

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-155-163>

УДК 691.618.92

Сравнительная оценка результатов испытаний бетонных балок с композитной арматурой и расчетных данных

Н. В. Бегунова¹, докт. экон. наук, проф. В. П. Грахов¹, В. Н. Возмищев²,
канд. пед. наук, доц. Ю. Г. Кислякова¹

¹Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова (Ижевск, Российская Федерация),

²ООО «КомАР» (г. Сарапул, Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2019
Belarusian National Technical University, 2019

Реферат. Приведены результаты исследования образцов бетонных балок, армированных полимерной композитной арматурой производства ООО «КомАР». Цель исследований – определение прочности, жесткости и трещиностойкости балок с полимерной композитной арматурой, различными схемами армирования и их сравнение с расчетными данными. Испытания выполнялись в соответствии с требованиями нормативных документов по расчетной схеме с двумя точками приложения нагрузки $P_1 = P_2$. Принятая схема чистого изгиба применяется в лабораторных условиях для информативности вычисленных результатов и получения максимальных усилий в растянутой зоне изгибаемых элементов. Приведено сравнение данных, полученных в результате испытаний, с расчетными по документу СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования», в основу которого заложен принцип проектирования бетонных конструкций, армированных металлической арматурой. В связи с тем, что композитная арматура по ряду показателей заметно отличается от металлической, ранее были проведены сравнительные испытания бетонных балок, армированных металлической и композитной арматурами. Данные исследования необходимы для понимания работы конструкций и возможности их применения в объектах капитального строительства. При расчете балок по I группе предельных состояний выявлено превышение прочности по наклонным сечениям на действия поперечных сил над фактической, по II группе – необходимость внесения изменений в порядок расчета ширины раскрытия трещин для приближения расчетных данных к показателям, полученным в результате испытаний, и порядок расчета прогибов.

Ключевые слова: полимерная композитная арматура, изгибающий момент, трещиностойкость, прогиб, ширина раскрытия трещин, расчет по нормам

Для цитирования: Сравнительная оценка результатов испытаний бетонных балок с композитной арматурой и расчетных данных / Н. В. Бегунова [и др.] // *Наука и техника*. 2019. Т. 18, № 2. С. 155–163. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-155-163>

Comparative Evaluation of Results on Test of Concrete Beams with Fiberglass Rebar and Calculated Data

N. V. Begunova¹, V. P. Grahov¹, V. N. Vozmishchev², J. G. Kislyakova¹

¹Kalashnikov Izhevsk State Technical University (Izhevsk, Russian Federation),

²LLC “KomAR” (Sarapul, Russian Federation)

Abstract. The paper presents results of the study for samples of concrete beams reinforced with fiberglass rebar produced by LLC “KomAR”. The aim of the study is to determine strength, stiffness and crack resistance of beams with fiberglass rebar,

Адрес для переписки

Бегунова Наталья Васильевна
Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова
ул. Студенческая, 42,
426069, г. Ижевск, Российская Федерация
Тел.: +79 127 68-49-95
tysiakia@gmail.com

Address for correspondence

Begunova Natalia V.
Kalashnikov Izhevsk State
Technical University
42 Studencheskaya str.,
426069, Izhevsk, Russian Federation
Tel.: +79 127 68-49-95
tysiakia@gmail.com

various reinforcement schemes and their comparison with calculated data. Tests have been carried out in accordance with the regulatory requirements for a design scheme with two points of load application $P_1 = P_2$. The adopted scheme of pure bending is used in the laboratory for informativeness of the obtained results and getting maximum efforts in a stretched zone of bent elements. A comparison has been made of the data obtained as a result of tests with the ones which have been calculated according to the document SP (Construction Rules) 295.1325800.2017 "Concrete structures reinforced with polymer composite reinforcement. Design rules", this document is based on the design principle of concrete structures reinforced with metal reinforcement. Due to the fact that composite fittings significantly differ from metal fittings in a number of indicators, comparative tests of concrete beams reinforced with metal and composite fittings have been carried out earlier. Data of the investigations are necessary for understanding behavior of structures and possibility of their application in the objects of capital construction. An excess of inclined section strength on the action of transverse forces over an actual one has been revealed when calculating concrete beams according to the I group of limiting states. While making calculations for the II group of limiting states, the need has been revealed to make changes in the procedure for calculating width of crack opening in order to approximate the calculated data to the data obtained as a result of tests and a procedure for calculating deflections.

