

УДК 691.618.92
DOI 10.22213/2410-9304-2017-4-69-74

Н. В. Бегунова, соискатель
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
В. Н. Возмищев
ООО «КомАР»

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ, ЖЕСТКОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРКОМПОЗИТНОЙ И СТАЛЬНОЙ АРМАТУРАМИ

В данной статье приводятся результаты исследования образцов бетонных балок по прочности, жесткости и трещиностойкости, армированных полимеркомпозитной арматурой производства ООО «КомАР». Целью исследования являлось определение прочности, жесткости и трещиностойкости балок с полимеркомпозитной арматурой и их сравнение с железобетонными балками, которые были приняты эталонными. Основным документом, устанавливающим требования для проведения испытаний, является ГОСТ 8829–94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости». Балки с композитной арматурой изготовлены по аналогии с балками со стальной арматурой с сохранением геометрии, диаметра и количества стержней арматуры. Программа испытания включала в себя изучение технической документации на продукцию, изучение нормативно-правовых документов для возможной области применения, визуальный осмотр внешнего вида образцов, проведение испытания по показателям прочности, жесткости и трещиностойкости. Внешний осмотр и обследование балок проводились на предмет проверки качества поверхностей (наличия дефектов и повреждений). Проверка размеров балок и установление поверхностных дефектов (раковины, сколы) выполнялись с помощью средств измерений, а именно: штангенциркуля, рулетки и измерительной лупы.

Ключевые слова: композитная арматура, стальная арматура, бетонная балка, прогиб, ширина раскрытия трещин.

Для проведения исследования всего было изготовлено 6 балок (по 3 в каждой из двух серий) идентичной длины, сечения и армирования. Длина образцов – 2980 мм, размеры сечения прямоугольной формы – 250×220 мм (рис. 1).

Балки были изготовлены на заводе ООО «Завод железобетонных изделий», г. Ижевск, ул. Новомосмирновская, 22. Испытания проведены в помещении лаборатории «Мосты и другие искусственные сооружения» («МиДИС») КГАСУ.

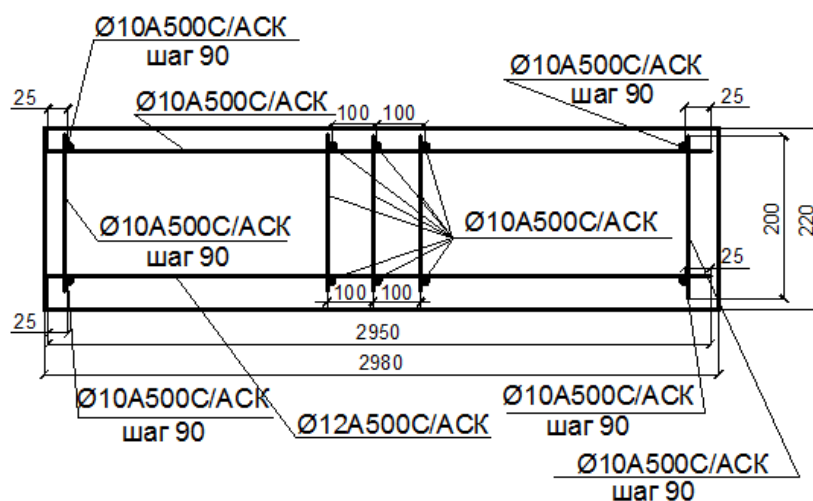


Рис. 1

Образцы № 1, 2, 3 I серии (БК-1-1 – БК-1-3) были выполнены из тяжелого бетона класса В20 и армированы композитной арматурой (АСК) производства ООО «КомАР» Ø12 мм (нижняя продольная арматура) и Ø10 мм (верхняя продольная и поперечная арматура) (рис. 2) по ТУ 2296-001-24488682–2014 [1]. Образцы № 4, 5, 6

II серии (БЖ-1-4 – БЖ-1-6) – из тяжелого бетона класса В20 и армированы стальной арматурой А500С Ø12 мм (нижняя продольная арматура) и Ø10 мм (верхняя продольная и поперечная арматура) (рис. 3). Соединение арматурных стержней произведено при помощи вязальной проволоки Ø2 мм по ГОСТ 3282–84 [2].

