

УДК 624

**ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ  
КОРОТКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК  
ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПО СЖАТОЙ ЗОНЕ**

***Снежкина Ольга Викторовна,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г.Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и  
математическое моделирование».*

***Ладин Роман Акбарович,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г.Пенза,*

*аспирант.*

***Киселев Артем Анатольевич,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г.Пенза,*

*аспирант.*

**Аннотация**

Предложена методика оценки трещиностойкости коротких железобетонных балок при изменении пролета среза от 0,25 до 1,5 на основе экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** железобетонные балки, усилия трещинообразования, регрессионный анализ.

**EVALUATION OF THE CRACK RESISTANCE OF  
A SHORT REINFORCED CONCRETE BEAMS  
WITH DESTRUCTION IN THE COMPRESSED ZONE**

***Snezhkina Olga Viktorovna,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Mathematics and mathematical modeling».*

***Ladin Roman Akbarovich,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*post-graduate student.*

***Kiselev Artem Anatolyevich,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*post-graduate student.*

## **Abstract**

Proposed method of evaluation of crack resistance of reinforced concrete short beams when you change the span of cut from 0.25 to 1.5 based on experimental data.

**Keywords:** reinforced concrete beams, the cracking effort, regression analysis.

При проектировании строительных конструкций значительной проблемой является отсутствие в нормативной литературе методики расчета трещиностойкости коротких железобетонных элементов. Ниже приведена оценка трещиностойкости коротких железобетонных балок по наклонной граничной трещине, выделяющей наклонные сжатые полосы бетона на основе экспериментальных данных, проведенных авторами [1,2]. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Рассмотрим построение модели для оценки трещиностойкости коротких железобетонных балок при разрушении по сжатой зоне на основе регрессионного анализа. Систематизация собранного материала по образованию и развитию трещин в коротких балках позволила сделать вывод о том, что одним из основных факторов, влияющих на усилие образования трещин, является пролет среза  $a/h_0$ . Характер изменения величины усилия образования трещин, в зависимости от пролета среза  $a/h_0$  показан на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

марка образцов	$a/h_0$	$\mu_s$ %	$\mu_{sw}$ %	$R_{bn}$ кг/см <sup>2</sup>	$F_{срс}$ накл. тр. кг · 10 <sup>-3</sup>	тип наклонной трещины	вид разрушения
Б—1	0,25	0,85	0	220	46	Т—О	по сжатой зоне
Б—2	0,5	0,85	0	220	45	Т—О	по сжатой зоне
Б—3	0,75	0,85	0	220	40	Т—Г	по сжатой зоне
Б—4	1,0	0,85	0	220	35	Т—Г	по сжатой зоне
Б—5	1,25	0,85	0	220	28	Т—Г	по сжатой зоне
Б—6	1,5	0,85	0	220	23	Т—Г	по сжатой зоне

