

DOI: 10.12737/article\_58e61337b86486.82545138

**Обернихин Д.В., ассистент**  
**Никулин А.И., канд. техн. наук, доц.**  
**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

pinky2601@mail.ru

Приведены результаты выполненных экспериментальных исследований деформативности железобетонных балок прямоугольного, трапециевидного и таврового поперечных сечений. Представлены основные характеристики исследуемых железобетонных балок. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов. Сделаны выводы о различных деформативных свойствах железобетонных балок рассматриваемых поперечных сечений.

**Ключевые слова:** деформативность, трапециевидное сечение, прогиб, тавровое сечение, прямоугольное сечение, изгибаемый железобетонный элемент.

Для оценки влияния формы поперечного сечения на деформативность изгибаемых железобетонных элементов авторами были разработаны необходимые методики и алгоритмы, позволившие выполнить соответствующие численные исследования [1, 2, 3]. С целью апробирования разработанных методик авторами были проведены эксперименты [4] на специально выполненных железобетонных образцах. Было изготовлено 12 балок различных поперечных очертаний: 3 балки прямоугольного (БП), 3 балки таврового (БТ) и по 3 балки трапециевидного сечения с широкой верхней (БТВ) и нижней (БТН) гранями (рис. 1). Размеры поперечных сечений образцов были приняты такими, чтобы объем бетона в балках трапециевидного сечения оказался на 25 % меньше, чем в обычных балках серии БП.

Бетонирование балок одного вида происходило за один замес бетонной смеси. Из каждого замеса было также изготовлено по 4 контрольных образца-куба с размерами граней по 100 мм. Испытания контрольных образцов показали, что всем балкам соответствует бетон класса В22,5. Геометрические размеры и схема армирования балок приведены на рис. 1. В качестве нижней рабочей арматуры использована арматура диаметром 12 мм класса А500, верхняя продольная арматура диаметром 8 мм класса А400, поперечные стержни – диаметром 5 мм класса Вр500. Арматура подбиралась таким образом, чтобы коэффициент армирования для балок прямоугольного сечения составлял  $\approx 1\%$ . Толщина защитного слоя бетона для верхней и нижней арматуры принята 20 мм.

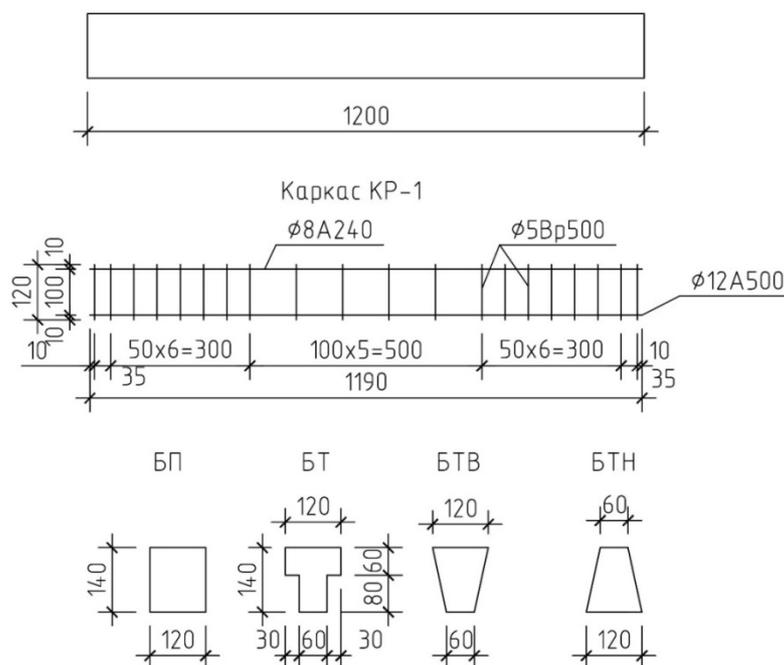


Рис. 1. Геометрические размеры и схема армирования балок БП, БТ, БТВ и БТН

Для проведения экспериментальных исследований была использована универсальная испытательная установка, описанная в работе [4].