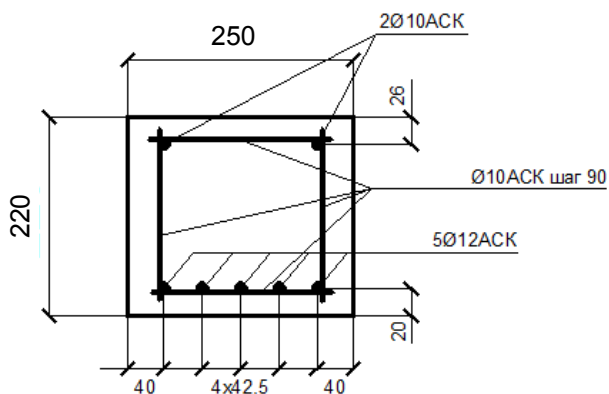


Рис. 2

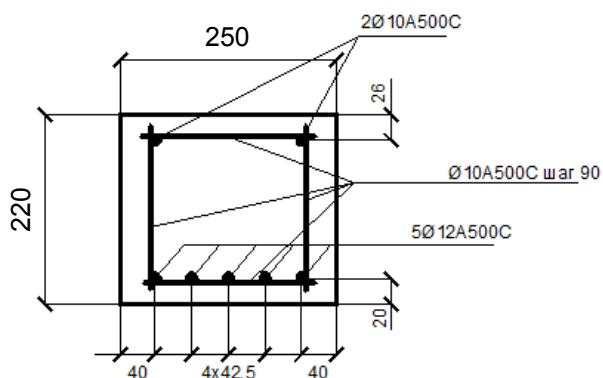


Рис. 3

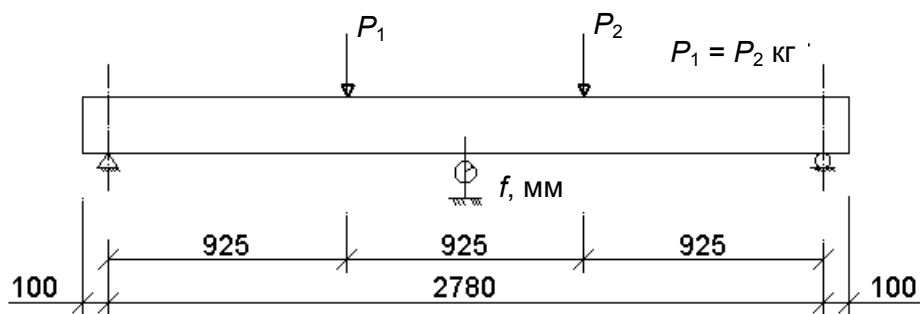


Рис. 4

В результате превышения максимально допустимой суммарной нагрузки $P = 9500$ кг с недоведением образцов балок БК-1-1 и БЖ-1-5 до разрушения (не была достигнута I группа предельного состояния), где нагрузку прикладывали гидравлическими домкратами ДГ-50 с контролем нагрузки динамометрами ДОСМ-3-50У (5 тонн) согласно расчетной схеме (рис. 4) с контролем деформаций (прогибом и трещин), в дальнейшем была принята другая схема нагружения, в которой нагрузку прикладывали гидравлическими домкратами ДГ-50 (максимум 50 тонн) с контро-

Балки со стальной арматурой изготовлены по аналогии с типовой серией 1.038.1-1, выпуск 1 [3], перемычка брусковая 5ПБ30. Балки с композитной арматурой изготовлены по аналогии с сохранением длины, сечения, диаметра стержней и их количества.

