

УДК 620.191.33:621.643.2-033.37

В. И. Положнов, А. В. Положнов, Е. Е. Гнедаш**ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ПРОГИБОВ
В РАБОТЕ ТРУБНОЙ АРМАТУРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ
В ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

Рассматривается эксплуатационная пригодность железобетонных изделий, армированных трубами малого диаметра из стали СтЗпс с нанесенным периодическим профилем. Описывается ход испытания трех серий опытных образцов с разным процентом армирования. По результатам испытаний проведено сопоставление опытных данных с расчетной оценкой прогибов и момента трещинообразования.

Ключевые слова: трубы, армирование, трещиностойкость, прогибы, изгибаемые железобетонные элементы.

The article discusses the usability of reinforced-concrete products, reinforced pipes of small diameter from St3ps steel, with applied periodic profile. The test run of three series of prototypes with different percentage of reinforcement is described. According to the test results the comparison of the experimental data with the calculated estimation of deflections and cracking is carried out.

Key words: pipes, reinforcing, crack resistance, deflections, bent ferroconcrete elements.

Для оценки эксплуатационной пригодности железобетонных изделий, армированных трубной арматурой класса Т500 из стали марки СтЗпс, были изготовлены три серии балок с разным значением ξ_{st} сечением $b \times h = 300 \times 160$ мм, пролетом $l = 3000$ мм из тяжелого бетона класса В13.

Балки изготовлены по агрегатно-поточной технологии. В качестве рабочей использована трубная арматура класса Т500 диаметром 20 мм [1], геометрические размеры и характеристики сечения испытываемых балок приведены на рис. 1 и в табл. 1.

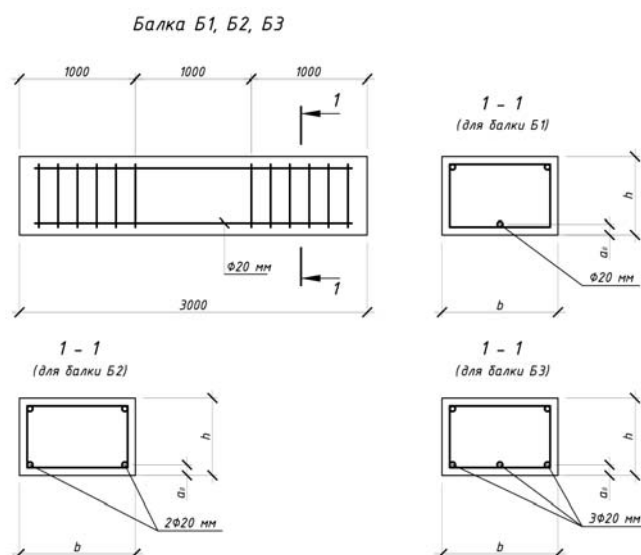


Рис. 1. Геометрические размеры и рабочее армирование

Т а б л и ц а 1

Характеристики используемых балок

Шифр балки	Расход арматуры $\varnothing$, мм, A_s , мм	Геометрические характеристики								
		Натурные, мм				сечения				
		l_p	b	h	a_0	A_{red} , см ²	W_{red} , см ³	W_{pl1} , см ³	W_{pl2} , см ³	J_{red} , см ⁴
Б1-1	$\varnothing 20$	2900	305	166	25	518,17	1471,32	1912,71	2574,80	12016,46
Б1-2	$A_s = 1,43$		285	165	20	482,12	1373,62	1785,71	2403,84	11121,02
Б2-1	2 $\varnothing 20$	2900	310	162	30	522,99	1456,51	1893,46	2548,89	11502,42
Б2-2	$A_s = 2,86$		285	155	27	462,54	1242,94	1615,82	2175,14	9350,62
Б3-1	3 $\varnothing 20$	2900	296	162	25,5	510,71	1467,47	1907,71	2568,07	11389,11
Б3-2	$A_s = 4,29$		300	165	24	526,19	1548,02	2012,42	2709,03	12234,39

Примечания: W_{pl1} , W_{pl2} — $W_{pl1} = 1,3W_{red}$ и $W_{pl2} = 1,75W_{red}$ соответственно.

