

Д. С. ТОШИН  
Е. Э. ХУТОВА  
Ю. В. АСТАЕВА

## ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ БЕТОНЕ ЗАВОДА ЖБИ

### STRENGTH AND STIFFNESS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS MADE ON EXPERIMENTAL COMPOSITION OF A CONCRETE GOODS PLANT

Одним из направлений оптимизации в деятельности заводов стройиндустрии является совершенствование составов бетонных смесей, что требует проведения контрольных мероприятий по оценке показателей, обеспечивающих надежность эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций. Прочность бетона в стандартных контрольных образцах-кубах при этом выступает главным параметром, определяющим перспективность вносимых изменений в производство. В данной работе представлены результаты комплексной оценки экспериментального бетона на кубах, призмах и железобетонных балках, которые показали снижение показателей жесткости при применении экспериментального состава.

**Ключевые слова:** бетон, состав бетона, прочность, жесткость, железобетон, балка, изгибаемый элемент, эксперимент

Деятельность заводов железобетонных изделий (ЖБИ) как субъектов рыночных отношений направлена на сокращение издержек при производстве и реализации бетонной смеси и сборных железобетонных элементов. Одним из направлений снижения расходов действующих производств является работа по подбору оптимальных составов бетонных смесей [1–4]. Основная цель оптимизации заключается в подборе такого состава, при котором обеспечивается максимальное значение прочности при минимальном расходе цемента как наиболее дорогостоящего компонента бетонной смеси.

В лабораториях заводов ЖБИ при выполнении подобных исследовательских работ в первую очередь оценивается прочность бетона по контрольным образцам. При этом известно, что к готовому железобетонному изделию предъявляются не только требования прочности, конструкция должна удовлетворять также условиям жесткости и трещиностойкости [5–8]. Целью данного исследования является экспериментальная оценка прочности и жесткости изгибаемых железобетонных элементов, изго-

*One of the options for optimization in the activities of the construction industry plants is the improvement of the composition of concrete mixtures, which requires control measures to assess indicators that ensure the reliability of operation of concrete and reinforced concrete structures. The strength of concrete in standard control cubes is at the same time the dominant parameter that determines the prospects of changes in production. The presented work presents the results of a comprehensive assessment of experimental concrete on cubes, prisms and reinforced concrete beams.*

**Keywords:** concrete, concrete composition, strength, stiffness, reinforced concrete, beam, bending element, experiment

товленных из экспериментального бетона завода ЖБИ.

Отличительной особенностью экспериментального состава бетонной смеси является применение поликарбонатного суперпластификатора с относительно повышенным расходом (до 1,5 %) и разнофракционного песка, обеспечивающих более компактную компоновку инертных в структуре бетона, уменьшение пористости и пониженный расход цемента при сохранении прочностных свойств. В качестве крупного заполнителя применялся известняковый щебень марки 600 фракции 5–20 мм, в качестве вяжущего – портландцемент марки 500. Классический бетон изготавливался из того же крупного заполнителя и цемента, но с применением мелкого волжского песка с модулем крупности около 1,2. Расход поликарбоната при этом устанавливался существенно ниже – до 0,5 %. В связи с имеющимися отличиями в составе бетонной смеси расход воды при подготовке экспериментального состава назначался примерно в два раза меньше при сохранении одинаковой подвижности (осадка конуса 16–18 см).

В качестве опытных образцов было изготовлено две серии балок. Первая серия выполнялась на бетоне классического состава (далее – серия с индексом «К»), вторая серия – на экспериментальном бетоне завода ЖБИ (далее – серия с индексом «Э»). Для определения кубиковой прочности бетона каждого состава было изготовлено по два образца-куба стандартных размеров. Также было подготовлено по две призмы стандартных размеров из каждого состава бетона для установления призмной прочности и модуля упругости (табл. 1).

Планирование эксперимента предусматривало, что прочность бетона с классическим и экспериментальным составом в балках будет ориентировочно равной. Фактически при испытании образцов кубов получены следующие результаты: кубиковая прочность бетона на классическом составе – 54,4 МПа; на экспериментальном составе – 63,9 МПа (ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»). Призмная прочность для бетона серии «К» и серии «Э» – 48,7 и 50,8 МПа; вычисленные по экспериментальным данным значения модуля упругости 35550 и 33700 МПа соответственно (ГОСТ 24452-80 «Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона»). Таким образом, в бетоне экспериментального состава был отмечен меньший показатель модуля упругости (на 5 %) при большей прочности бетона.