Для контроля и оценки качества бетона балок в испытаниях были изготовлены контрольные образцы бетона – кубики $100 \times 100 \times 100$ мм (3 шт.) и призмы $100 \times 100 \times 400$ мм (3 шт.) – и испытаны, соответственно, на сжатие и растяжение при изгибе. Результаты испытаний показали соответствие бетона образцов на сжатие классу В27,5 и на растяжение при изгибе $V_{tb}2.4$.

Испытания выполнялись в соответствии с требованиями ГОСТ 8829–94 [4] по расчетной схеме (рис. 4) с двумя точками приложения нагрузки $P_1 = P_2$. Принятая схема чистого изгиба применяется в лабораторных условиях для информативности полученных результатов и получения максимальных усилий в растянутой зоне изгибаемых элементов.

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).

лем нагрузки по манометрам избыточного давления ДМ8008-ВУф до 600 кгс/см², класс точности 2,5 гидравлической системы каждого домкрата ДГ-50.

Прогибы замерялись штангенрейсмасом типа ШР-250/4 повышенного качества с допускаемой погрешностью $\pm 0,05$ мм. Ширина раскрытия трещин измерялась микроскопом Elcometer 900 (0–2,5 мм) с ценой деления 0,02 мм.

Результаты испытаний для балок БК-1, армированных композитной арматурой, представлены в табл. 1.

Для балок БЖ-1, армированных стальной арматурой, результаты исследования отражены в табл. 2.

Контрольная ширина раскрытия трещины (a_{cp}) в соответствии с типовой серией 1.038.1-1

[5], лист № 15, для всех перемычек принята равной 0,25 мм. Максимально допустимый прогиб $[f]$ для всех перемычек в соответствии с СП 20.13330.2011 [6] принят равным $L_0/150 = 18,5$ мм.

Таблица 1. Результаты испытания балок БК-1

№ п/п	Нагрузка, кг		Момент, кг·м	Прогиб (F)/ширина раскрытия трещины (a), мм						Примечание	
	P1=P2	ΣP		БК-1-1		БК-1-2		БК-1-3			F _{ср} , мм
				F	a	F	a	F	a		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	500	1000	463,3	2,00	0,02	1,30	0,02	0,80	–	1,37	
2	1000	2000	926,7	8,50	0,04	7,30	0,04	7,70	0,04	7,83	
3	1500	3000	1390,0	12,80	0,04	11,40	0,1	14,30	0,1	12,83	
4	2000	4000	1853,3	21,00	0,1	18,20	0,2	20,40	0,2	19,87	F > 18,5 мм
5	2500	5000	2316,7	27,20	0,25	23,00	0,3	26,50	0,3	25,57	a _{ср} > 0,25 мм
6	3000	6000	2780,0	33,80	0,5	30,00	0,4	32,00	0,35	31,93	
7	3500	7000	3243,3	40,50	0,6	35,30	0,5	36,60	0,4	37,47	
8	4000	8000	3706,7	48,00	0,7	46,20	0,6	53,20	0,6	49,13	
9	4500	9000	4170,0	56,50	0,8	52,10	0,9	60,40	0,7	56,33	
10	5000	10000	4633,3	72,70	1,2	57,90*	1,0	67,50*	1,8	66,03	*Разрушение по сжатому бетону
11	5000+	10000	4633,3	74,0*		70**		75**			** Разрушение по сжатому бетону и наклонной трещине

Примечание: значения ширины раскрытия трещин приняты по максимальной трещине; изгибающий момент принят без учета собственного веса балки.

По результатам испытаний балок БК-1 момент трещинообразования с $a = 0,025$ мм составил 463 кг·м, что соответствует нагрузке $\Sigma P = 1,0$ т. Изгибающий момент, соответствующий предельно допустимому прогибу $F = 18,5$ мм, составил 1853,3 кг·м. Изгибающий момент, соответствующий раскрытию трещин до предельно допустимого значения $a_{cp} = 0,25$ мм по II группе предельных состояний, составил 2316,7 кг·м. Разрушающая нагрузка при 3-точечном изгибе составила $\Sigma P = 10$ т. Предельный изгибающий момент – 4633,3 кг·м.

