

Влияние дефектов и повреждений на несущую способность железобетонных изгибаемых элементов

М.А. Орлова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: В статье приведены некоторые примеры обследования технического состояния несущих конструкций предприятий города Иванова. Выявлены дефекты и повреждения в эксплуатируемых изгибаемых элементах. Приведены результаты экспериментальных исследований железобетонных балок с начальными трещинами. Установлена степень влияния дефектов на несущую способность балок. Вычислены эмпирические коэффициенты, учитывающие тип и параметры трещин, процент армирования сечения и класс бетона балок. На основе теории механики разрушения выведена формула для определения напряжения в бетоне сжатой зоны для балок с трещинами с учётом эмпирических коэффициентов. Предложен метод расчета несущей способности изгибаемых железобетонных элементов в дефектами и повреждениями. Сделан анализ экспериментально-теоретических исследований железобетонных балок с различными дефектами в виде нормальных и горизонтальных трещин, подтверждающих правильность данной методики.

Ключевые слова: железобетонные изгибаемые элементы, балки с трещинами, несущая способность, метод расчета.

На различных этапах жизненного цикла: при изготовлении, транспортировке, монтаже и эксплуатации конструкций, могут возникнуть дефекты и повреждения, которые влияют на напряженно-деформированное состояние [1, 2].

При проведении обследований эксплуатируемых изгибаемых железобетонных элементов предприятий города Иванова, Ивановской области были выявлены различные трещины, вызванные нарушением технологии изготовления и нормальных условий эксплуатации. В железобетонных конструкциях покрытия цеха по производству светопрозрачных изделий были обнаружены продольные трещины в сжатом поясе стропильной фермы (рис.1) и в подкосе подстропильной фермы, а также скол бетона с оголением стержней рабочей арматуры в нижнем поясе подстропильной фермы (рис.2). В железобетонных элементах перекрытия

ООО «ИК Оптима» (рис. 3) и ООО ИП «Меланж» (рис. 4) выявлены трещины и сколы бетона, а также повреждение и коррозия арматуры.



Рис. 1. – Продольные трещины в сжатом поясе стропильной фермы



Рис. 2. – Повреждения в подкосе и растянутом поясе подстропильной фермы



Рис. 3. – Дефекты в растянутой зоне балки



Рис. 4. – Повреждения в растянутой зоне ригелей перекрытия

При оценке технического состояния поврежденных конструкций встает вопрос об их дальнейшей безопасной эксплуатации и, следовательно, о необходимости определения их действительной несущей способности [3 – 5].

Изучение влияния дефектов и повреждений на несущую способность изгибаемых элементов производилось на основе анализа результатов экспериментально-теоретических исследований 20 серий железобетонных балок с начальными трещинами в зоне чистого изгиба (таблица №1 и №2). Каждая серия отличается типом и размером трещин, классом бетона (В5, В14, В35, В50), а также коэффициентом армирования сечения: средним (0,82...1,15) или большим (2,08...2,44).

Таблица № 1

Железобетонные балки с нормальными трещинами

Серия	Марка балки	Схема дефектов	$\frac{A_{ss}, \text{см}^2}{R_b, \text{МПа}}$ а	Относительный момент M_{ult} / M_{test}	Снижение несущей способности, %
1	Б 1-1-1		$\frac{3,1}{37}$	0,884	11,5
	Б 1-2-1			0,86	
	Б 1-3-1			0,91	
	Б 1-2-1			0,864	
	Б 1-3-1			0,907	
2	Б 2-1-1		$\frac{3,1}{37}$	0,898	12
	Б 2-2-1			0,862	
	Б 2-3-1			0,897	
	Б 2-4-1			0,86	
	Б 2-5-1			0,863	
3	Б 3-1-1		$\frac{6}{37}$	0,986	1,6
	Б 3-2-1			0,988	
	Б 3-3-1			0,977	
	Б 3-4-1			0,99	
	Б 3-5-1			0,98	
9	Б 2-1-2		$\frac{3,1}{19}$	0,839	18
	Б 2-2-2			0,81	
	Б 2-3-2			0,822	
	Б 2-4-2			0,84	
	Б 2-5-2			0,82	
4	Б 4-1-1		$\frac{3,1}{37}$	0,861	14
	Б 4-2-1			0,879	
	Б 4-3-1			0,834	
	Б 4-4-1			0,88	
	Б 4-5-1			0,83	
6	Б 6-1-1		$\frac{6}{37}$	0,981	2,7
	Б 6-2-1			0,968	
	Б 6-3-1			0,97	
	Б 6-4-1			0,980	
	Б 6-5-1			0,969	
10	Б 6-1-2		$\frac{6}{19}$	0,903	8
	Б 6-2-2			0,945	
	Б 6-3-2			0,913	
	Б 6-4-2			0,95	
	Б 6-5-2			0,91	

