

УДК 624.012.45

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ, ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СОЕДИНЕНИЙ ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ**

**А.С. КОРОТКИЙ, Д.Х. ФАРРАН**

*(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.И. КОЛТУНОВ)*

*На основании данных, полученных при испытании изгибаемых железобетонных балок, сделаны выводы о влиянии различных типов соединений продольной и поперечной арматуры на прочность, жесткость и трещиностойкость.*

Для проверки влияния различных типов соединения продольной и поперечной арматуры на прочность, жесткость и трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов по сечениям, наклонным к продольной оси, запроектированы, изготовлены и испытаны железобетонные образцы.

**Геометрические характеристики испытываемых образцов.** В соответствии с поставленной задачей были изготовлены железобетонные балки прямоугольного сечения с размерами  $b = 140$  мм,  $h = 300$  мм, пролет баки  $L$  равен 1750 мм в количестве четырех штук. Объектами исследования, которые влияют на данные, полученные в ходе эксперимента, приняты различные виды соединения продольной и поперечной арматуры (“сварное”, “равнопрочное”) (рис. 1):

1. “сварное”, выполненные при помощи контактно-точечной сварки с предварительным подбором режима;
2. “равнопрочные”, в виде замкнутых хомутов, огибающих продольную арматуру.



***a* – соединение 100% прочности; *b* – замкнутые хомуты**

**Рисунок 1. – Виды различных соединений продольной и поперечной арматуры в изгибаемых железобетонных балках**

Геометрические характеристики экспериментальных балок с различными типами соединения продольной и поперечной арматуры представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Геометрические характеристики балок и типы соединения арматуры

№	Наименование	Размеры, мм			Тип соединения
		<i>b</i>	<i>h</i>	<i>l</i>	
1	Бм-1	139,8	300,5	1754,4	Сварные хомуты 100%
2	Бм-3	138,9	300,8	1753,2	
3	Бм-2	140	298,5	1753,5	Замкнутые хомуты
4	Бм-4	140,2	301,5	1752,6	

**Физико-механические свойства бетона, изготовленного в ходе эксперимента.** В соответствии с [3] во время бетонирования экспериментальных балок были изготовлены призмы с размерами 100x100x400мм в количестве одной штуки на балку и кубы размерами 100x100x100мм в количестве трех штук на одну балку. Физико-механические характеристики бетона по результатам испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Физико-механические характеристики бетона, использованного для изготовления экспериментальных балок

Кубиковая прочность бетона $f_{c,cube}$ , МПа	Призменная прочность бетона $f_{ck}$ , МПа	Прочность на растяжение $f_{ctk}$ , МПа	Модуль упругости бетона $E_c$ , МПа
29.8	23.6	3.2	32175

**Физико-механические свойства арматуры, использованной в ходе эксперимента.** Продольное армирование выполнено стержнями диаметром 10, 12, 18 мм из стали класса S500. В качестве поперечных стержней использовалась бунтовая проволочная арматура периодического профиля класса S500 диаметром 6 мм.

Произведен подбор режима контактно-точечной сварки, обеспечивающие при испытаниях крестообразных соединений на срез усилие, равное 100% от разрывного усилия хомутов. Прочность сварных соединений при испытаниях на срез в целом возрастает как с увеличением осадки, так и с повышением жесткости режима, что соответствует общепринятым представлениям.

Арматурные изделия выполнены без коррозионных повреждений.

Замкнутые хомуты для арматурных изделий, были выполнены без каких-либо отклонений. Расположение продольной арматуры в замкнутых хомутах также было выполнено без отклонений.

Физико-механические характеристики арматуры определялись по результатам испытания образцов на разрывной машине в соответствии с [1]. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3 Физико-механические характеристики арматуры, использованной в экспериментальных балках.

Нормативное сопротивление арматуры $f_{yk}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Расчетное сопротивление арматуры $f_{yd}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Расчетное сопротивление поперечной арматуры $f_{ywd}$ , Н/мм <sup>2</sup>	
		вязаные каркасы	сварные каркасы
555	504,5	403,6	363,3

**Испытания железобетонных балок.** Испытания опытных балок проводились с использованием силового пола лаборатории. Нагружение производилось гидравлическим домкратом, как показано на рисунке 3.