Прогибы с увеличением роста нагрузки имеют линейный вид. При нагрузке $\Sigma P = 1000$ кг в зоне чистого изгиба возникают трещины до 4 шт., с раскрытием до 0,02 мм. При увеличении нагрузки с $\Sigma P = 2000$ до $\Sigma P = 5000$ кг в опорных зонах возникает до 25 трещин с увеличением текущих трещин в зоне чистого изгиба, при этом прогиб превышает допустимую величину. При нагрузке $\Sigma P = 5000$ кг происходит раскрытие трещин до предельно допустимого значения. При увеличении нагрузки с $\Sigma P = 5000$ до $\Sigma P = 9000$ кг происходит раскрытие и увеличе-

ние всех образованных трещин до 0,8 мм. При нагрузке с $\Sigma P = 9000$ до $\Sigma P = 10000$ кг происходит местное смятие кромки сжатого слоя бетона под основанием приложенных нагрузок и в центральной части с развитием наклонных трещин до 1,2 мм. Увеличение нагрузки с $\Sigma P = 10000$ кг приводит к разрушению сжатого слоя бетона, мгновенному срезу арматуры в верхнем сжатом слое бетона и последующему разрушению по наклонному сечению с отслоением защитного слоя бетона от растянутых стержней при опорного участка балки, что соответствует разрушению сцепления.

По результатам испытаний балок БЖ-1 момент трещинообразования ($a = 0,04$ мм) составил 1390,3 кг·м, что соответствует нагрузке $\Sigma P = 3,0$ т. Изгибающий момент, соответствующий предельно допустимому прогибу $F > 18,5$ мм, составил 5000 кг·м. Момент, соответствующий раскрытию трещин до контрольного значения $a_{cp} = 0,25$ мм, составил 6000 кг·м. Разрушающая нагрузка при 3-точечном изгибе составила $\Sigma P = 13$ т. Предельный изгибающий момент – 6023,3 кг·м.

Таблица 2. Результаты испытаний балок БЖ-1

№ п/п	Нагрузка, кг		Момент, кг·м	Прогиб (F)/ширина раскрытия трещины (a), мм						F _{ср}	Примечание
	P1=P2	ΣP		БЖ-1-5		БЖ-1-4		БЖ-1-6			
				F	a	F	a	F	a		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	500	1000	463,3	1,00	–	1,55	–	1,50	–	1,35	
2	1000	2000	926,7	2,00	–	3,20	–	3,10	–	2,77	
3	1500	3000	1390,0	4,00	–	5,20	–	5,00	0,04	4,73	
4	2000	4000	1853,3	6,00	0,04	6,40	0,04	7,20	0,04	6,53	
5	2500	5000	2316,7	8,00	0,05	9,10	0,04	9,80	0,04	8,97	
6	3000	6000	2780,0	11,20	0,06	11,40		11,70		11,43	
7	3500	7000	3243,3	12,80	0,08	12,40	0,06	12,90	0,07	12,70	
8	4000	8000	3706,7	14,80	0,10	14,50		15,00		14,77	
9	4500	9000	4170,0	16,80	0,12	17,20	0,12	17,90	0,10	17,30	
10	5500	11000	5096,7	20,30	0,15	21,20	0,2	20,80	0,15	20,77	F>18,5 мм
11	6500	13000	6023,3	25,30	0,2	35,40*	1,1	25,70	0,2	28,80	a _{ср} >0,25 мм
12	6750	13500	6255,0	30,55	0,5	–		45,20*	1,4	37,875	Разрушение по сжатию бетона
13	7000	14000	6486,7	41,80*	0,85	–		–	–	41,80	
14	0.0	0	0	18,1		22,7		21,3		20,7	Остаточный прогиб