Её основу составляет испытательный стенд, представленный в работе [5], с небольшими доработками конструкции (рис. 2).

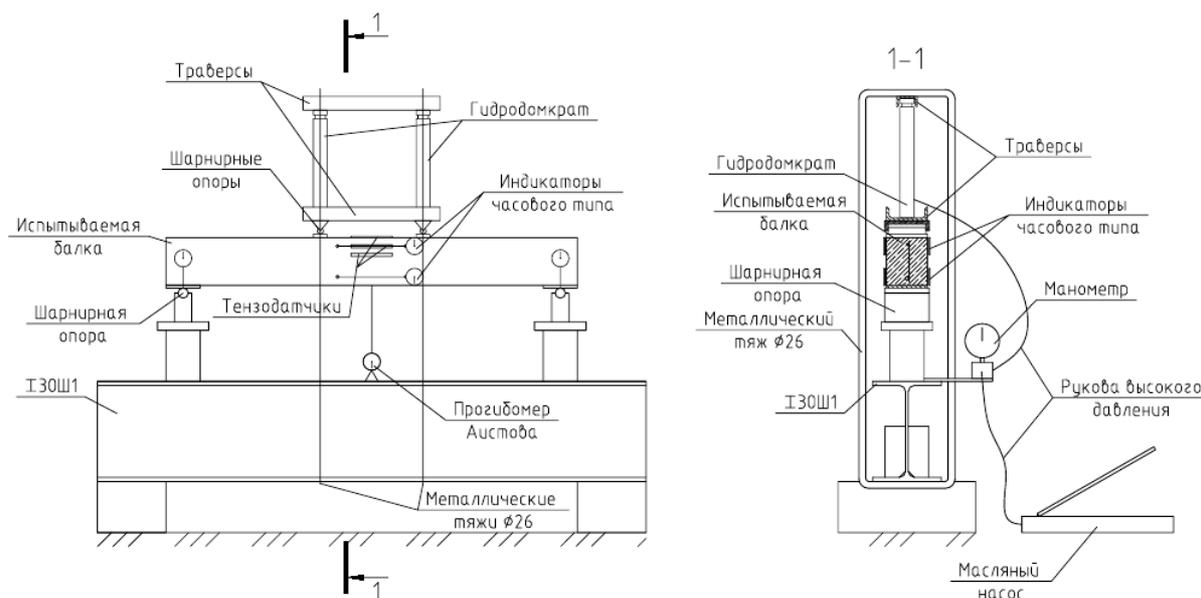


Рис. 2. Схема универсальной испытательной установки с установленной железобетонной балкой и измерительными приборами

В качестве силовых элементов использовались гидравлические 15-ти тонные домкраты. Для определения прогибов на испытательной установке в середине пролета балки был предусмотрен прогибомер Аустоба. С целью контроля за податливостью опорных участков балок устанавливались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Передача усилий от домкратов на балку происходила через стальные тяжи диаметром 26 мм. Для контроля равномерности приложения нагрузки на тяжи были установлены тензодатчики. Контроль за величиной нагрузки осуществлялся манометром высокой

точности. Общий вид испытательной установки приведен на рис. 3.

Нагрузка к каждой опытной балке прикладывалась ступенями с шагом не более 10 % от расчетной разрушающей нагрузки. На каждой ступени нагрузка выдерживалась 10 минут. Также необходимо отметить, что при определении величины нагрузки учитывался собственный вес балок. В начале и в конце каждой ступени производилась запись показаний прогибомера и индикаторов часового типа, закрепленных на опорах.



