

# СОПРОТИВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК БЕЗ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ ПРИ МЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ РАСТЯГИВАЮЩИХ УСИЛИЙ

Е. С. Матвеевко<sup>1</sup>, Н. Н. Шалобыта<sup>2</sup>, Н. В. Матвеевко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> научный сотрудник Испытательного центра, Брестский государственный технический университет, 224004 г. Брест, ул. Московская, 267, elizabeth.brenkovich@yandex.by

<sup>2</sup> проректор по научной работе, к.т.н., доцент, Брестский государственный технический университет, 224004 г. Брест, ул. Московская, 267, nnshalobyta@mail.ru

<sup>3</sup> ведущий научный сотрудник Отраслевой лаборатории «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве», к.т.н., Брестский государственный технический университет, 224004 г. Брест, ул. Московская, 267, nikifarych@yandex.ru

## Аннотация

**Предмет исследования:** сопротивление железобетонных балок без поперечного армирования при местном действии растягивающих сосредоточенных усилий (отрыва).

**Цели:** оценка зависимостей, приведенных в действующих технических отечественных и зарубежных нормативно-правовых актах, для определения сопротивления железобетонных балок без поперечного армирования при местном действии растягивающих усилий.

**Материалы и методы:** экспериментально-теоретические.

**Результаты:** выполнено экспериментальное исследование сопротивления железобетонных балок при различном положении по высоте сечения сосредоточенной силы. Выполнен сравнительный анализ действующих нормативных документов в области определения сопротивления срезу элементов без поперечного армирования.

**Выводы:** применение положений отечественных и зарубежных норм для определения сопротивления элементов без поперечного армирования при местном растяжении не вполне корректно. Необходима разработка модели, учитывающей особенности напряженно-деформированного состояния элементов подобного рода.

## ВВЕДЕНИЕ

Как известно, сопротивление срезу железобетонных балок зависит от различных факторов: прочности бетона, форм и размеров сечения элемента, схем нагружения элемента и пролета среза, а также процента продольного и поперечного армирования, степени предварительного напряжения и др. [1, 2].

Одним из наиболее важных и наименее изученных факторов является схема нагружения [3]. Как правило, балочные изгибаемые элементы нагружаются равномерно распределенной или сосредоточенной нагрузками. При этом нагрузка может быть приложена к верхней грани элемента или в пределах высоты ее сечения. Как установлено по результатам выполненных в разные годы экспериментальных исследований [2,3], разрушение изгибаемых железобетонных элементов

на приопорных участках, при этих загрузениях, может происходить либо по наклонному сечению, либо вследствие отрыва их нижней части в месте передачи нагрузки.

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Исследования влияния схемы загрузения в зависимости от положения по высоте сечения точки приложения сосредоточенной силы на картину трещинообразования балок, а также на характер их разрушения и несущую способность проводились в середине 70-х годов прошлого столетия. Оныськивым Б.Н. выделены следующие особенности разрушения балок при различных схемах загрузения [3]:

1. При расположении грузовой консоли (второстепенной/поддерживаемой) в пределах всей высоты сжатой зоны бетона или по высоте сечения, когда верхние грани консолей балок совпадают, разрушение происходит по наклонному сечению.

2. При расположении грузовой консоли в растянутой зоне бетона и в средней части сечения разрушение происходит в следствии отрыва по трещине, огибающей консоль.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования сопротивления железобетонных балок при различном положении по высоте сечения сосредоточенных сил изготовлены железобетонные однопролетные балки длиной 3000 мм и размерами сечения  $b \times h = 220 \times 500$  мм с железобетонными консолями, расположенными в разных уровнях по высоте сечения элемента [4]. Балки были запроектированы из условия обеспечения сопротивления изгибу и срезу в соответствии с СП 5.03.01-2020 [5], поперечное армирование в зоне приложения сосредоточенных сил предусмотрено не было.

Конструктивные характеристики балки представлены на рисунке 1 и таблице 1.

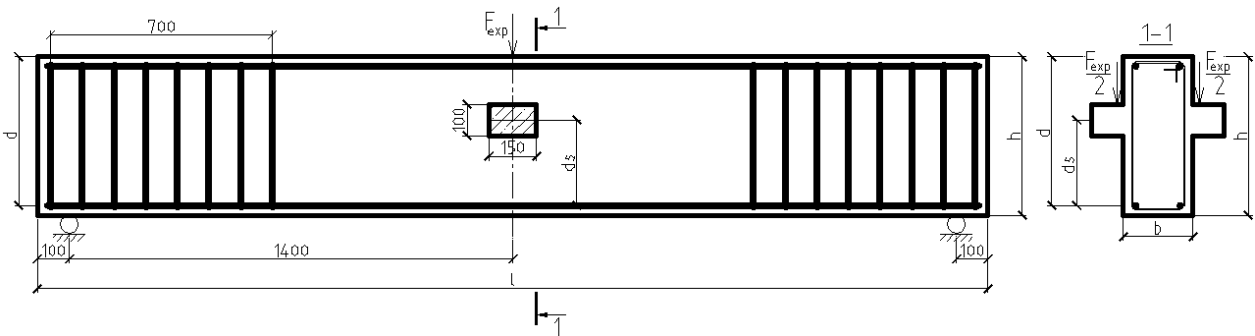


Рис. 1. Конструкция опытных балок

Табл. 1. Основные конструктивные характеристики опытных балок

Марка балок	Размеры, см			$d_s/d$	Продольная арматура		$\rho_l, \%$	$f_{cm}, \text{МПа}$
	b	h	l		нижняя	верхняя		
Б-1	22	50	300	0.55	2Ø16 S500	2Ø8 S500	0.39	42.9
Б-2				0.43	2Ø14 S500		0.30	