Keywords: fiberglass rebar, bending moment, crack resistance, deflection, width of crack opening, standard-based calculation

For citation: Begunova N. V., Grahov V. P., Vozmishchev V. N., Kislyakova J. G. (2019) Comparative Evaluation of Test Results of Concrete Beams with Fiberglass Rebar and Calculated Data. *Science and Technique*. 18 (2), 155–163. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-155-163> (in Russian)

Введение

Недостатком стальной арматуры является ее подверженность коррозии при взаимодействии с солями во влажных и агрессивных средах. В процессе коррозии стальная арматура, увеличиваясь в объеме, повышает растягивающие напряжения на бетон, что приводит к появлению трещин, пустот и, как следствие, к дальнейшему и ускоренному ухудшению свойств стали и бетона. Сталь не устойчива к коррозии и очень быстро ржавеет. Поэтому требуются дорогостоящий ремонт и обслуживание железобетонных конструкций. Кроме того, поскольку стальная арматура является проводником электрических и магнитных полей, ее использование в бетонных конструкциях электроэнергетики, медицинских учреждений, а также в ядерной энергетике нежелательно. Стеклопластиковая арматура все чаще находит применение в бетонных конструкциях благодаря высокой устойчивости к коррозии, высокому пределу прочности, устойчивости к электрическим и магнитным полям, хорошей усталостной прочности, легкости обработки, незначительным затратам на обслуживание, более низкой стоимости транспортировки, простой резке и достаточному сцеплению с бетоном [1].

Для сравнения прочностных характеристик балок, армированных композитной арматурой, с балками, армированными металлической арматурой, были проведены испытания. Разрушение балок, армированных композитной арматурой, произошло по наклонным сечениям ввиду их повышенной деформативности и больших прогибов.

Подробные результаты испытаний балок, армированных композитной арматурой (БК1), и их сравнение с результатами испытаний железобетонных балок (БЖ) с аналогичным армированием металлической арматурой приведены в [2–4]. Для исключения разрушений балок по наклонным сечениям созданы образцы с другим видом армирования и проведены дополнительные исследования.

В 2018 г. введен нормативный документ по проектированию конструкций, армированных композитной арматурой СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования» [5]. В основу документа заложен принцип проектирования бетонных конструкций, армированных металлической арматурой. В связи с тем, что композитная арматура по ряду показателей значительно отличается от металлической, были проведены сравнительные испытания бетонных балок, армированных металлической и композитной арматурами. Кроме того, выполнено сравнение полученных данных в результате испытаний с расчетными, согласно нормативному документу. Данные исследования необходимы для понимания работы конструкций и возможности их применения в объектах капитального строительства.

Основные положения

Для проведения опытов изготовлены семь балок идентичной длины и сечения с четырьмя видами армирования. Длина образцов 2980 мм, размеры сечения прямоугольной формы 250×220 мм.

Балки изготовлены в ООО «Завод железобетонных изделий» (г. Ижевск) из тяжелого бетона марки В20 (фактически по результатам испытаний контрольных образцов – бетон марки В25) и армировали композитной арматурой (АСК) производства ООО «КомАР» (г. Са-

рапул). Испытания проводили в лаборатории «Мосты и другие искусственные сооружения» («МиДИС») Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Схемы армирования образцов бетонных балок представлены в табл. 1.

Таблица 1

Схемы армирования образцов бетонных балок
Reinforcement scheme for concrete beam specimen

Схема армирования балки БК (образцы № 1, 2, 3)	
Схема армирования балки БВ (образцы № 4, 5)	
Схема армирования балки БА (образец № 6)	
Схема армирования балки БГ (образец № 7)	

Образцы № 1, 2, 3 (балки БК) армированы стержнями: $\varnothing 12$ мм – нижняя продольная арматура; $\varnothing 10$ мм – верхняя продольная и поперечная арматура. Коэффициент армирования продольной растянутой арматурой $\mu_f = 1,16\%$.

Образцы № 4, 5 (балки БВ) армированы стержнями: $\varnothing 8$ мм – нижняя продольная арматура; $\varnothing 8$ мм – верхняя продольная и $\varnothing 8$ мм – поперечная арматура. Коэффициент армирования продольной растянутой арматурой $\mu_f = 0,27\%$.

Образец № 6 (балка БА) армирован стержнями: $\varnothing 6$ мм – нижняя продольная арматура; $\varnothing 6$ мм – верхняя продольная; $\varnothing 6$ мм – поперечная арматура. Коэффициент армирования продольной растянутой арматурой $\mu_f = 0,44\%$.