Рис. 3. Испытательная установка с установленным образцом

Результаты, полученные в ходе проведения экспериментальных исследований рассматриваемых образцов, приведены в табл. 1

Таблица 1

## Результаты экспериментальных исследований железобетонных балок

Вид опытной балки	№ образца	Прогиб балки (мм) при нагрузке (кН)			Средний прогиб балки (мм) при нагрузке (кН)		
		16	24	32	16	24	32
Прямоугольное сечение (серия БП)	1	1,76	3,17	4,58	1,76	3,23	4,91
	2	1,77	2,78	4,59			
	3	1,76	3,73	5,55			
Тавровое сечение (серия БТ)	1	2,11	3,00	5,80	2,09	3,46	5,57
	2	2,18	3,83	5,86			
	3	1,99	3,55	5,05			
Трапецевидное сечение с верхней широкой гранью (серия БТВ)	1	1,83	3,20	4,60	2,19	3,66	5,17
	2	2,15	3,40	4,96			
	3	2,59	4,39	5,94			
Трапецевидное сечение с нижней широкой гранью (серия БТН)	1	2,38	4,07	6,25	2,41	4,01	6,05
	2	2,46	4,16	6,15			
	3	2,38	3,80	5,76			

На основании результатов, представленных в табл. 1, можно сделать следующие выводы:

- при фиксированных нагрузках 16,0 кН, 24,0 кН и 32,0 кН прогибы трапецевидных балок серии БТВ по сравнению с образцами прямоугольного сечения оказались больше, соответственно, на 24,43 %, 13,31 % и 5,1 %. Прогибы у балок серии БТН при тех же фиксированных нагрузках увеличились, соответственно, на 36,93 %, 24,14 % и 23,46 % по отношению к эталонным образцам прямоугольного сечения, что объясняется более ранним началом процесса трещинообразования в растянутой зоне бетона балок трапецевидного сечения с нижней широкой гранью;

- величины прогибов у балок серии БТ при нагрузках 16 кН, 24 кН и 32 кН оказалась больше, чем у эталонных балок прямоугольного сечения БП на 18,75 %, 7,12 % и 13,44 %, соответственно;

- при нагрузках 16 кН и 24 кН прогибы балок серии БТВ на 4,63 % и 5,87 % выше, чем у балок таврового сечения (БТ). При дальнейшем увеличении нагрузки динамика роста прогибов балок серии БТВ становится существенно меньше, чем у балок серии БТ, и уже при нагрузке 32 кН среднее значение прогибов у трапецевидных балок серии БТВ становится меньше на 7,74 %, чем у балок серии БТ. Это обуславливается тем, что при нагружении балок серии БТВ процесс образования в их растянутой зоне новых трещин достаточно быстро затухает, и при дальнейшем увеличении нагрузки происходит увеличение высоты и ширины раскрытия

существующих трещин. При нагружении балок серии БТ процесс образования в них новых трещин затухает намного позже, что приводит к образованию существенно большего количества новых трещин на поздних стадиях нагружения и, соответственно, к повышенным прогибам по сравнению с балками других серий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никулин А.И., Обернихин Д.В. Деформативность изгибаемых железобетонных элементов трапецевидного сечения с трещинами в растянутой зоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 88–93.

2. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Предельная прочность изгибаемых железобетонных элементов на основе применения энергетического критерия разрушения бетона // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений. Курск: Изд-во Курск. гос. ун-та, 2014. С. 98–107.

3. Никулин А.И. К уточнению величин предельных относительных деформаций бетона в сжатой зоне изгибаемых железобетонных элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 12–15.

4. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Экспериментальные исследования прочности, трещиностойкости и деформативности железобетонных балок трапецевидного и прямоугольного поперечных сечений // Инновационная наука. 2016. № 8–2. С. 73–77.

5. Крючков А.А. Деформативность сборно-

монолитных стержневых конструкций: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Крючков Ан-

дрей Александрович; БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2006. 21 с.

---

**Nikulin A.I., Obernihin D.V.**

**THE EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE DEFORMABILITY OF THE BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH THE VARIOUS CROSS SECTIONS**

*The results of the carried out experimental researches of the deformability reinforced concrete beams with the rectangular, trapezoidal and T-section cross sections are shown. The main characteristics of the investigated reinforced concrete beams are presented. A comparative analysis of the results is performed. The conclusions about the various deformative properties of the reinforced concrete beams of the considered cross-sections are made.*

**Key words:** *deformability, trapezoidal section, deflection, T-section, rectangular section, bending reinforced concrete element.*

---

**Обернихин Дмитрий Вячеславович**, ассистент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: pinky2601@mail.ru

**Никulin Александр Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: nikulin137@yandex.ru