэффициента интенсивности напряжений при сдвиге  $K_{ПС}$  [7]. Критические коэффициенты интенсивности напряжений являются постоянными материала и вычисляются в зависимости от сопротивления бетона растяжению и максимального диаметра заполнителя [8].

Учет вида, количества и размеров трещин производится путем введения эмпирических коэффициентов. Значение максимального напряжения в сжатом бетоне для балок с нормальными трещинами в растянутой зоне и горизонтальными трещинами в сжатой зоне предлагается вычислять с помощью эмпирических коэффициентов:  $k_v$  (определяемого в зависимости от количества и высоты нормальных трещин, высоты сечения балки и коэффициента армирования) и  $k$  (определяемого в зависимости от длины горизонтальных трещин, расчетного пролета, высоты поврежденного участка в сжатой зоне и высоты сечения балки):

$$\sigma_b^{v,h} = \frac{K_{ПС}}{(\sin \alpha' - \varphi \cos \alpha') \cos \alpha' \sqrt{\pi \ell_{cr}}} k_v k_h, \quad (2)$$

где  $\varphi=0,8$  – коэффициент трения бетона;  $\alpha'$  – угол сдвига бетона;  $\ell_{cr}$  – критическая полудлина трещины в бетоне при сдвиге. Если трещины отсутствуют, то  $k_h = k_v = 1$ .

Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов показал хорошую сходимость. В результате сравнения теоретических расчетов несущей способности балок с нормальными трещинами, выполненных

по предлагаемой методике с существующим методом расчета (ОПМ), основанном на диаграммах деформирования материалов, было выявлено расхождение значений в среднем на 9%. Теоретические значения несущей способности балок с трещинами, вычисленные по предлагаемому методу, ниже экспериментальных данных в среднем на 4%. В то время, как значения несущей способности для аналогичных балок, вычисленные по существующей методике, превышают экспериментальные данные в среднем на 5%.

Результаты численного эксперимента, выполненного с использованием программного комплекса "SCAD Office", отличаются от результатов расчета по предлагаемому методу, в среднем на 2%, и ниже экспериментальных данных, в среднем на 6%. Следовательно, проведенные экспериментальные исследования балок с трещинами подтверждают верность теоретических расчетов по предлагаемой методике.

## ВЫВОДЫ

Предлагаемый метод, основанный на теории механики разрушения бетона с учетом эмпирических коэффициентов, полученных по результатам экспериментальных исследований, позволяет с достаточно высокой точностью определить несущую способность железобетонных балок с трещинами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Орлова М.А. Испытания железобетонных балок с начальными трещинами. – Часть 1. Постановка и проведение эксперимента // Жилищное строительство. – 2010, № 8. С. 39...42.
2. Орлова М.А. Испытания железобетонных балок с начальными трещинами. – Часть 2. Результаты эксперимента // Жилищное строительство. – 2010, № 9. С. 38...42.
3. Орлова М.А. Экспериментальные исследования прочности железобетонных балок с трещинами // Жилищное строительство. – 2015, № 12. С. 33...37.
4. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами // Вестник ТГАСУ. – 2015, №6. С.98...105.

5. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Конечно-элементное исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных балок с нормальными трещинами // Научное обозрение. – 2016, № 6. С. 8...11.

6. Тамразян А.Г., Орлова М.А. К остаточной несущей способности железобетонных балок с трещинами // Жилищное строительство. – 2015, № 6. С.32...34.

7. Пирадов К.А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона. – Тбилиси: Изд-во "Энергия", 1998.

8. Пересыпкин Е.Н. Расчет стержневых железобетонных элементов. – М.: Стройиздат, 1988.

#### REFERENCES

1. Orlova M.A. Ispytaniya zhelezobetonnykh balok s nachal'nymi treshchinami. – Chast' 1. Postanovka i provedenie eksperimenta // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2010, № 8. S. 39...42.

2. Orlova M.A. Ispytaniya zhelezobetonnykh balok s nachal'nymi treshchinami. – Chast' 2. Rezul'taty eksperimenta // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2010, № 9. S.38...42.

3. Orlova M.A. Eksperimental'nye issledovaniya prochnosti zhelezobetonnykh balok s treshchinami // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2015, № 12. S. 33...37.

4. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. Eksperimental'nye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov s treshchinami // Vestnik TGASU. – 2015, №6. S.98...105.

5. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. Konechno-elementnoe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh balok s normal'nymi treshchinami // Nauchnoe obozrenie. – 2016, № 6. S. 8...11.

6. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. K ostatochnoy nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh balok s treshchinami // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2015, № 6. S.32...34.

7. Piradov K.A. Teoreticheskie i eksperimental'nye osnovy mekhaniki razrusheniya betona i zhelezobetona. – Tbilisi: Izd-vo "Energiya", 1998.

8. Peresypkin E.N. Raschet stержnevyykh zhelezobetonnykh elementov. – М.: Stroyizdat, 1988

Рекомендована кафедрой строительных конструкций. Поступила 06.02.17.