

УДК 624.12

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ РАЗРУШЕНИИ
ПО НАКЛОННОМУ СЕЧЕНИЮ**

Снежкина Ольга Викторовна,

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

*кандидат технических наук, доцент кафедры “Начертательная геометрия и
графика”*

Корнюхин Анатолий Владимирович,

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

кандидат технических наук, доцент кафедры “Строительные конструкции”

Булавина Дарья Андреевна

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

студент

Аннотация

На основе экспериментальных исследований оценивается влияние геометрических характеристик на прочность железобетонных балок в зоне действия поперечных сил.

Ключевые слова: железобетонные балки, геометрические характеристики, прочность, наклонное сечение.

**ESTIMATION OF INFLUENCE OF GEOMETRICAL CHARACTERISTICS
OF REINFORCED CONCRETE BEAMS AT DESTRUCTION
THE INCLINED SECTION**

Snezhkina Olga Viktorovna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Descriptive Geometry and Graphics”.

Kornyukhin Anatoly Vladimirovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Building Structures”.

Bulavina Daria Andreevna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

student.

Abstract

Based on experimental studies, the influence of geometric characteristics on the strength of reinforced concrete beams in the zone of transverse forces is estimated.

Keywords: reinforced concrete beams, geometric characteristics, strength, inclined section.

Расчетная модель определения прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов, принятая в нормативных документах имеет существенные расхождения с фактическим характером работы конструкций и требует дальнейшего развития [1]. Наибольшие расхождения между экспериментальными и расчетными значениями прослеживаются в железобетонных балках с относительным пролетом среза (a/h_0) менее 3 [2,3,4].

Ниже приводится и обосновывается связь прочности наклонного сечения изгибаемого железобетонного элемента с такими факторами как: высота балки (h_0), расстояние от опоры до линии действия сосредоточенной нагрузки (a) при изменении относительного пролета среза (a/h_0) от 1 до 3 на основе экспериментальных данных, проведенных в Американском институте бетона (ACI) [5].

Рассматриваются четыре серии испытаний железобетонных балок, проведенных профессором G.N.J. Kani (ACI). Геометрические характеристики

рассматриваемых образцов приведены в таблице 1. Все опытные образцы имеют ряд постоянных параметров, таких как: прочность бетона (280 кг/см^2), прочность и процент продольного армирования ($\mu_s=2,8\%$), ширина балок ($b=15,25 \text{ см}$). Вариационными факторами являются: высота балок ($h_0=13,5 \text{ см}$ в 1 серии, $h_0=27 \text{ см}$ во 2 серии, $h_0=54 \text{ см}$ в 3 серии, $h_0=108 \text{ см}$ в 4 серии) и расстояние от опоры до линии действия сосредоточенной нагрузки (анализировались балки со значением a от $1h_0$ до $3h_0$). Схема опытных образцов показана на рисунке 1.

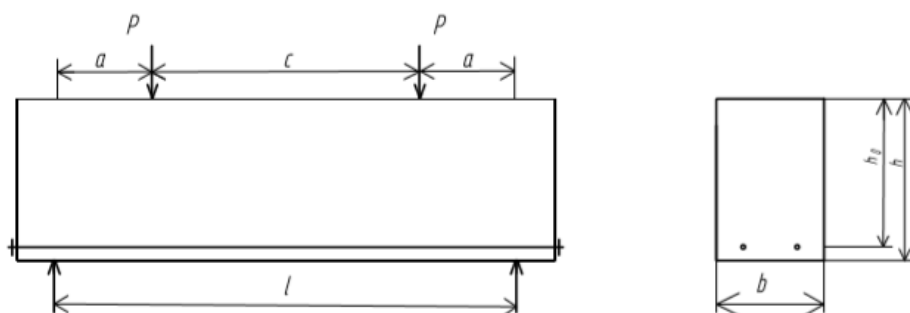


Рисунок 1 – Схема опытных образцов

Таблица 1 – Характеристики опытных образцов балок

N серии	N образца	b , см	h_0 , см	a , см	l , см	a/h_0	μ_s , %	$2F_u$, тс
I	1	15,24	14,1224	33,9852	113,665	2,41	2,6	10,49154
	2	15,113	13,2842	27,178	100,076	2,04	2,83	13,17225
	3	15,113	13,335	27,178	100,076	2	2,76	14,07943
	4	15,113	13,208	13,5636	72,8472	1,03	2,84	31,66058
	5	15,113	13,589	13,3096	72,8472	1	2,76	32,15953
	6	15,0368	13,462	40,64	127	3,02	2,89	6,645094
	7	15,4432	13,97	37,2872	120,2944	2,67	2,63	10,22845
	8	15,494	13,8684	40,6908	127,1016	2,94	2,64	8,014935
II	9	15,5956	27,1272	81,3816	254,2032	3	2,73	13,24483
	10	15,2654	26,5938	27,1272	145,6944	1,02	2,81	73,3455
	11	15,3162	27,3304	54,2544	199,9488	1,99	2,78	22,54342
	12	15,3416	27,5082	67,818	227,076	2,46	2,75	14,83239
	13	15,24	27,6352	81,534	254,508	2,95	2,68	12,74588
	14	15,3162	27,4574	67,945	227,33	2,47	2,69	15,55814
	15	15,24	27,178	67,945	227,33	2,5	2,73	15,73957
	16	15,3162	26,9748	54,356	200,152	2,02	2,74	22,81558
	17	15,6464	54,1528	108,5088	318,6176	2	2,58	33,29351