Образец № 7 (балка БГ) армирован в растянутой зоне стержнями: $\varnothing 8$ и $\varnothing 6$ мм – нижняя продольная арматура; $\varnothing 6$ мм – верхняя продольная; $\varnothing 6$ мм – поперечная арматура. Коэффициент армирования продольной растянутой арматурой $\mu_f = 0,29\%$.

Соединение арматурных стержней произведено при помощи вязальной проволоки $\varnothing 2$ мм по ГОСТ 3282–74 [6].

Испытания выполнялись в соответствии с требованиями ГОСТ 8829–94 [7] по расчетной схеме (рис. 1) с двумя точками приложения нагрузки $P_1 = P_2$. Принятая схема чистого изгиба применяется в лабораторных условиях для информативности полученных результатов

и определения максимальных усилий в растянутой зоне изгибаемых элементов [8].

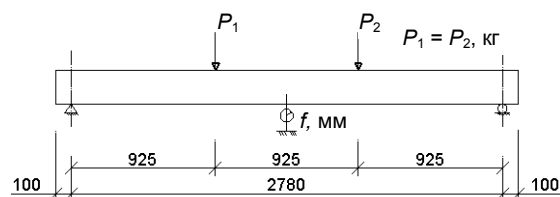


Рис. 1. Расчетная схема

Fig. 1. Reinforcement scheme

Каждый образец устанавливали на металлическую пластину ($250 \times 80 \times 10$ мм), опирающуюся на цилиндрические шарниры ($d = 40$ мм) опорной части. Неподвижная опора жестко соединена с основанием силового пола. Нагрузка на образцы прикладывалась на расстоянии $1/3L_0$ длины расчетного пролета (2780 мм).

Нагружение балок осуществлялось гидравлическими домкратами ДГ-50 с контролем нагрузки динамометрами ДОСМ-3-50У (5 т) согласно расчетной схеме. Прогобы замеряли штангенрейсмасом ШР-250/4 повышенного качества с допускаемой погрешностью ($\pm 0,05$) мм. Ширину раскрытия трещин определяли с помощью микроскопа Elcometer 900 (0–2,5 мм) с ценой деления 0,02 мм.

Максимально допустимый прогиб f для балок в соответствии с [9] принят равным $L_0/150 = 18,5$ мм.

Результаты испытаний балок БК1 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний балок БК1

Test results for beams BK1

№ п/п	Нагрузка, кг		Момент, кг·м	Прогиб f и ширина раскрытия трещин a , мм							Примечание
	$P_1 = P_2$	ΣP		БК1-1		БК1-2		БК1-3		f_{cp} , мм	
				f	a	f	a	f	a		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	500	1000	660,0	2,00	0,02	1,30	0,02	0,80	–	1,37	
2	1000	2000	1123,4	8,50	0,04	7,30	0,04	7,70	0,04	7,83	
3	1500	3000	1586,7	12,80	0,04	11,40	0,10	14,30	0,10	12,83	
4	2000	4000	2050,0	21,00	0,10	18,20	0,20	20,40	0,20	19,87	$f > 18,5$ мм
5	2500	5000	2513,4	27,20	0,25	23,00	0,30	26,50	0,30	25,57	
6	3000	6000	2976,7	33,80	0,50	30,00	0,40	32,00	0,35	31,93	
7	3500	7000	3440,0	40,50	0,60	35,30	0,50	36,60	0,40	37,47	$a_{cp} = 0,7$ мм
8	4000	8000	3903,4	48,00	0,70	46,20	0,60	53,20	0,60	49,13	
9	4500	9000	4366,7	56,50	0,80	52,10	0,90	60,40	0,70	56,33	
10	5000	10000	5096,7	72,70	1,20	57,90*	1,00	67,50*	1,80	66,03	*Разрушение по сжатому бетону.
11	5000+	10000	5096,7	74,0*		70**		75**			**Разрушение по сжатому бетону и наклонной трещине
Примечание. Значения ширины раскрытия трещин приняты по максимальной трещине.											

Примечание. Значения ширины раскрытия трещин приняты по максимальной трещине.

По результатам испытаний балок БК1 момент трещинообразования с шириной раскрытия трещин $a = 0,025$ мм составил 660 кг·м, что соответствует нагрузке $\Sigma P = 1,0$ т. Изгибающий момент, соответствующий предельно допустимому прогибу $f = 18,5$ мм, составил 2050 кг·м. Изгибающий момент, соответствующий раскрытию трещин до предельно допустимого значения $a_{\text{ср}} = 0,7$ мм по II группе предельных состояний, составил 3903,4 кг·м. Разрушающая нагрузка при трехточечном изгибе $\Sigma P = 10$ т. Предельный изгибающий момент 4830 кг·м.