Рост прогибов при испытании балок БЖ-1 имел линейный характер с ростом нагрузки до контрольной ширины раскрытия трещины. При нагрузке $\Sigma P = 3000$ кг в зоне чистого изгиба возникают трещины до 2 шт. с раскрытием до 0,04 мм. При увеличении нагрузки с $\Sigma P = 5000$ до $\Sigma P = 11000$ кг в опорных зонах возникает до 26 трещин с увеличением текущих в зоне чистого изгиба. При достижении нагрузки $\Sigma P = 10000$ кг происходит превышение допустимого прогиба. При нагрузке $\Sigma P = 12000$ кг происходит рас-

крытие трещин до предельно допустимого значения. При нагрузке с $\Sigma P = 13000$ до $\Sigma P = 14000$ кг происходит разрушение сжатого слоя бетона в средней части изгибаемого элемента с резким увеличением ширины раскрытия трещины до 1,4 мм.

По представленным данным произведена сравнительная характеристика показателей композитной и стальной арматуры, отображенная в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительные показатели, полученные при испытании

Показатели оценки	БЖ-1 (А500С)	БК-1 (АСК)	АСК/А500С
Момент трещинообразования $M_{ср}$, кг·м	1390,0	463,3	0,33
Момент при достижении предельно допустимого прогиба M_F , кг·м	5000	1853,3	0,37
Момент при достижении предельно допустимой ширины раскрытия трещины $M_{a_{ср}}$, кг·м	6000	2316,7	0,38
Момент предельный при разрушении, кг·м	6023,3	4633,3	0,77
Предельная нагрузка ΣP , кг	13000	10000	0,77
Максимальный прогиб при $\Sigma P=10000$ кг, $F_{ср}$, мм	19	66	3,47
Максимальный прогиб при разрушении $F_{ср}$, мм	35	66	1,89
Характер разрушения испытываемых балок	По сжатию бетону, с частичным восстановлением	По сжатию бетону и наклонной трещине	

По результатам проведенных испытаний было установлено:

- момент трещинообразования балок, армированных АСК, в 3 раза ниже, что составляет 33 % от величины момента трещинообразования

балок, армированных стальной арматурой А500С;

- изгибающий момент при достижении предельно допустимого прогиба у балок с композитной арматурой в 2,7 раза ниже значения для

балок, армированных стальной арматурой, и составляет 37 %;

- изгибающий момент при достижении предельно допустимой ширины раскрытия трещины у балок с АСК в 2,59 раза меньше, чем значения для балок, армированных стальной арматурой, и составляет 38 %;

- предельный изгибающий момент при разрушении у балок с АСК составляет 77 %, что в 1,3 раза меньше значения для балок, армированных стальной арматурой;

- предельная суммарная нагрузка у балок с АСК $\sum P = 10000$ кг, у железобетонных балок – $\sum P = 13000$ кг;

- деформативность балок с АСК при нагрузке $\sum P = 10000$ кг в 3,47 раза выше, чем у балок с А500С при сохранении армирования одинаковой суммарной площади армирования.

Характер разрушения балок, армированных АСК и стальной арматурой, различен. У балок с композитной арматурой (БК-1) выражена явная динамика развития наклонных трещин из-за повышенной деформативности и существенно больших прогибов. Разрушение происходит в результате одновременного среза бетона и арматуры в сжатой зоне с мгновенным разрушением конструкции, без восстановления. У балок со стальной арматурой разрушение происходило из-за разрушения сжатого слоя бетона в середине балки, с частичным выпрямлением (уменьшением прогибов и ширины раскрытия трещин) балок после снятия нагрузки.

Балки, армированные стальной арматурой, удовлетворяют предъявляемым по прочности и трещиностойкости требованиям в соответствии с типовой серией 1.038.1-1 [7]. Балки, армированные полимеркомпозитной арматурой, в сравнении с аналогичными балками со стальной арматурой, не удовлетворяют требованиям жесткости и трещиностойкости, но при этом прочность балок обеспечена.