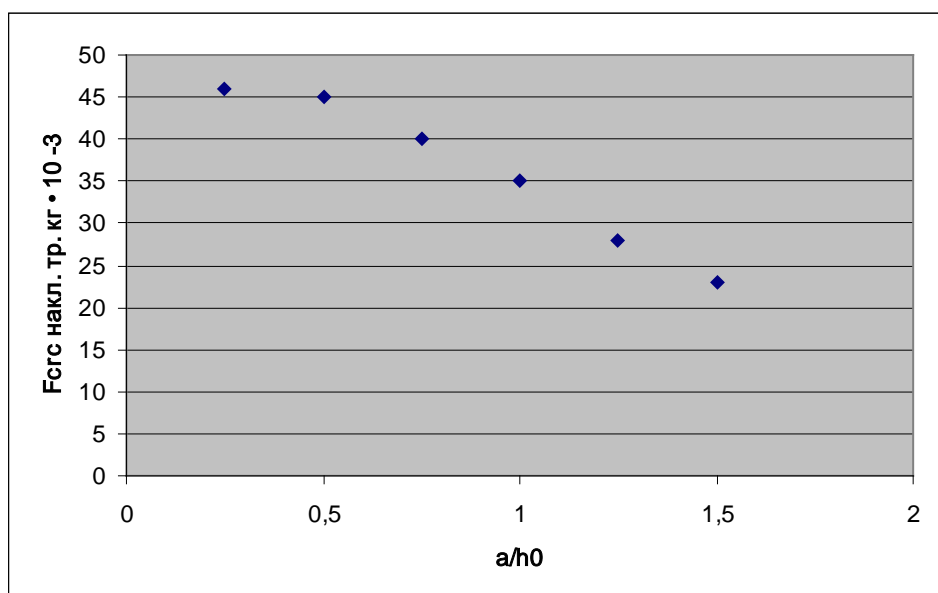


Рисунок 1 – Влияние пролета среза  $a/h_0$  на усилие образования трещин

Известно, что все множество видов функциональных связей делится на линейные и нелинейные модели. Линейные регрессионные модели являются в целом теоретически лучше обоснованными и предпочтительными из-за простоты построения. Однако, при моделировании многих физических процессов, наилучшие результаты показывают нелинейные функции. Визуальный анализ диаграммы рассеивания экспериментальных исследований (рисунок 1) позволяет выявить структуру зависимости между исследуемыми величинами и выдвинуть две гипотезы: как о существовании линейной зависимости, так и о слабой нелинейности при малых пролетах среза.

*Линейная регрессионная модель.* Определение параметров уравнения регрессии

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x \quad (1)$$

основано на методе наименьших квадратов и осуществлено в среде MS Excel в следующей последовательности: «Сервис» → «Анализ данных» → «Регрессия». Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

	L	M	N	O	P	Q	R
7	Регрессионная статистика						
8	Множествен	0,984673935					
9	R-квадрат	0,969582758					
10	Нормирован	0,961978447					
11	Стандартная	1,810024993					
12	Наблюдения	6					
13							
14	Дисперсионный анализ						
15		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
16	Регрессия	1	417,7285714	417,7285714	127,5043605	0,000350532	
17	Остаток	4	13,1047619	3,276190476			
18	Итого	5	430,8333333				
19							
20		<i>Коэффициенты стандартная ошибка-статистика</i>			<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
21	Y-пересечен	53,26666667	1,685041566	31,61148528	5,9687E-06	48,58824126	57,94509207
22	Переменная	-19,54285714	1,730714924	-11,2917829	0,000350532	-24,34809212	-14,73762216

Рисунок 2 – Вывод итогов линейной регрессии

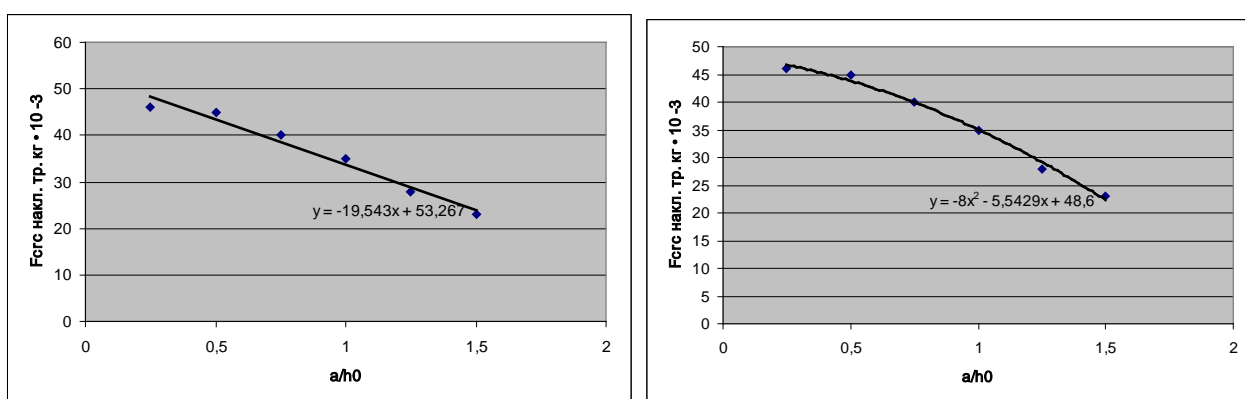
Как следует из результатов расчета (рисунок 2), полученная модель