При проектировании опытных балок назначались следующие размеры: общая длина 1560 мм, расчетный пролет при испытании (от опоры до опоры) 1500 мм, размеры сечения  $b \times h = 120 \times 140$  мм. Железобетонные балки армировались пространственными каркасами двух типов. В средней трети пролета, в которой при испытании создавалась зона чистого изгиба, армирование предусматривалось только

в растянутой зоне: в балках Б10к и Б10э – два стержня диаметром 10 мм класса А400 (тип армирования А1), в балках Б8к и Б8э – два стержня диаметром 8 мм класса А400 (тип армирования А2). Все варианты армирования элементов предусматривали пластический характер разрушения. Фактические размеры образцов имели отклонения от проектных параметров: до 5 % по ширине и высоте сечения, до 7 % по рабочей высоте сечения.

Нагружение железобетонных балок проводилось на испытательном стенде с помощью гидравлического домкрата и с определением величины нагрузки динамометром ДОС-5. Через распределительную траверсу нагрузка прикладывалась на образец в виде двух сосредоточенных сил. Измерения деформаций бетона и арматуры выполнялись в средней трети пролета – в зоне постоянного изгибающего момента и при отсутствии поперечной силы. Предусматривалась следующая расстановка приборов и запланированные измерения:

- прогибомеры 6-ПАО с ценой деления 0,01 мм в середине пролета и на опорах – для определения прогиба балки с учетом осадки опор;
- тензометры Гугенбергера (2 шт.) с ценой деления 0,001 мм на верхней грани балок – для определения деформаций бетона на крайнем сжатом волокне;
- мессуры (2 шт.) на каждый арматурный стержень через приваренные резьбовые втулки на основе индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм при базе измерения 300 мм – для определения средних деформаций арматуры.

Опоры устанавливались как для свободно опертой балки: с одной стороны шарнирно неподвижная опора, с другой стороны шарнирно подвижная опора.

Нагружение балок выполнялось ступенями с выдержкой на каждой ступени. Величина нагрузки на каждой ступени назначалась около 5 % от теоретической разрушающей нагрузки

Таблица 1

Количество образцов опытных кубов, призм, балок

Наименование (шифр) образца, размеры, мм		Тип состава бетонной смеси	Тип армирования	Количество образцов, шт.
Куб 150×150×150		К	-	2
		Э	-	2
Призма 600×150×150		К	-	2
		Э	-	2
Балка 1560×120×140(н)	Б10к	К	А1	1
	Б8к	К	А2	1
	Б10э	Э	А1	1
	Б8э	Э	А2	1

до образования трещин и около 10 % – после образования трещин. На каждой ступени производилось снятие отсчетов с приборов.

За разрушение испытуемых балок принималась величина изгибающего момента, при котором усредненные по двум мессурам значения относительных деформаций продольной арматуры в растянутой зоне достигали  $200 \cdot 10^5$ , что соответствует физическому пределу текучести стальной арматуры класса А400. После достижения указанных значений в арматуре растянутой зоны отмечался интенсивный прирост деформаций по всем установленным приборам на каждом шаге приращения нагрузки, что характерно для пластического характера разрушения изгибаемых элементов.

В результате экспериментальных исследований балок двух вариантов армирования получены данные, свидетельствующие о снижении прочности балок и повышении их деформативности при использовании экспериментального бетона в сравнении с параметрами, установленными в балках из бетона классического

состава (табл. 2). Прочность балок Б10э и Б8э меньше на 3 и 12 %, чем в балках Б10к и Б8к соответственно. Прогибы балок при достижении деформациями в арматуре растянутой зоны физического предела текучести отличаются незначительно – на 2–3 %, деформации бетона сжатой зоны практически не отличаются в балках с разным составом бетона.