Таблица № 2

Железобетонные балки с локальными горизонтальными трещинами

Серия	Марка балки	Схема дефектов	$\frac{A_{s2}, \text{см}^2}{R_b, \text{МПа}}$	Относительный момент M_{ult} / M_{test}	Снижение несущей способности, %
5	Б 5-1-1		$\frac{6}{37}$	0,945	5
	Б 5-2-1			0,963	
	Б 5-3-1			0,928	
	Б 5-4-1			0,96	
	Б 5-5-1			0,93	
13	Б 8-1-3		$\frac{3,3}{4}$	0,937	6,3
	Б 8-5-3			0,94	
	Б 8-7-3			0,93	
	Б 8-9-3			0,94	
	Б 8-11-3			0,93	
14	Б 8-2-3		$\frac{4,9}{4}$	0,952	5
	Б 8-6-3			0,953	
	Б 8-8-3			0,95	
	Б 8-10-3			0,951	
	Б 8-12-3			0,95	
17	Б 9-1-4		$\frac{6}{10}$	0,873	12,5
	Б 9-2-4			0,868	
	Б 9-3-4			0,869	
	Б 9-4-4			0,87	
	Б 9-5-4			0,87	
18	Б 10-1-4		$\frac{6}{10}$	0,789	20
	Б 10-2-4			0,8	
	Б 10-3-4			0,793	
	Б 10-4-4			0,789	
	Б 10-5-4			0,79	
19	Б 11-1-4		$\frac{6}{10}$	0,823	17,5
	Б 11-2-4			0,814	
	Б 11-3-4			0,818	
	Б 11-4-4			0,81	
	Б 11-5-4			0,82	
<p>Балки серий 7, 8, 11, 12, 15, 16, 20 не имеют дефектов и испытаны для проведения сравнительного анализа</p>					

Кроме балок, имеющих трещины, были изготовлены и испытаны балки без начальных повреждений (серии 7, 8, 11, 12, 15, 16, 20) с аналогичными размерами, прочностью бетона на сжатие и коэффициентом армирования. В таблицах №1 и №2 приведены: схема нагружения балок, параметры дефектов, расположение начальных трещин, основные характеристики материалов, а также экспериментальные данные в виде относительного момента M_{ult} / M_{test} , где M_{ult} -разрушающий момент балки с начальными трещинами, M_{test} - разрушающий момент аналогичной балки без дефектов. В результате испытаний определен средний по серии процент снижения несущей способности балок с начальными трещинами по сравнению с аналогичными балками без дефектов и установлено, что влияние трещин на несущую способность балок уменьшается при увеличении прочности бетона на сжатие и коэффициента армирования сечения.

Экспериментальные данные позволили вычислить эмпирические коэффициенты k_v и k_h , учитывающие снижение несущей способности балок с нормальными и горизонтальными трещинами, по сравнению с балками без видимых повреждений и разработать метод расчета, основанный на теории механики разрушения [6].

В теории механики разрушения влияние трещин в изгибаемых железобетонных элементах на напряжение в бетоне учитывается с помощью критических коэффициентов интенсивности напряжений K_{IC} и K_{IIC} , которые характеризуют сопротивление материала образованию и развитию трещин и вычисляются по значению максимального диаметра крупного заполнителя d_z [7 – 9].