Нагружение испытуемых балок осуществлялось домкратом посредством траверсы согласно расчетной схеме (рис. 2).

Площадь сечения поршня домкрата равна

$$A_{пор} = \frac{\pi D^2}{4}. \quad (1)$$

Загружение балок производилось этапами по шкале динамометра с ценой деления $p_i = 10 \text{ кг/см}^2$, что соответствует сосредоточенной нагрузке, равной

$$P = p_i A_{пор}. \quad (2)$$

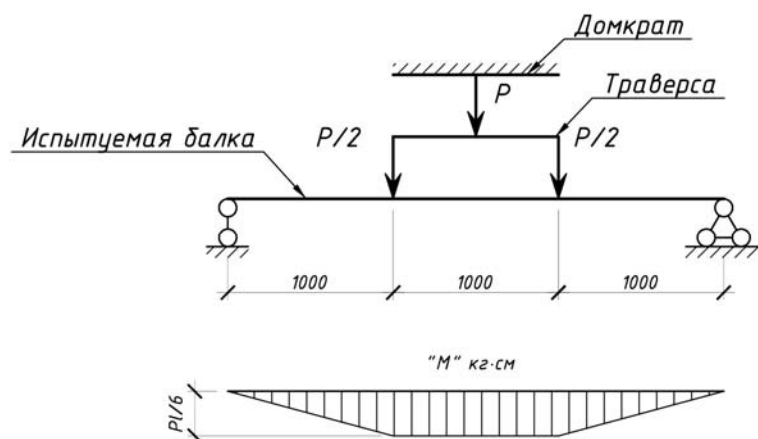


Рис. 2. Расчетная схема балки

Разрушающий момент, согласно расчетным характеристикам бетона и арматуры, приведенным в табл. 2, определяется выражением

$$M_R = \sigma_{st} A_s \left(h_0 - \frac{0,5 \sigma_{st} A_s}{R_b b} \right) = \frac{P_R l}{6}. \quad (3)$$

Разрушающая нагрузка:

$$P_R = P_R^k = \frac{6M_R}{l_R}, \quad (4)$$

где P_R^k — контрольная разрушающая нагрузка с учетом собственного веса.

Для балочных конструкций из бетона В20 сечением $b \times h = 300 \times 165$ мм контрольную разрушающую нагрузку с учетом собственного веса при использовании в качестве рабочей арматуры трубной стали класса Т500 можно представить как

$$P_R^k = c \frac{6M_R}{l}, \quad (5)$$

где c — коэффициент запаса прочности, принимаемый согласно ГОСТ 8829—94. В нашем случае для конструкций, разрушаемых по растянутой арматуре, $c = 1,3$. Тогда

$$P_R = \frac{6 \left[R_s A_s \left(h_0 - 0,5 \left(\frac{R_s A_s}{R_b b} \right) \right) \right]}{l}, \quad (6)$$

$$P_R^k = 1,3 P_R.$$

Собственный вес балки равен

$$G_{sw} = \gamma_{ж/б} b h l. \quad (7)$$

Тогда P_R^{k*} без собственного веса будет равен:

$$P_R^{k*} = P_R^k - G_{sw}. \quad (8)$$

Для конструкций, разрушаемых по сжатоу бетону (без учета собственного веса),

$$P_R^{k*} = 1,6 P_R^k - G_{sw}. \quad (9)$$

Нормативная нагрузка, соответствующая расчетной P_R , принимается как

$$P_n = \frac{P_R}{1,2}. \quad (10)$$

Контрольную нагрузку для оценки жесткости и трещиностойкости без учета собственного веса согласно [1] принимаем как

$$P_{crc}^k = P_f^k - G_{sw}. \quad (11)$$

Контрольный прогиб при P_f вычисляем в виде

$$f_k = \frac{P_f^k}{1} 0,0355 \frac{l^2}{\varphi_b E_b J_{red}}. \quad (12)$$

Значения контрольных характеристик приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Контрольные характеристики бетона и арматуры