Результаты испытаний балок БВ, БА и БГ приведены в табл. 3.

По результатам испытаний момент трещинообразования ($a = 0,025$ мм) балок БВ, БА, БГ составил 312,5–428,4 кг·м, что соответствует нагрузке $\Sigma P = 0,2$ – $0,5$ т.

Изгибающий момент M , соответствующий предельно допустимому прогибу $f = 18,5$ мм, составил для балок:

- БВ – 1007,6 кг·м;
- БА – 1246,7 кг·м;
- БГ – 1016,7 кг·м.

Изгибающий момент M , соответствующий раскрытию трещин до предельно допустимого значения $a = 0,7$ мм по II группе предельных состояний, составил:

- БВ – 968,9 кг·м;
- БА – 2005,0 кг·м;
- БГ – 737,2 кг·м.

Разрушающая нагрузка ΣP и предельный изгибающий момент M при трехточечном изгибе для балок соответственно:

- БВ – 6,0 т, 2976,7 кг·м;
- БА – 9,0 т, 4366,7 кг·м;
- БГ – 6,0 т, 2976,7 кг·м.

С 12.01.2018 введен в действие свод правил СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования» [5]. Была произведена сравнительная оценка соответствия данных, определенных в результате испытаний, с данными, полученными согласно расчетам по своду правил [5].

Исходные данные, принятые для расчетов:

- размеры сечения балки 250×220 (h) мм;
- бетон тяжелый В25;
- армирование в растянутой зоне $5\phi 12\text{АСК}$, $A_f = 565,2$ мм²;
- поперечная арматура $2\phi 10\text{АСК}$ с шагом 90 мм, $A_{\text{св}} = 149,3$ мм²;
- армирование в сжатой зоне не учитывается согласно п. 5.2.9 [5];

Таблица 3

Результаты испытаний балок БВ, БА и БГ

Test results for beams БВ, БА and БГ

№ п/п	Нагрузка, кг, без учета собственного веса балки		Момент, кг·м	Прогиб f и ширина раскрытия трещин a , мм						Примечание
	$P_1 = P_2$	ΣP		БВ		БА		БГ		
				f	a	f	a	f	a	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	500	1000	660,0	5,40	0,4	2,00	0,10	4,40	0,6	$a > 0,7$ мм
2	750	1500	891,7	14,20	0,6	7,00	0,20	13,50	0,9	
3	1000	2000	1123,4	23,70	0,9	14,40	0,25	22,20	1,0	$f > 18,5$ мм
4	1250	2500	1355,0	31,40	1,2	20,60	0,35	30,30	1,5	
5	1500	3000	1586,7	41,10	1,4	27,10	0,40	38,30	1,7	
6	1750	3500	1818,4	50,40	1,5	33,20	0,50	46,70	2,0	$a = 0,7$ мм
7	2000	4000	2050,0	61,50	1,6	39,30	0,70	55,10	2,3	
8	2250	4500	2281,7	72,20	2,0	45,70	0,80	63,60	2,6	
9	2500	5000	2513,4	81,90	2,2	52,50	1,20	72,80	2,8	
10	2750	5500	2745,0	92,90	2,6	59,10	1,60	82,40	3,1	
11	3000	6000	2976,7	104,40*	2,9	65,90	1,80	90,42*	3,3	*Разрушение по нормальному сечению.
12	3250	6500	3208,4			73,50	2,0			
13	3500	7000	3440,0			80,70	2,1			
14	3750	7500	3671,7			88,50	2,2			
15	4000	8000	3903,4			97,00	2,4			
16	4250	8500	4135,0			105,30	2,5			
17	4500	9000	4366,7			123,10*	2,6			
Примечание. Значения ширины раскрытия трещин приняты по максимальной трещине.										

– нормативное значение предела прочности арматуры при растяжении $R_{f,n} = 1200$ МПа – по результатам испытаний арматуры, производимой ООО «КомАР»;

– расчетное значение предела прочности арматуры при растяжении при расчете по предельным состояниям I группы $R_f = 800$ МПа;

– расчетное значение сопротивления поперечной арматуры растяжению при расчете по предельным состояниям I группы $R_{sw} = 220$ МПа;

– расчетное значение предела прочности арматуры при растяжении при расчете по предельным состояниям II группы $R_f = 840$ МПа;

– модуль упругости арматуры при растяжении $E_f = 55$ ГПа – по результатам испытаний арматуры, производимой ООО «КомАР»;

– тип нагрузки – кратковременная по [9].