Напряжения в бетоне сжатой зоны балок с начальными нормальными трещинами в растянутой зоне σ_b^v предлагается вычислять с помощью эмпирического коэффициента k_v , определяемого по параметрам нормальных трещин, а для балок с начальными горизонтальными трещинами в сжатой

зоне σ_b^h - с помощью эмпирического коэффициента k_h , определяемого по параметрам горизонтальных трещин [10]. Для балок, имеющих как нормальные, так и горизонтальные трещины, напряжение $\sigma_b^{v,h}$ определяется по формуле (1):

$$\sigma_b^{v,h} = \frac{K_{IIIC}}{D \cdot \sqrt{\pi \cdot l_{crII}}} \cdot k_v \cdot k_h, \quad (1)$$

где D – коэффициент, определяемый по углу сдвига бетона α ,

l_{crII} – критическая полудлина трещины в бетоне при поперечном сдвиге:

$$l_{crII} = 3l_{crI} = 2/3 d_3.$$

Предлагаемый метод расчета железобетонных балок с трещинами реализован в программе, разработанной на языке программирования Delphi.

Пример заполнения таблицы исходных данных для балки серии 9 с тремя начальными нормальными трещинами представлен на рис. 5, а результат расчета балки представлен на рис. 6.

Исходные данные	
Ширина прямоугольного сечения балки - b, м	0,12
Рабочая высота поперечного сечения балки - ho	0,19
Коэффициент пластичности бетона - Lambda	0,80
Площадь растянутой арматуры - As, м2	0,00031
Эмпирический коэффициент учитывающий изменение высоты сжатой зоны в балках с трещинами - Kv,h	0,82
Коэффициент, характеризующий отклонение предельной раскалывающей нагрузки от разрушающей нагрузки - m	1,00
Модуль упругости арматуры - Es, МПа	208000,00
Модуль упругости бетона - Eb, МПа	31700,00
Коэффициент Fi	0,80
Коэффициент внутреннего трения бетона - f	0,75
Коэффициент - ko	4,00
Максимальный диаметр крупного заполнителя, d3	0,02

Рис. 5. – Пример заполнения исходных данных для расчета балки с нормальными трещинами

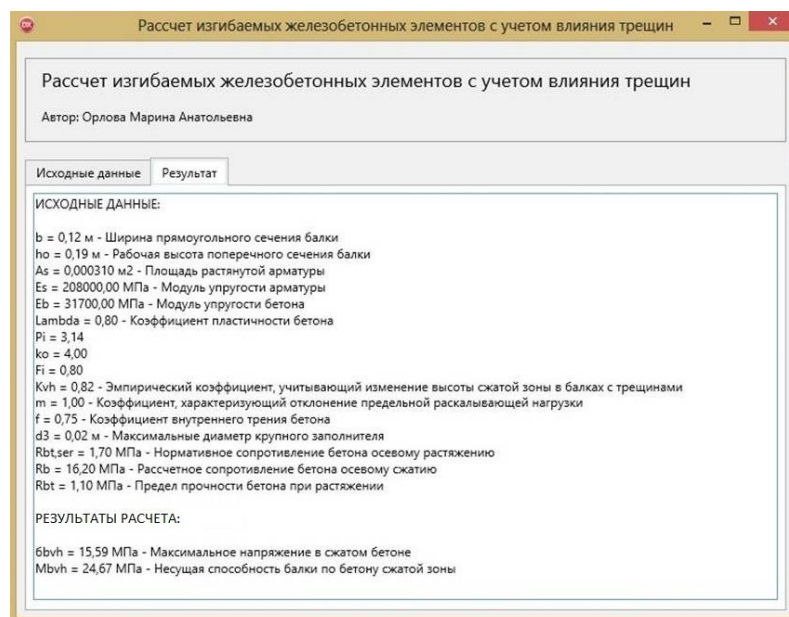


Рис. 6. – Пример результата расчета балки с нормальными трещинами

Анализ экспериментально-теоретических исследований изгибаемых железобетонных элементов с различными типами трещин показал, что значения несущей способности повреждённых балок, вычисленные по предлагаемой методике ниже экспериментальных данных, в среднем, на 4% и отличаются от результатов численного эксперимента, в среднем, на 2% [10].

Таким образом, разработанный метод позволяет с достаточно высокой точностью произвести расчет несущей способности железобетонных изгибаемых элементов с дефектами и повреждениями, и дает близкую сходимость с экспериментальными данными и численными исследованиями.