$$\hat{y} = 53,266 - 19,543x \quad (2)$$

имеет очень высокие показатели адекватности:

- коэффициент детерминации  $R^2=0,969$ ;
- уровень значимости F-критерий составляет 0,00035 (существенно меньше 0,01);
- уровень значимости t-критерия составляет 5,9687E-06 (существенно меньше 0,01).

Таким образом, полученная линейная модель имеет очень хорошие показатели качества, но имеет существенный недостаток – не описывает нелинейность функции при малых значениях пролета среза (рисунок 3.а).



а) линейная

б) квадратичная

Рисунок 3 – Полиномиальная аппроксимация усилия образования наклонных трещин  $F_{срс}$

*Нелинейная регрессионная модель.* Определение параметров уравнения регрессии

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 \quad (3)$$

основано на методе наименьших квадратов и осуществлено аналогично в среде MS Excel (рисунок 4).

	K	L	M	N	O	P	Q
39	<i>Регрессионная статистика</i>						
40	Множественный F	0,99561348					
41	R-квадрат	0,9912462					
42	Нормированный F	0,98541033					
43	Стандартная оши	1,12122382					
44	Наблюдения	6					
45							
46	<i>Дисперсионный анализ</i>						
47		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
48	Регрессия	2	427,0619048	213,5309524	169,854167	0,000819021	
49	Остаток	3	3,771428571	1,257142857			
50	Итого	5	430,8333333				
51							
52		<i>Коэффициент стандартная оши-статистика</i>			<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
53	Y-пересечение	48,6	2,005706146	24,23086757	0,00015407	42,21694789	54,98305211
54	Переменная X 1	-5,5428571	5,248751066	-1,05603354	0,36847537	-22,24672558	11,16101129
55	Переменная X 2	-8	2,936053161	-2,7247463	0,0722597	-17,34383153	1,343831533

Рисунок 4 – Вывод итогов нелинейной регрессии

Как следует из результатов расчета (рисунок 4), полученная модель

$$\hat{y} = 48,6 - 5,543x - 8x^2 \quad (4)$$

имеет следующие показатели адекватности:

- коэффициент детерминации  $R^2=0,991$ , что на 99% объясняет изменение усилий трещинообразования при изменении пролета среза;
- уровень значимости F-критерий составляет 0,00082 (меньше 0,01), что указывает на высокую значимость модели.

Таким образом, полученная нелинейная модель (полином второй степени, рисунок 3.б) имеет высокие показатели качества. Недостаток модели – не все коэффициенты являются значимыми ( $P$ -значение больше 0,05). Однако, отбрасывание коэффициента  $\beta_1$ , как малозначимого, приведет к смещению экстремума функции, что не соответствует опытным данным, поэтому модель (4) без внесенных изменений принимаем за расчетную.

### Библиографический список:

1. Скачков Ю.П., Снежкина О.В., Кочеткова М.В., Корнюхин А.В. Определение схем разрушения и трещинообразования коротких железобетонных балок по экспериментальным данным // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 74-81.

2. Баранова Т.И., Скачков Ю.П., Снежкина О.В., Ладин Р.А. Моделирование работы коротких железобетонных балок // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2014. № 2 (36). С. 54-60.

3. Снежкина О.В., Корнюхин А.В., Кочеткова М.В. Короткие балки. Моделирование физической работы: монография. Пенза: ПГУАС, 2011. 124 с.