Исходные данные для балок:

• БК1:

– толщина защитного слоя $a = 26$ мм;

– армирование в растянутой зоне $5\varnothing 12\text{АСК}$, $A_f = 565,2$ мм²;

– поперечная арматура $2\varnothing 10\text{АСК}$ с шагом 90 мм, $A_{sw} = 149,3$ мм²;

• БВ:

– толщина защитного слоя $a = 24$ мм;

– армирование в растянутой зоне $3\varnothing 8\text{АСК}$, $A_f = 134,25$ мм²;

– поперечная арматура $2\varnothing 8\text{АСК}$ с шагом 90 мм, $A_{sw} = 100,48$ мм²;

– отогнутые стержни $6\varnothing 8\text{АСК}$ с шагом 90 мм, $A_{sw} = 301,44$ мм²;

• БА:

– толщина защитного слоя $a = 38$ мм;

– армирование в растянутой зоне $8\varnothing 6\text{АСК}$, $A_f = 197,0$ мм²;

– поперечная арматура $2\varnothing 6\text{АСК}$ с шагом 90 мм, $A_{sw} = 56,52$ мм²;

– отогнутые стержни $6\varnothing 6\text{АСК}$ с шагом 90 мм, $A_{sw} = 169,56$ мм²;

• БГ:

– толщина защитного слоя $a = 23$ мм;

– армирование в растянутой зоне $2\varnothing 8 + 2\varnothing 6\text{АСК}$, $A_f = 138,7$ мм²;

– поперечная арматура $4\varnothing 6\text{АСК}$ с шагом 90 мм, $A_{sw} = 113,04$ мм²;

– отогнутые стержни $12\varnothing 6\text{АСК}$ с шагом 90 мм, $A_{sw} = 339,12$ мм².

Расчет по I группе предельных состояний

Расчет прочности по нормальным сечениям. Предельный изгибающий момент определяем по формуле [5]

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5x). \quad (1)$$

Подставляем в (1) значение высоты сжатой зоны бетона, вычисленное по формуле [5]

$$x = \sqrt{(0,5\mu_f a_f h_0)^2 + \mu_f a_f h_0^2 \omega} - 0,5\mu_f a_f h_0. \quad (2)$$

Для балок БК1 $M_{ult} = 3411$ кг·м. По данным испытаний, разрушение балок произошло при моменте 4830 кг·м. Превышение фактического значения над расчетным в 1,4 раза.

Для балок БВ $M_{ult} = 1963$ кг·м. По данным испытаний, разрушение балок произошло при моменте 2976,7 кг·м. Превышение фактического значения над расчетным в 1,5 раза.

Для балки БА $M_{ult} = 2266$ кг·м. По данным испытаний, разрушение балки произошло при моменте 4366,7 кг·м. Превышение фактического значения над расчетным в 1,9 раза.

Для балки БВ $M_{ult} = 2263$ кг·м. По данным испытаний, разрушение балки произошло при моменте 2976,7 кг·м. Превышение фактического значения над расчетным в 1,3 раза.

Расчет прочности по наклонным сечениям на действие поперечных сил. Расчет производим согласно п. 8.1.33, 8.1.34 [10] в соответствии с п. 6.1.23 [5].

Поперечная сила Q , воспринимаемая балками БК1, равна 12864 кг. Разрушение балок произошло по наклонным сечениям при нагрузке $Q = 10380$ кг. Расчетное значение больше фактического в 1,24 раза.

Расчет балок БВ, БА, БГ на восприятие поперечных сил не производился, так как их разрушение произошло по нормальным сечениям. Наклонные сечения балок были усилены отогнутыми стержнями [11].

Расчет по II группе предельных состояний

Момент образования трещин, нормальных к продольной оси элемента, определяем по формуле [5]

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} \pm N e_x. \quad (3)$$

Для балок БК1 $M_{crc} = 435,5$ кг·м. По результатам испытаний, момент трещинообразования с $a = 0,025$ мм составил 660 кг·м. Превышение фактического значения над расчетным в 1,5 раза.

Для балок БВ $M_{crc} = 419,5$ кг·м. По результатам испытаний, момент трещинообразования с $a = 0,025$ мм составил 389,0 кг·м. Расчетное значение больше фактического в 1,08 раза.

Для балки БА $M_{crc} = 419,8$ кг·м. По результатам испытаний, момент трещинообразования

с $a = 0,025$ мм составил 428,4 кг·м. Превышение фактического значения над расчетным в 1,02 раза.