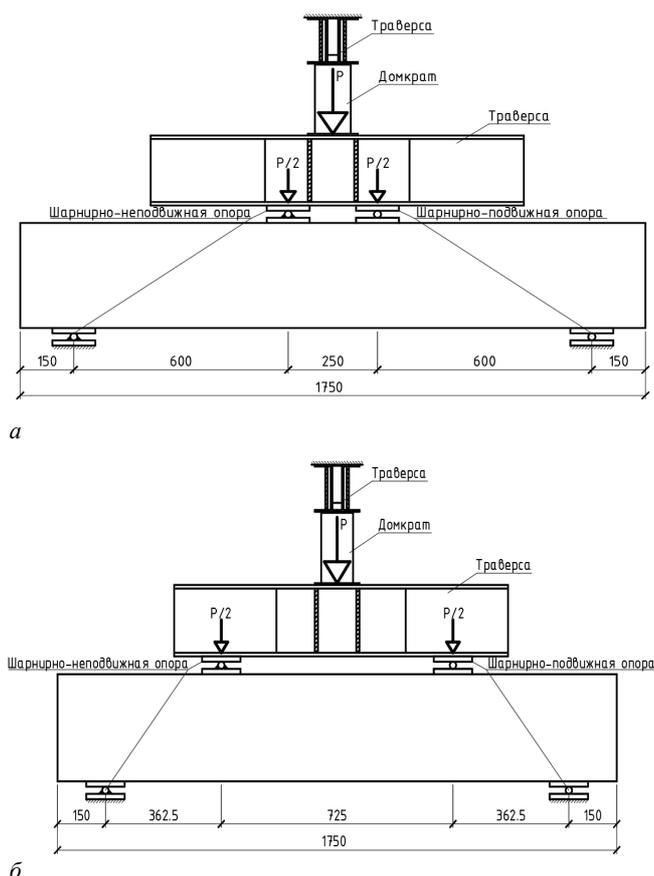


Рисунок 3. – Общие схемы испытания железобетонных балок: *а* – Схема испытания балок Бм-1, Бм-2; *б* – Схема испытания балок Бм-3, Бм-4

Нагрузка на балки передавалась через распределительную траверсу и систему цилиндрических опор в виде двух сосредоточенных, симметрично расположенных относительно опор сил. Расстояние

между точками приложения сил принято постоянным, равным 250 мм, либо 725 мм (рис. 3). Нагрузка контролировалась по шкале манометра насосной станции.

Нагружение проводилось при кратковременном режиме ступенчатого увеличения нагрузки на 10% от расчетной с выдержкой на постоянном уровне каждой ступени в течении 10 минут. В стадиях, предшествующих образованию трещин и исчерпанию несущей способности, размер ступени нагружения уменьшался вдвое.

В процессе испытаний конструкций проводились измерения: усилий образования и раскрытия трещин; ширины раскрытия и длины трещин; прогибов в середине пролета балок.

Ширина раскрытия наклонных трещин измерялась в местах пересечения ими стержней поперечной арматуры при помощи микроскопа МПБ-2 с точностью 0.05 мм.

Измерения деформаций балок проводились с точностью 0.01 мм прогибомерами 6ПАО. Отсчеты по измерительным приборам регистрировались до и после приложения очередной ступени нагрузки. Измерения наиболее важных параметров деформирования проводились до нагрузок, соответствующих предельной несущей способности конструкции, что определялось по максимальному показанию контрольной стрелки манометра.

**Анализ данных, полученных в ходе эксперимента.** При нагружении опытных образцов в соответствии с принятой методикой испытаний напряженно-деформированное состояние их приопорных участков характеризуется последовательным образованием и раскрытием нормальных и наклонных трещин, конфигурация которых определялась различием конструктивных особенностей конкретных образцов.

При начальных стадиях загрузки образовывались преимущественно нормальные трещины, как в середине балки, так и на участках совместного действия изгибающего момента и поперечной силы в приопорных зонах.

Максимальная длина и ширина раскрытия этих трещин были примерно одинаковыми во всех балках. Заметного влияния вида поперечного армирования на усилие трещинообразования при этом не наблюдалось. С увеличением нагрузки появлялись новые трещины в пролетах среза, образовавшиеся на растянутой грани. Сначала они были перпендикулярны к продольной оси элемента, а затем изменяли направление к точке приложения силы. После появления наклонных трещин заметно приостанавливался процесс развития трещин в зоне чистого изгиба. При дальнейшем увеличении нагрузки развитие наклонных трещин прогрессировало, и их длина превышала длину нормальных. При уровне нагружения после образования главной наклонной трещины развитие других трещин или замедлялось или прекращалось.