III	18	14,9606	55,245	389,89	373,38	2,46	2,82	22,9063
	19	15,6464	52,832	54,2544	210,1088	1,03	2,75	111,7192
	20	15,5194	54,229	54,2544	210,1088	1	2,67	119,3849
	21	15,494	54,4068	162,7632	427,1264	2,99	2,66	20,81978
	22	15,24	54,9148	108,712	319,024	1,96	2,7	40,14272
	23	15,24	51,7652	135,89	373,38	2,62	2,87	23,40524
IV	24	15,24	109,728	219,456	642,112	2	2,73	66,49629
	25	15,3924	109,474	273,685	750,57	2,5	2,71	48,30734
	26	15,367	109,22	327,66	858,52	3	2,72	33,65638

Для установления функциональной зависимости прочности от геометрических характеристик рассматривалась выборка из 26 образцов (при изменении относительного пролета среза a/h_0 от 1 до 3), разрушившихся в зоне действия поперечных сил.

По исходным данным (таблица 1) с помощью программной надстройки «Пакет анализа», «Регрессия» (Microsoft Excel) получили результаты регрессионной статистики, рис.2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	N	h0 см	l см	a/h0	Fu, т		ВЫВОД ИТОГОВ								
2	1	14,1224	113,665	2,41	10,4915										
3	2	13,2842	100,076	2,04	13,1723		Регрессионная статистика								
4	3	13,335	100,076	2	14,0794		Множественный R	0,907506145							
5	4	13,208	72,8472	1,03	31,6606		R-квадрат	0,823567402							
6	5	13,589	72,8472	1	32,1595		Нормированный R	0,799508412							
7	6	13,462	127	3,02	6,64509		Стандартная ошибка	13,3021193							
8	7	13,97	120,294	2,67	10,2285		Наблюдения	26							
9	8	13,8684	127,102	2,94	8,01494										
10	9	27,1272	254,203	3	13,2448		Дисперсионный анализ								
11	10	26,5938	145,694	1,02	73,3455										
12	11	27,3304	199,949	1,99	22,5434										
13	12	27,5082	227,076	2,46	14,8324		Регрессия	3	18171,24477	6057,081589	34,23117026	1,82628E-08			
14	13	27,6352	254,508	2,95	12,7459		Остаток	22	3892,820314	176,9463779					
15	14	27,4574	227,33	2,47	15,5581		Итого	25	22064,06508						
16	15	27,178	227,33	2,5	15,7396										
17	16	26,9748	200,152	2,02	22,8156										
18	17	54,1528	318,618	2	33,2935		Коэффициенты стандартной ошибки статистика								
19	18	55,245	373,38	2,46	22,9063		Y-пересечение	47,93040273	13,61709445	3,519870036	0,001929832	19,69027742	76,170528	19,6902774	76,17052803
20	19	52,832	210,109	1,03	111,719		Переменная X 1	2,04327996	0,458400491	4,457412242	0,00019737	1,092615532	2,99394439	1,09261553	2,993944388
21	20	54,229	210,109	1	119,385		Переменная X 2	-0,24691638	0,072051237	-3,426955507	0,002410994	-0,3963415	-0,0974913	-0,3963415	-0,097491264
22	21	54,4068	427,126	2,99	20,8198		Переменная X 3	-13,6154693	6,572609907	-2,071546844	0,050235918	-27,24622792	0,0152893	-27,246228	0,015289298
23	22	54,9148	319,024	1,96	40,1427										
24	23	51,7652	373,38	2,62	23,4052										
25	24	109,728	642,112	2	66,4963										
26	25	109,474	750,57	2,5	48,3073										
27	26	109,22	858,52	3	33,6564										

Рисунок 2 – Результаты регрессионной статистики

Рассчитанные коэффициенты регрессии позволяют построить уравнение, выражающее зависимость прочности железобетонных балок ($2F_u$) от высоты (h_0), длины (l) и пролета среза (a/h_0):

$$y = 47,93 + 2,04x_1 + 0,09x_2 - 0,44x_3, \quad (1)$$

где $y = 2F_u$, $x_1 = h_0$, $x_2 = l$, $x_3 = a/h_0$

и количественно оценить влияние геометрических параметров на прочность железобетонных балок при разрушении по наклонному сечению.