Для балок БГ $M_{crc} = 420,0$ кг·м. По результатам испытаний, момент трещинообразования с $a = 0,025$ мм составил 312,5 кг·м. Расчетное значение больше фактического в 1,34 раза.

Расчет по ширине раскрытия трещин

Ширину раскрытия трещин определяем по формуле [5]

$$a_{crc,i} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_f \frac{\sigma_f}{E_f} l_f. \quad (4)$$

Сравнение расчетных данных по ширине раскрытия трещин с данными, полученными в результате испытаний, приведено в табл. 4.

Предельная ширина раскрытия трещин в соответствии с п. 6.2.6 [5] составляет 0,7 мм при непродолжительном раскрытии трещин и 0,5 мм – при продолжительном. В связи с этим ширина раскрытия трещин, значительно превышающая данные значения, не определялась [12–14].

Расчет конструкций по прогибам

Прогиб балок рассчитываем в соответствии с п. 6.2.20 [5]. Кривизну элемента определяем по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{D}. \quad (5)$$

При определении прогибов балок использовалась формула (4.36) из [15] с дальнейшим пересчетом на загрузку в двух точках

$$f = S l^2 \left(\frac{1}{r} \right)_{\max}, \quad (6)$$

где S – коэффициент для каждой схемы загрузки балки; l – пролет элемента; $\left(\frac{1}{r} \right)_{\max}$ –

полная кривизна в сечении с наибольшим изгибающим моментом от нагрузки, при которой определяется прогиб.

Сравнение расчетных данных по прогибам балок с данными, полученными в результате испытаний, приведено в табл. 5.

Таблица 4

Сравнение расчетных данных по ширине раскрытия трещин с данными, полученными в результате испытаний
Comparison of calculated and test data across width of crack opening

№ п/п	Нагрузка, кг, без учета собствен- ного веса балки		Момент, кг·м	Ширина раскрытия трещин <i>a</i> , мм							
	<i>P</i> ₁ = <i>P</i> ₂	ΣP		БВ		БА		БГ		БК1	
				По рас- чету	По данным испытаний	По рас- чету	По данным испытаний	По рас- чету	По данным испытаний	По рас- чету	По данным испытаний
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	500	1000	660,0	0,62	0,4	0,35	0,10	0,54	0,6	0,14	0,02
2	750	1500	891,7	0,84	0,6	0,47	0,20	0,71	0,9	–	–
3	1000	2000	1123,4	1,05	0,9	0,59	0,25	0,90	1,0	0,23	0,04
4	1250	2500	1355,0		1,2	0,73	0,35		1,5	–	–
5	1500	3000	1586,7		1,4	0,84	0,40		1,7	0,33	0,08
6	1750	3500	1818,4		1,5		0,50		2,0	–	–
7	2000	4000	2050,0		1,6		0,70		2,3	0,43	0,18
8	2250	4500	2281,7		2,0		0,80		2,6	–	–
9	2500	5000	2513,4		2,2		1,20		2,8	0,52	0,29
10	2750	5500	2745,0		2,6		1,60		3,1	–	–
11	3000	6000	2976,7		2,9		1,80		3,3	0,62	0,42
12	3250	6500	3208,4				2,00			–	–
13	3500	7000	3440,0				2,10			0,71	0,50
14	3750	7500	3671,7				2,20			–	–
15	4000	8000	3903,4				2,40			0,81	0,64
16	4250	8500	4135,0				2,50				
17	4500	9000	4366,7				2,60				

Сравнение расчетных данных по прогибам балок с данными, полученными в результате испытаний

Comparison of calculated and test data according to beam deflection

№ п/п	Нагрузка, кг, без учета собственного веса балки		Момент, кг·м	Прогиб балки, мм							
				БВ		БА		БГ		БК1	
	$P_1 = P_2$	ΣP		По рас- чету	По данным испытаний	По рас- чету	По данным испытаний	По рас- чету	По данным испытаний	По рас- чету	По данным испытаний
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	500	1000	660,0	2,61	5,44	2,59	2,00	2,59	4,40	2,53	1,35
2	750	1500	891,7	3,50	14,20	3,50	7,00	3,50	13,50	—	—
3	1000	2000	1123,4	4,41	23,70	4,40	14,40	4,40	22,20	4,30	2,77
4	1250	2500	1355,0	5,32	31,40	5,32	20,60	5,29	30,30	—	—
5	1500	3000	1586,7							6,07	4,73
6	1750	3500	1818,4							—	—
7	2000	4000	2050,0							7,85	6,53
8	2250	4500	2281,7							—	—
9	2500	5000	2513,4							9,62	8,97
10	2750	5500	2745,0							—	—
11	3000	6000	2976,7							11,40	11,43
12	3250	6500	3208,4							—	—
13	3500	7000	3440,0							13,17	12,70
14	3750	7500	3671,7							—	—
15	4000	8000	3903,4							14,95	14,77
16	4250	8500	4135,0							—	—
17	4500	9000	4366,7							16,72	17,30
18	5000	10000	4830,0							20,18	20,77