Литература

1. Орлова М.А. Ремонт и восстановление строительных конструкций текстильных предприятий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 1 (385). С. 227-231.
2. Миронов А.Н., Гаранжа И.М., Вершинин В.П., Саад М.Г. Резерв несущей способности мостового сооружения через реку Кальмиус в г. Донецке // Инженерный вестник Дона, 2021, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6902/.

3. Гаранжа И.М., Танасогло А.В., Фоменко С.А. Совершенствование конструкций решетчатых башенных опор воздушных линий электропередачи // Инженерный вестник Дона, 2021, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N12y21/7346/.

4. Tamrazyan A., Alekseytsev A. The Efficiency of Varying Parameters when Optimizing Reinforced Concrete Structures. E3S Web of Conferences. 24. Сер. «24th International Scientific Conference «Construction the Formation of Living Environment», FORM 2021». 2021 URL: doi.org/10.1051/e3sconf/202126302001

5. Bayat H., Chalecki M., Wójt J., Ubysz A., Maj M., Tamrazyan A. Experimental Research of Ratio between Residual and Elastic Strains $\varepsilon^{res}/\varepsilon^e$ in High-Strength Concrete Beams Subjected to Bending. Materials. 2021. Т.14. №20 URL: doi.org/10.3390/ma14206007

6. Орлова М.А., Гнедина Л.Ю., Ибрагимов А.М. Оценка состояния железобетонных изгибаемых элементов с дефектами и повреждениями. Часть 1. Экспериментальные исследования // Жилищное строительство. 2022. № 1-2. С. 28–33.

7. Иваненко А.Н., Иваненко Н.А., Пересыпкин Е.Н. Трещиностойкость железобетонных конструкций как функция предельной растяжимости бетона // Инженерный вестник Дона, 2014, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2588/.

8. Иваненко А.Н., Иваненко Н.А., Пересыпкин Е.Н. Анализ стадии эксплуатации и разрушения нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента // Инженерный вестник Дона, 2015, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2772/.

9. Пирадов К.А., Гузеев Е.А., Мамаев Т.Л., Абдуллаев К.У. Критический коэффициент интенсивности напряжений железобетона // Бетон и железобетон. 1995. № 5. С. 12-15.

10. Орлова М.А., Гнедина Л.Ю., Ибрагимов А.М. Оценка состояния железобетонных изгибаемых элементов с дефектами и повреждениями. Часть 2. Метод расчета // Жилищное строительство. 2022. № 3. С. 3–7.

References

1. Orlova M.A. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. 2020. № 1 (385). pp. 227-231.
2. Mironov A.N., Garanzha I.M., Vershinin V.P., Saad M.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6902/.
3. Garanzha I.M., Tanasoglo A.V., Fomenko S.A. Inzhenernyi vestnik Dona, 2021, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N12y21/7346/.
4. Tamrazyan A., Alekseytsev A. The Efficiency of Varying Parameters when Optimizing Reinforced Concrete Structures. E3S Web of Conferences. 24. Ser. «24th International Scientific Conference «Construction the Formation of Living Environment», FORM 2021». 2021 URL: doi.org/10.1051/e3sconf/202126302001
5. Bayat H., Chalecki M., Wójt J., Ubysz A., Maj M., Tamrazyan A. Materials. 2021. T.14. №20 URL: doi.org/10.3390/ma14206007
6. Orlova M.A., Gnedina L.Yu., Ibragimov A.M. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2022. № 1-2. pp. 28-33.
7. Ivanenko A.N., Ivanenko N.A., Peresypkin E.N. Inzhenernyi vestnik Dona, 2014, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2588/.
8. Ivanenko A.N., Ivanenko N.A., Peresypkin E.N. Inzhenernyi vestnik Dona, 2015, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2772/.
9. Piradov K.A., Guzeev E.A., Mamaev T.L., Abdullaev K.U. Beton i zhelezobeton. 1995. № 5. pp. 12-15.
10. Orlova M.A., Gnedina L.Yu., Ibragimov A.M. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2022. № 3. pp. 3-7.