Шифр балки	Нагрузка за вычетом собственного веса, кгс			Контрольный прогиб, мм		Контрольная ширина раскрытия трещин a_{crc}^k	
	$P_{crc}^k = P_f^k$	P_R^k		P_{sw}	f^k		$f_{доп}$
		$c = 1,3$	$c = 1,6$				
Б1-1	816	1910	2430	360	4,10	4,51	0,20
Б1-2							
Б2-1	2340	3840	4825	360	6,32	6,95	0,20
Б2-2							
Б3-1	3385	5480	6830	360	6,31	6,94	0,20
Б3-2							

Класс (марку) бетона, прочностные характеристики рабочей арматуры марки Ст.3ПС в закаленном варианте определялись в соответствии с требованиями ГОСТ 10180—90 и ГОСТ 1497—84.

Нагружение испытуемых балок внешней нагрузкой осуществляли ступенями. В качестве грузов использовали траверсу с загрузением балок в третьих пролетах (см. рис. 2).

В качестве основного груза использовали домкрат, передающий нагрузку двумя силами (опорами траверсы). Площадь поршня $A_{пор} = 24,62 \text{ см}^2$ (см. формулу 2).

После каждой ступени загрузки снимали отсчеты по прогибомерам П1 и П2 в пролете с двух сторон, индикаторами часового типа Б1 и А1 измеряли деформации сжатого бетона и растянутой арматуры, индикаторами 0-1...0-4 измеряли проскальзывание арматуры в теле бетона.

Схема расстановки измерительных приборов приведена на рис. 3.

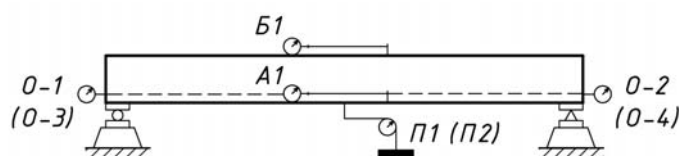


Рис. 3. Схема расстановки измерительных приборов

На момент испытаний опытной балки средняя прочность от контрольных кубиков соответствует $M = 169,1 \text{ кгс/см}^2$ (В13.2). Переход на призмную прочность осуществляли согласно выражению

$$\bar{R}_b = \bar{R}(0,77 - 0,0001\bar{R}). \quad (13)$$

Прочность на растяжение определяли по формуле

$$\bar{R}_{bt} = \frac{50\bar{R}}{450 + \bar{R}}. \quad (14)$$

Таким образом, бетон соответствует классу В20 (табл. 3).

Результаты испытаний на разрыв по ГОСТ 12004—81 образцов используемой в балках рабочей арматуры класса Т500С приведены в табл. 3. Из них следует, что используемая рабочая арматура соответствует требованиям, предъявляемым к арматуре класса А500С.

Таблица 3

Расчетные характеристики, кг/см²

Шифр балки	Бетон					Арматура	
	$\bar{R}$	B	R_b	R_{bt}	σ_{st}	σ_{sw}	δ_5
Б1-1	169,1	13,2	127,3	13,65	6053	6225	9,8
Б1-2							
Б2-1	264	206	196,3	18,5	6053	6225	9,8
Б2-2							
Б3-1	250	19,5	186,2	17,85	6053	6225	9,8
Б3-2							

Теоретический момент трещинообразования испытанных балок P_{crc}^T определяли методом ядровых точек согласно выражениям

$$M_{crc}^T = R_{bt} W_{pl1}, \quad (15)$$

$$P_{crc}^T = \frac{6M_{crc}^T}{l} = \frac{6R_{bt} W_{pl1}}{l}, \quad (16)$$

где W_{pl1} , l — геометрические характеристики (см. табл. 1).