Расчет прогибов выполнялся для балок в соответствии с [9] с учетом максимально допустимого прогиба f , принятого равным 18,5 мм.

ВЫВОД

По результатам проведенных исследований на определение прочностных характеристик балок с композитной арматурой и их сравнений с расчетными данными установлено, что величина поперечной силы, воспринимаемой сечением без отогнутых стержней, больше значения, которое было получено в процессе испытаний. Из этого следует, что необходима корректировка расчетных формул в нормативном документе. При расчете по II группе предельных состояний выявлена надобность внесения изменений в порядок расчета ширины раскрытия трещин и расчета прогибов для приближения расчетных данных к данным, полученным в результате испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nandini Devi, Dr. G. Flexural Behaviour of Concrete Beams Reinforced with GFRP Reinforcements / Dr. G. Nandini Devi // International Journal of Advanced Information Science and Technology. 2015. Vol. 39, No 39. P. 32–38.
2. Бегунова, Н. В. Сравнительная оценка прочности, жесткости и трещиностойкости бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитной и стальной арматурами / Н. В. Бегунова, В. Н. Возмищев // Интеллектуальные системы в производстве. 2017. Т. 15, № 4. С. 69–74.
3. Бегунова, Н. В. Сравнительная оценка огнестойкости бетонных балок, армированных стеклокомпозитной и стальной арматурами / Н. В. Бегунова, В. Н. Возмищев // Вестник гражданских инженеров. 2018. Т. 67, № 2. С. 48–53.
4. Бегунова, Н. В. Прочностные и деформативные характеристики бетонных балок, армированных полимеркомпозитной арматурой / Н. В. Бегунова // Фотинские чтения, 2018: сб. материалов Пятой ежегодной междунар. науч.-практ. конф. Ижевск: Проект, 2018. Т. 9, № 1. С. 207–209.
5. Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования: СП 295.1325800.2017. М.: Изд-во стандартов, 2017. 42 с.