При сопоставлении деформативных свойств балок при условном эксплуатационном уровне нагружения, назначенном в исследовании как  $0,6 \cdot M_{ult}$  получены данные, свидетельствующие о более существенном расхождении прогибов, деформаций бетона и арматуры. В балках серии Б10э прогиб превысил на 11 % прогибы в балках серии Б10к, деформации бетона и арматуры оказались больше на 9 и 7 %. При меньшем проценте армирования балок получены более существенные снижения жесткости изгибаемых элементов: в балках серии Б8э прогиб составил 122 % по сравнению с балкой Б8к, деформации бетона и арматуры – 106 и 130 % соответственно.

Таблица 2

## Экспериментальные данные о деформациях опытных балок

Шифр образца	Изгибающий момент М		Прогиб $f$		Деформации бетона в сжатой зоне $\epsilon_s \cdot 10^5$		Деформации арматуры в растянутой зоне $\epsilon_s \cdot 10^5$	
	кН·м	%	мм	%	без размерности	%	без размерности	%
При $M = M_{ult}$ ( $\epsilon_s = 200 \cdot 10^5$ )								
Б10к	6,07	100	<b>6,13</b>	100	<b>107,0</b>	100	<b>200,0</b>	100
Б10э	5,88	97	<b>6,26</b>	102	<b>103,8</b>	97	<b>200,0</b>	100
Б8к	4,82	100	<b>6,16</b>	100	<b>86,6</b>	100	<b>200,0</b>	100
Б8э	4,22	88	<b>6,33</b>	103	<b>85,9</b>	99	<b>200,0</b>	100
При $M = 0,6 \cdot M_{ult}$ $M_{ult}$ принят для балок из классического бетона								
Б10к	3,64		<b>2,79</b>	100	<b>98,0</b>	100	<b>54,1</b>	100
Б10э	3,64		<b>3,09</b>	111	<b>106,7</b>	109	<b>58,0</b>	107
Б8к	2,89		<b>2,19</b>	100	<b>79,3</b>	100	<b>41,1</b>	100
Б8э	2,89		<b>2,67</b>	122	<b>83,8</b>	106	<b>53,5</b>	130

**Выводы.** 1. При более высокой прочности в бетоне экспериментального состава получен модуль упругости на 5 % ниже, чем в классическом составе, что характеризует бетон экспериментального состава как более деформативный.

2. Прочность и жесткость балок из бетона экспериментального состава оказалась ниже, чем прочность и жесткость балок из бетона классического состава.

3. При уровне нагружения  $M=0,6 \cdot M_{ult}$  отмечено увеличение прогибов балок на 11 и 22 %

для серий Б10э и Б8э по сравнению с сериями Б10к и Б8к соответственно.

4. При оптимизации составов бетонной смеси необходимо контролировать не только прочностные показатели по контрольным образцам-кубам, но и модуль упругости.

5. Испытания доказали обоснованность применения комплексных многофакторных экспериментальных исследований на бетонных и железобетонных образцах при внесении изменений в состав бетонных смесей, применяемых при изготовлении железобетонных конструкций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калашиников В.И., Тараканов О.В. О применении комплексных добавок в бетонах нового поколения // Строительные материалы. 2017. № 1–2. С. 62–67.
2. Селяев В.П., Низина Т.А., Балбалин А.В. Многофункциональные модификаторы цементных композитов на основе минеральных добавок и поликарбоксилатных пластификаторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. Волгоград, 2013. Ч. 2. Вып. 31(50). С. 156–163.
3. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор состава центрифугированного бетона на тяжелых заполнителях // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 52–57. DOI: 10.12737/article\_59cd0c5972afe5.94172861.
4. Ярцев В.П., Репина Е.И., Шеверда В.В. Влияние зернового состава наполнителей из асбестоцементных отходов на физико-механические характеристики цементно-песчаного бетона // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2018. Т. 24, № 1. С. 165–171. DOI: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.165-171.
5. Пименов С.И., Ибрагимов Р.А. Влияние минералогического состава цемента при его активации на физико-технические свойства тяжелого бетона // Строительные материалы. 2017. № 8. С. 64–67.
6. Величко Е.Г., Шумилина Ю.С. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 2. С. 235–243. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.
7. Наруть В.В., Ларсен О.А. Самоуплотняющиеся бетоны на основе бетонного лома сносимых жилых зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 2. С. 52–58. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.02.52-58.
8. Красиникова Н.М., Кириллова Е.В., Хозин В.Г. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов // Строительные материалы. 2020. № 1–2. С. 56–65. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65.