Расхождение опыта с расчетом $\frac{P_{crc}^{on}}{P_{crc}^T}$ составило: для балок Б1 — 1,44...1,54; для балок Б2 — 1,63...1,93; для балок Б3 — 2,06...1,96.

Таким образом, опытные результаты выше расчетных значений, что свидетельствует о резервах трещиностойкости. Расчетный прогиб при контрольной по жесткости нагрузке по деформированной схеме оценивали согласно выражению

$$f^T = \frac{\varepsilon_s + \varepsilon_b}{h_0} S l_p^2, \quad (17)$$

где S из определили как

$$S = \left(\frac{1}{8} - \frac{a^2}{6l_p^2} \right). \quad (18)$$

Разница опытных и теоретических значений прогибов $\Delta f = \frac{f^{op}}{f^T}$, согласно табл. 4, при $P_f^k = 816$ кгс составляет: для Б1 — 0,422...0,470; для Б2 — 0,465...0,646; для Б3 — 0,561...0,619.

Т а б л и ц а 4

Характеристики испытанных балок

Шифр балок	Трещинообразование, кгс				Прогибы, см			
	$P_{срс}^{op}$	$P_{срс}^{op*} = P_{срс}^{op} + P_{sw}^{op}$	$P_{срс}^T$	$\Delta P_{срс}^{op}$	P_f^k , кгс	f^{op}	f^T	f^{op} / f^T
Б1-1	627	$627 + 360 = 987$	684,9	1,44	816	0,66	1,42	0,422
Б1-2			639,7	1,54		0,69	1,46	0,470
Б2-1	1118	$1118 + 360 = 1478$	908,3	1,63	2340	0,55	1,19	0,465
Б2-2			764,4	1,93		0,68	1,06	0,646
Б3-1	1364	$1364 + 360 = 1724$	837,0	2,06	3385	1,25	2,02	0,619
Б3-2			880,0	1,96		1,10	1,96	0,561

Общие выводы:

1. Испытанные балки с трубной арматурой периодического профиля класса Т500С (наружный диаметр 20 мм) при $\zeta \approx 0,16$ отвечают требованиям ГОСТ 8829—94 по жесткости и трещиностойкости:

разрушение балок происходило по нормальным сечениям по первому случаю (по растянутой арматуре). Коэффициент запаса прочности выше контрольных значений и ГОСТ 8829—94;

опытные значения прогибов заметно ниже контрольных характеристик;

моменты трещинообразования и ширина раскрытия трещин достигают контрольных значений при нагрузках, заметно выше регламентируемых ГОСТ 8829—94;

нарушение сцепления растянутой арматуры с бетоном практически не наблюдается вплоть до разрушения опытных балок.

2. Результаты сопоставления опыта с расчетной оценкой показали:

занижение расчета при оценке трещинообразования;

завышение расчетной оценки прогибов.

3. Рабочая трубная арматура периодического профиля может быть использована в изгибаемых элементах при $\zeta = 0,20 \dots 0,25$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Положнов В. И., Трифонов В. И., Гнедаш Е. Е. Создание арматуры периодического профиля из труб малого диаметра // Бетон и железобетон. 2010. № 3. С. 19—21.

1. Polozhnov V. I., Trifonov V. I., Gnedash E. E. Sozdanie armatury periodicheskogo profilya iz trub malogo diametra // Beton i zhelezobeton. 2010. № 3. S. 19—21.

© Положнов В. И., Положнов А. В., Гнедаш Е. Е., 2015

Поступила в редакцию
в мае 2015 г.

Ссылка для цитирования:

Положнов В. И., Положнов А. В., Гнедаш Е. Е. Оценка трещиностойкости и прогибов в работе трубной арматуры периодического профиля в изгибаемых железобетонных элементах // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2015. Вып. 4(40). Ст. 3. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

Polozhnov V. I., Polozhnov A. V., Gnedash E. E. [Assessment of crack resistance and deflections in operation of pipe bar of a periodic profile in the bent ferroconcrete elements]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2015, no. 4(40), paper 3. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>