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разрушение обеих балок произошло в следствие отрыва нижней части образцов по трещине, огибающей консоль.

Поскольку отрыв является частным случаем среза, для оценки несущей способности опытных образцов в сравнительном анализе могут быть применены зависимости для определения сопротивления срезу элементов без поперечного армирования, приведенные в различных нормативных документах (таблица 2).

Табл. 2. Сопротивление срезу опытных образцов

Нормативный документ	Экспериментальные образцы					
	Балка Б-1			Балка Б-2		
	$V_{рас}$	$V_{exp}$	%	$V_{рас}$	$V_{exp}$	%
СП 5.03.01-2020	54,9	65	84%	56,0	60	93%
СП 63.13330.2018	36,6		56%	47,0		78%
BS 8110-1	32,7		50%	33,3		55%
CSA A233-04	44,3		68%	56,9		95%
AS 3600	38,1		59%	35,5		59%
SCE 2007	35,1		54%	35,7		59%
ModelCode 2020	30,7		45%	30,0		53%
EN 1992-1-1: 2023	58,8		90%	66,7		111%
DIN 1045-1:2008-08	45,8		70%	46,6		78%
NSZ 3101-1	49,9		77%	46,8		78%

Как показано в таблице 2, различия в величине усилий, полученных по результатам экспериментальных исследований и вычисленных в соответствии с техническими нормативно-правовыми актами составляют от 5 % до 55 %, а сопротивление балки Б-2, рассчитанное по EN 1992-1-1: 2023, оказалось выше на 11 %, чем полученное экспериментально. Необходимо отметить, что практически все зависимости построены на учете схемы загрузки равномерно распределенной нагрузкой.

При использовании ряда нормативных документов (СП 63.13330.2018, BS 8110-1, AS 3600, SCE 2007, ModelCode 2020) получена приблизительно одинаковая несущая способность обеих балок, что практически в два раза ниже экспериментальных значений. При этом следует отметить, что согласно другим нормативным документам (СП 5.03.01-2020, EN 1992-1-1: 2023, NSZ 3101-1) соотношение сопротивления балок Б-2 и Б-1 составляет от 1,15 до 1,30. Данное обстоятельство может быть объяснено особенностями учета конструктивных параметров балок таких, как коэффициент армирования, масштабный фактор, прочность бетона.

## ВЫВОДЫ

Как показывают проведенные исследования, для оценки несущей способности элементов при местном действии сосредоточенных сил, приложенных в пределах высоты сечения элемента, применение известных методик для определения сопротивления срезу элементов без поперечного армирования требуют корректировки. Выражения, приведенные в ряде нормативных документов (СП

5.03.01-2020, EN 1992-1-1: 2023), показывают неплохую сходимость с результатами экспериментальных исследований. Однако, окончательные выводы о возможности применения данных методик для балок с другими конструктивными параметрами (положением грузовой консоли по высоте сечения балки и по длине, наличия предварительного напряжения, процента продольного армирования и др.) требуется проведение дополнительных исследований.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Сасонко, Л. В. Исследование изгибаемых предварительно напряженных железобетонных конструкций с отогнутой арматурой : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Сасонко Леонид Владимирович ; Науч.-исслед. ин-т бетона и железобетона (НИИЖБ). – М., 1974. – 146 л.

2. Кривицкий, П. В. Сопротивление срезу предварительно напряженных железобетонных балок с полого отогнутыми канатами : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Кривицкий Павел Васильевич ; Брест. гос. техн. ун-т (БрГТУ). – Брест, 2016. – 167 л.

3. Оныськив, Б. Н. Исследование прочности изгибаемых железобетонных элементов на действие поперечных сил при различном положении сосредоточенных нагрузок по высоте сечения : автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.01 / Оныськив Богдан Николаевич ; Науч.-исслед. ин-т строит. кон-ций (НИИСК) – Киев, 1976. – 19 с.

4. Матвееенко, Е.С. Численное исследование поведения железобетонного балочного элемента в условиях приложения местного действия растягивающих усилий / Матвееенко Е.С., Матвееенко Н.В., Шалобыта Н.Н. // Проблемы современного строительства – 2023 : международной конференции, Минск, 23 мая 2023 г. : сборник научных статей / БНТУ. – Минск, 2023.

5. Бетонные и железобетонные конструкции : СП 5.03.01-2020. – Введ. 16.09.2020. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 244 с.