6. Проволока стальная низкоуглеродистая общего назначения. Технические условия: ГОСТ 3282–74. Взамен ГОСТ 3282–46; введ. 01.07.1975 до 01.01.1995. М.: Издательство стандартов, 1992. 13 с.
 7. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829–94. Взамен ГОСТ 8829–85; введ. 01.01.1998. Минск: МНТКС, 1997. 26 с.
 8. Нанни, А. Армированный бетон с арматурными стержнями из пластмассы, армированной волокном. Механика и конструкция / А. Нанни, А. Де Лука, Х. Дж. Задек. Нью-Йорк: Taylor&FrancisGroup, 2014. 479 с.
 9. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. СП 20.13330.2016. М.: Минрегион России, 2010. 96 с.
 10. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52.01–2003: СП 63.13330.2012. М.: Минрегион России, 2011. 152 с.
 11. Степанова, В. Ф. Исследование особенности работы бетонных конструкций с комбинированным армированием (арматурой композитной полимерной и неметаллической фиброй) / В. Ф. Степанова, А. Н. Бучкин, Д. А. Ильин // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 1. С. 124–128.
 12. Falikman, V. R. New Russian Norms and Codes on Protection of Building Structures against Corrosion / V. R. Falikman, N. K. Rozentahl, V. F. Stepanova // High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet: Proceedings of the 2017 Fib Symposium, Maastricht, the Netherlands, 12–14 June, 2017. P. 2135–2143. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59471-2_244
 13. Composite Nonmetallic Reinforcement for Construction Structures / V. F. Stepanova [et al.] // Protection of Metals. 2007. Vol. 43, No 7. P. 701–704.
 14. Yoo, D.-Y. A Review on Structural Behavior, Design, and Application of Ultra-High-Performance Fiberreinforced Concrete / D.-Y. Yoo, Y.-S. Yoon // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2016. Vol. 10, No 2. P. 125–142.
 15. Методическое пособие. Расчет железобетонных конструкций без предварительно напряженной арматуры: Пособие к СП 63.13330.2012 (II). М., 2015. 294 с.
- Поступила 20.10.2018
Подписана в печать 26.12.2018
Опубликована онлайн 29.03.2019
- ### REFERENCES
1. Nandini Devi Dr. G. (2015) Flexural Behaviour of Concrete Beams Reinforced with GFRP Reinforcements. *International Journal of Advanced Information Science and Technology*, 39 (39), 32–38.
 2. Begunova N. V., Vozmishchev V. N. (2017) Comparative Evaluation of Strength, Rigidity and Crack Resistance of Concrete Structures Reinforced with Fiberglass Rebar and Steel Rebar. *Intellektualnye Sistemy v Proizvodstve = Intelligent Systems in Manufacturing*, 15 (4), 69–74 (in Russian). <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2017-4-69-74>.
 3. Begunova N. V., Vozmishchev V. N. (2018) Comparative Evaluation of Fire Resistance of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Glass Composite and Steel Rebars. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers*, 67 (2), 48–53 (in Russian). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-2-48-53>.
 4. Begunova N. V. (2018) Strength and Deformation Characteristics of Concrete Beams Reinforced with Polymer-Composite Reinforcement. *Fotinskie Chteniya, 2018: Sbornik Materialov Pyatoi Ezhegodnoi Mezhdunarodnoi Nauchno-Prakticheskoi Konferentsii* [Fotin Readings, 2018: Collection of Materials of 5th Annual International Scientific and Practical Conference]. Izhevsk, Publishing House “Proekt” [Project], 2018, 9 (1), 207–209 (in Russian).
 5. SP – Construction Rules 295.1325800.2017. *Concrete Structures Reinforced with Polymer Composite Reinforcement. Design Rules*. Moscow, Standards Publishing House, 2017. 42 (in Russian).
 6. State Standard 3282–74. *Low-Carbon Steel wire for General Use. Technical Conditions*. Moscow, Standards Publishing House, 1992. 13 (in Russian).
 7. State Standard 8829–94. *Construction Products of Reinforced Concrete and Factory-Made Concrete. Load Test Methods. Rules for Evaluation of Strength, Rigidity and Crack Resistance*. Minsk, MNTKS, 1997. 26 (in Russian).
 8. Nanni A., De Luca A., Zadeh H. J. (2014) *Reinforced Concrete with FRP Bars. Mechanics and Design*. New York, Taylor & Francis Group. 479. <https://doi.org/10.1201/b16669>.
 9. *Loads and Impacts*. Revised SNiP [Construction Rules and Regulations] 2.01.07–85*: SP – Construction Rules 20.13330.2016. Moscow, Ministry of Regional Development of Russia, 2010. 96 (in Russian).
 10. *Concrete and Reinforced Concrete Structures. Fundamental Principles*. Revised SNiP [Construction Rules and Regulations] edi 52.01–2003: SP – Construction Rules 63.13330.2012. Moscow, Ministry of Regional Development of Russia, 2011. 152 (in Russian).
 11. Stepanova V. F., Buchkin A. N., Ilyin D. A. (2017) Research for Specific Features in Operation of Concrete Structures with Combined Reinforcement (Composite Poly Mer and Non-Metallic Fiber Reinforcement). *Academia. Arkhitektura i Stroitelstvo = Academia. Architecture and Construction*, (1), 124–128 (in Russian).
 12. Falikman V. R., Rozentahl N. K., Stepanova V. F. (2017) New Russian Norms and Codes on Protection of Building Structures against Corrosion. *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet. Proceedings of the 2017 Fib Symposium, Maastricht, the Netherlands, 12–14 June, 2017*. 2135–2143. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59471-2_244.
 13. Stepanova V. F., Krasovskaya G. M., Shakhov S. V., Belenchuk V. V. (2007) Composite Nonmetallic Reinforcement for Construction Structures. *Protection of Metals*, 43 (7), 701–704. <https://doi.org/10.1134/s0033173207070144>.
 14. Yoo D.-Y., Yoon Y.-S. (2016) A Review on Structural Behavior, Design, and Application of Ultra-High-Performance Fiberreinforced Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 10 (2), 125–142. <https://doi.org/10.1007/s40069-016-0143-x>.
 15. *Methodological Book. Calculation of Reinforced Concrete Structures Without Pre-Stressed Reinforcement: Textbook for SP – Construction Rules 63.13330.2012 (II)*. Moscow, 2015. 294.

Received: 20.10.2018

Accepted: 26.12.2018

Published online: 29.03.2019