Характер распределения разрушающей нагрузки F_u при изменении пролета среза ($h_0=13,5$ см в 1 серии, $h_0=27$ см во 2 серии, $h_0=54$ см в 3 серии, $h_0=108$ см в 4 серии) изображен на рис.3, а усредненные опытные значения F_u приведены в таблице 2.

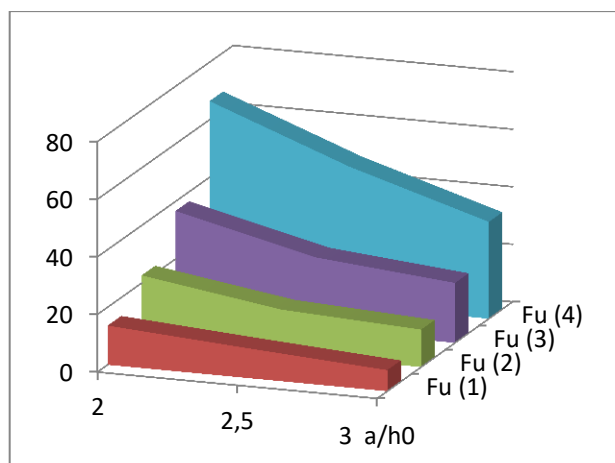


Рисунок 3 – Характер распределения разрушающей нагрузки при изменении пролета среза

Таблица 2 – Усредненные значения разрушающей нагрузки F_u

a/h_0	$2F_u$ (серия 1)	$2F_u$ (серия 2)	$2F_u$ (серия 3)	$2F_u$ (серия 4)
1	31,91	73,35	119,3849	–
2	13,62584	22,6795	36,71812	66,49629
2,5	10,36	15,3767	23,15577	48,30734
3	7,330015	12,99536	20,81978	33,65638

Оценка влияния изменения высоты железобетонных балок на прочность приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние геометрических параметров на прочность железобетонных балок при разрушении по наклонному сечению

a/h_0	F_2/F_1	F_3/F_1	F_4/F_1
1	2,298652	3,741301	–
2	1,664448	2,694741	4,880161
2,5	1,484238	2,235114	4,662873
3	1,772896	2,840346	4,591584

Выводы

1. На основе корреляционного анализа установлена связь между результативным признаком (прочность) и исследуемыми факторами (высота балки, длина балки, пролет среза). Уровень всех выявленных связей различен и состоит в следующем: связь прочность балки – высота является прямой, близкой к функциональной; связь прочность балки – длина является прямой, но очень слабой; связь прочность балки – пролет среза является прямой и умеренной.

2. При относительном пролете среза $a/h_0=1$ увеличение высоты балки в 2 раза (серия II) повышает прочность в 2,3 раза; увеличение высоты балки в 4 раза (серия III) повышает прочность в 3,7 раза.

3. При относительном пролете среза $a/h_0=2$ увеличение высоты балки в 2 раза (серия II) повышает прочность в 1,7 раза; увеличение высоты балки в 4 раза (серия III) повышает прочность в 2,7 раза; увеличение высоты балки в 8 раз (серия IV) повышает прочность в 4,9 раз.

4. При относительном пролете среза $a/h_0=3$ увеличение высоты балки в 2 раза (серия II) повышает прочность в 1,8 раза; увеличение высоты балки в 4 раза (серия III) повышает прочность в 2,8 раза; увеличение высоты балки в 8 раз (серия IV) повышает прочность в 4,6 раз.

Библиографический список:

1. Филатов, В.Б. Анализ расчетных моделей при расчете прочности наклонных сечений железобетонных балок на действие поперечных сил / В.Б. Филатов, А.С. Арцыбасов, М.А. Багаутдинов, Д.И.Гордеев, А.И. КОРТУНОВ, Р.А. НИКИТИН // Известия Самарского научного центра Российской академии наук 2014. том 16. №4(3). С.642-645

2. Снежкина, О.В. Расчет прочности железобетонных балок со средним пролетом среза/ О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин, Р.А. Ладин // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 1. С.118-122.

3. Скачков Ю.П., Снежкина О.В., Ладин Р.А. Зависимость прочности железобетонных балок от их геометрических характеристик в зоне действия поперечных сил // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 1(38). С.56-62

4. Снежкина О.В., Киселев А.А., Ладин Р.А. Регрессионная модель оценки прочности коротких железобетонных балок при разрушении по растянутой зоне [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2017. №5. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no5/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/5.13/at_download/file

5. Kani, G. N. J. How Safe Are Our Large Concrete Beams // ACI Journal Proceedings. 1967. Vol. 64. No. 3. Mar. P. 128-141.