Библиографические ссылки

1. ТУ 2296-001-24488682-2014. Арматура стеклокомпозитная «КомАР». Технические условия.
2. ГОСТ 3282–84 «Проволока низкоуглеродистая общего назначения».
3. Серия 1.038.1-1 Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами. Выпуск 1. Пере-

мычки брусковые для жилых и общественных зданий.

4. ГОСТ 8829–94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости».

5. Серия 1.038.1-1 Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами. Выпуск 1. Перемычки брусковые для жилых и общественных зданий.

6. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07 – 85*.

7. Серия 1.038.1-1 Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами. Выпуск 1. Перемычки брусковые для жилых и общественных зданий.

References

1. *Armatura steklokompozitnaya «KomAR». Tekhnicheskie usoviya*, TU 2296-001-24488682-2014 (Fiberglass composite reinforcement «KomAR». Technical requirements) (in Russ.).

2. *Provoloka nizkouglerodistaya obshchego naznacheniya*, GOST 3282–84 (General purpose low-carbon wire) (in Russ.).

3. *Peremychki zhelezobetonnye dlya zdaniy s kirpichnymi stenami. Vypusk 1. Peremychki bruskovye dlya zhilykh i obshchestvennykh zdaniy*, Seriya 1.038.1-1 (Reinforced concrete jumpers for buildings with brick walls. Issue 1. Jump bridges for residential and public buildings) (in Russ.).

4. *Izdeliya stroitel'nye zhelezobetonnye i betonnye zavodskogo izgotovleniya. Metody ispytaniy nagruzheniem. Pravila otsenki prochnosti, zhestkosti i treshchinostoykosti*, GOST 8829–94 (Products made of reinforced concrete and concrete factory made. Methods of loading tests. Rules for evaluation of strength, rigidity and crack resistance) (in Russ.).

5. *Peremychki zhelezobetonnye dlya zdaniy s kirpichnymi stenami. Vypusk 1. Peremychki bruskovye dlya zhilykh i obshchestvennykh zdaniy*, Seriya 1.038.1-1 (Reinforced concrete jumpers for buildings with brick walls. Issue 1. Jump bridges for residential and public buildings) (in Russ.).

6. *Nagruzki i vozdeistviya*, SP 20.13330.2011 (Loads and effects) (in Russ.).

7. *Peremychki zhelezobetonnye dlya zdaniy s kirpichnymi stenami. Vypusk 1. Peremychki bruskovye dlya zhilykh i obshchestvennykh zdaniy*, Seriya 1.038.1-1 (Reinforced concrete jumpers for buildings with brick walls. Issue 1. Jump bridges for residential and public buildings) (in Russ.).

N. V. Begunova, Senior lecturer, Kalashnikov ISTU

V. N. Vozmishchev, Deputy General Director «KomAR» Ltd.

In this paper, we present the results of studies of concrete beams for strength, rigidity and crack resistance reinforced with fiberglass rebar manufactured by KomAR. The purpose of the study was to determine the strength, rigidity and crack resistance of beams with a fiberglass rebar and their comparison with reinforced concrete beams, which were adopted by reference beams. The main document, stating the requirements for testing, is GOST 8829-94 «Products reinforced concrete and concrete factory production. Methods of loading tests. Rules for evaluation of strength, rigidity and crack resistance». Beams with composite rebar are made by analogy with beams with steel rebar with preservation of geometry, diameter and number of rebar bars. The test program included the study of technical documentation for products, the study of regulatory documents for a possible field of application, visual inspection of the appearance of samples, testing of strength, rigidity and crack resistance. External inspection and examination of the beams were carried out to check the quality of the surfaces (the presence of defects and damage). Checking the size of the beams and the establishment of surface defects (shells, chips) is performed with the help of measuring instruments: calipers, roulette and measuring magnifier.

Keywords: fiberglass rebar, steel rebar, concrete beam, deflection, crack opening width.

Получено: 05.12.17