На количество образовавшихся наклонных трещин в процессе загрузки не оказали влияние тип соединения продольной и поперечной арматуры.

Измерениями ширины раскрытия трещин определено, что максимальное раскрытие имели трещины, пересекающие поперечные стержни, расположенные в середине длины пролета среза балок. Зависимость ширины раскрытия трещин и прогибов от нагрузки представлены на рисунке 4.

Разрушение опытных образцов Бм-1 и Бм-2 происходило по нормальным сечениям в результате раздробления бетона сжатой зоны.

Балка БМ-3 со «сварным» соединением поперечных стержней разрушалась при нагрузках меньших, чем балки с «замкнутыми» соединениями. Усилия, соответствующие ширине наклонных трещин равной 0.4мм были получены на уровне 60–90% от разрушающей нагрузки.

Фактическая несущая способность превышает теоретическую. Это значит, что существующие методики расчета конструкций по наклонным сечениям не позволяют в полном объеме использовать возможности конструкций.

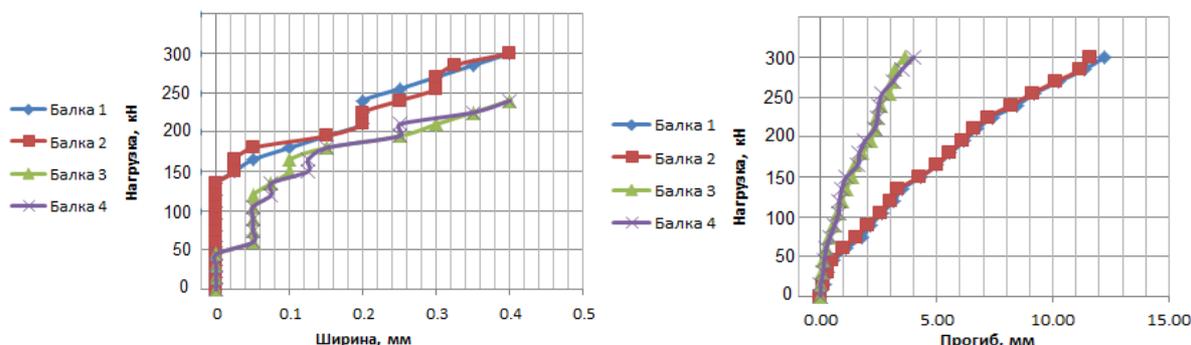


Рисунок 4. – Графики зависимости изменения ширины раскрытия трещин и прогиба от нагрузки

Значение разрушающих и расчетных нагрузок представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Фактическая прочность испытуемых образцов

№	Наименование	Поперечные силы, кН			Тип разрушения
		Разрушающая	При трещине 0,3 мм	Расчетная	
1	Бм-1	160,5	150,5	84,6	По сжато-му бетону
2	Бм-2	172,5	139,8	94	
3	Бм-3	237,5	153,5	84,6	По наклонному сечению
4	Бм-4	248,7	139,5	94	

#### Выводы:

1. Из изложенного материала можно сформулировать основные выводы, что различные виды соединения не оказывает значительного влияния на прочность, жесткость и трещиностойкость.

2. Несущая способность экспериментальных балок, полученная при испытании, превысила расчетную в 1,9–2,8 раза, что говорит о том, что нынешние общие методички расчета конструкций по наклонным сечения дает большой запас прочности, что влияет на экономичность конструкций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 45 с.
2. ГОСТ 14098-91. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. -М.: Стройиздат, 1992. – 32 с.
3. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 45 с.
4. ТКП EN 1992-1-1-2009\* (02250). Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Введ. 2009-12-10. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2015. – 205 с.
5. Панасюк В.В. Влияние параметров сварки продольной и поперечной арматуры на работу продольных к наклонной оси сечений железобетонных балок: Дис.маг. техн. наук. Новополоцк. -2011. -71с.
6. Мамедов Т.И., Алиев Р.Д. Учет продольной арматуры в оценке прочности наклонных сечений. Бетон и железобетон. - 1984. – 32–33 с.
7. Хуссам Сабри М.Х. Прочность, жесткость и трещиностойкость изгибаемых элементов с различными типами соединения продольной и поперечной арматуры. дис. маг. техн. наук. Новополоцк. -2019. – 39с.