## REFERENCES

1. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V. About the use of complex additives in concretes of a new generation. *Stroitelnye materialy* [Construction Materials Russia], 2017, no. 1-2, pp. 62-67. (in Russian)
2. Selyaev V.P., Nizina T.A., Balbalin A.V. Multifunctional modifiers of concrete composites based on mineral additives and polycarboxylate plasticizers. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta Seriya Stroitelstvo i arkhitektura* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture], part II, 2013, no. 31(50), pp.156-163. (in Russian)
3. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M. Selection of the composition of cen-

trifuged concrete on heavy fillers. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im V G Shukhova* [The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov], 2017, no. 10, pp. 52-57. (in Russian) DOI: 10.12737/article\_59cd0c5972afe5.94172861.

4. Yartsev V.P., Repina E.I., Sheverda V.V. The effect of the grain structure of asbestos-cement waste fillers on physical and mechanical properties of cement-sand concrete. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Transactions of the TSTU], 2018, no. 24(1), pp. 165-171. (in Russian) DOI: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.165-171.

5. Pimenov S.I., Ibragimov R.A. Influence of mineralogical composition of cement when activating it on physical-technical properties of heavy concrete. *Stroitelnye materialy* [Construction Materials Russia], 2017, no. 8, pp. 64-67. (in Russian).

6. Velichko E.G., Shumilina Y.S. To the problem of forming the high-strength concrete dispersed composition and properties. *Vestnik MGSU* [VESTNIK MGSU (Monthly Journal on Construction and Architecture)], 2020, no. 15(2), pp. 235-243. (in Russian). DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.

7. Naruts V.V., Larsen O.A. Self-compacting concrete on the basis of concrete scrap of demolished residential buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2020, no. 2, pp. 52-58. (in Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.02.52-58.

8. Krasinikova N.M., Kyrillova E.V., Khozin V.G. Reuse of concrete waste as input products for cement concretes. *Stroitelnye materialy* [Construction Materials Russia], 2020, no. 1-2, pp. 56-65. (in Russian) DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65.

Об авторах:

**ТОШИН Дмитрий Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент, доцент центра архитектурных, конструктивных решений и организации строительства  
Тольяттинский государственный университет  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. (8482) 54-63-08  
E-mail: D.Toshin@tltsu.ru

**TOSHIN Dmitrii S.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Center for Architectural, Structural Solutions and Construction Management  
Togliatti State University  
445020, Russia, Samara region, Togliatti, Belorusskaya str, 14,  
tel. (8482) 54-63-08  
E-mail: D.Toshin@tltsu.ru

**ХУТОВА Екатерина Эдуардовна**

магистрант  
Тольяттинский государственный университет  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
E-mail: sivoronova93@mail.ru

**KHUTOVA Ekaterina E.**

Master's Degree Student  
Togliatti State University  
445020, Russia, Samara region, Togliatti, Belorusskaya str, 14  
E-mail: sivoronova93@mail.ru

**АСТАЕВА Юлия Викторовна**

магистрант  
Тольяттинский государственный университет  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
E-mail: astaeva.j@gmail.com

**ASTAEVA Yulia V.**

Master's Degree Student  
Togliatti State University  
445020, Russia, Samara region, Togliatti, Belorusskaya str, 14  
E-mail: astaeva.j@gmail.com

Для цитирования: *Тошин Д.С., Хутова Е.Э., Астаева Ю.В.* Прочность и жесткость железобетонных балок, изготовленных на экспериментальном бетоне завода ЖБИ // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 1. С. 34–38. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.4.

For citation: *Toshin D.S., Khustova E.E., Astaeva Yu.V.* Strength and stiffness of reinforced concrete beams made on experimental concrete of a reinforced concrete products plant. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 1, Pp. 34–38. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.4.

**ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР  
«КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭНЕРГОАУДИТ»**

