

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА
ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН
ГОРОДСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ЗДАНИЙ**

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова»,
г.Магнитогорск

Анатолий Леонидович Кришан
Заведующий кафедрой строительных конструкций
архитектурно-строительного факультета,
доктор технических наук

Михаил Юрьевич Наркевич
Доцент кафедры строительных конструкций
архитектурно-строительного факультета,
кандидат технических наук

Одним из обстоятельств, препятствующих широкому применению трубобетонных колонн в России, является отсутствие отечественных норм по их проектированию и расчету. Существующие методики расчета существенно отличаются друг от друга и предназначены, в основном, для элементов, работающих на центральное сжатие.

Согласно действующим нормам эксцентриситет продольной сжимающей силы в любом случае принимают не менее случайного. Поэтому разработка достоверной и приемлемой для практики методики расчета внецентренно сжатых трубобетонных элементов также является актуальной задачей.

Результаты сопоставления теоретических значений прочности внецентренно сжатых трубобетонных колонн (ТБК), подсчитанных по наиболее часто используемым методикам, с экспериментальными данными представлены в табл. 1. Геометрические и конструктивные параметры ТБК, а также относительные эксцентриситеты сжимающей нагрузки e_0/d , приведены в табл. 2.

Анализ данных таблицы 1 свидетельствует, что близкую к удовлетворительной сходимость позволяет получить методика Л.И.Стороженко - коэффициент вариации вектора ошибок составил 14,8% при наибольших отклонениях от +28% до -17%. Немногим более точны китайские нормы (коэффициент вариации 13,1%, наибольшие отклонения от +33% до -7,4%). Использование других методик приводит к существенно большим погрешностям.

Однако основной недостаток всех предложенных подходов – невозможность достоверно оценить прочность внецентренно сжатого трубобетонного элемента, имеющего какие-либо отличия от «классической» конструкции - например, наличие стержневой, высокопрочной или жесткой арматуры, предварительного обжата бетонного ядра, эффекта пресования бетонной смеси и др.

Таблица 1

Результаты сопоставления теоретических значений несущей способности внецентренно сжатых ТБК с опытными данными

№ п/п	Автор	Формула	Коэффициент вариации; наибольшее отклонение от эксперимента
1	Л.И. Стороженко	<p>- при $e_o < 0,125d$</p> $N = \frac{d}{d + 8e_o} (c\alpha_{\text{вн}} R_s A_s + \beta_{\text{вн}} R_b A);$ <p>- при $e_o \geq 0,125d$</p> $N = \frac{d}{d + 4e_o} (\alpha_{\text{вн}} R_s A_s + \beta_{\text{вн}} R_b A),$ <p>где $c = (1 + 8e_o / d) / (1 + 8De_o / (D^2 + d^2));$</p> $\alpha_{\text{вн}} = \alpha;$ $\beta_{\text{вн}} = 1,15 - \text{при } e_o \geq d;$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $\beta_{\text{вн}} = \beta - \frac{e_o}{d} (\beta - 1,15)$ </div> <p style="margin-left: 100px;">- при $e_o < d.$</p>	0,148; +28% / -17%
2	Нормы Японии	<p>- при $N \leq N_b$</p> $N = N_b; \quad M \leq M_{so} + M_b;$ <p>- при $N > N_b$</p> $N \leq N_s + N_b; \quad M = M_s,$ <p>- при $0 < \xi \leq 1$</p> $N_b = \{ \sin \theta_n (2 + \cos^2 \theta_n) / 3 - \theta_n \cos \theta_n \} d_b^2 R_b / (8\xi);$ $M_b = \{ \theta_n + \sin 2\theta_n (\cos^2 \theta_n - 2,5) / 3 \} d_b^3 R_b / (64\xi);$ <p>- при $\xi > 1$</p> $N_b = \pi \{ 1 - 1 / (2\xi) \} d_b^2 R_b / 4;$ $M_b = \pi d_b^3 R_b / (64\xi).$ $\xi = \frac{x}{d_b}; \quad \theta_n = \cos^{-1} (1 - 2\xi)$	0,226; - 2% / -30,5%

Предотвращение аварий зданий и сооружений

Окончание табл. 1

№ п/п	Автор	Формула	Коэффициент вариации; наибольшее отклонение от эксперимента
3	Нормы КНР	$P_{u,d} = \varphi_l \varphi_e P_{u,d}^0,$ где $\varphi_l = 1 - 0,115 \left(\frac{l}{d} - 4 \right)^{\frac{1}{2}};$ $\varphi_e = \frac{1}{1 + 1,35 \frac{e_0}{r_c}}$	0,131; +33% / -7,4%
4	Европейские нормы	$N = \eta_p \cdot A_p \cdot R_{s,p} + A_b \cdot R_b \left(1 + \frac{\eta_b \cdot l \cdot R_{s,p}}{d \cdot R_b} \right),$ - при $e_0/d \leq 0,1$ $\eta_b = \eta_{bo} \cdot (1 - 10 \cdot \frac{e_0}{d_b});$ $\eta_p = \eta_{po} + (1 - \eta_{po}) \cdot \frac{10 \cdot e_0}{d_b};$ - при $e_0/d > 0,1$ $\eta_b = 0; \quad \eta_p = 1$	0,268; +7% / -72,1%

Таблица 2

Экспериментальные данные несущей способности
внецентренно сжатых ТБК

№ п/п	e ₀ /d	d, мм	δ, мм	R _s , МПа	R _b , МПа	N _u ^{Exp} , кН	Автор эксперимента
1	0,06	159	6	295	22	1406	А.И. Сагадатов
2	0,13	159	6	295	22,5	1210	
3	0,26	159	6	295	24,2	932	
4	0,06	159	6	295	32,1	1559	
5	0,13	159	6	295	32,8	1412	
6	0,26	159	6	295	35,1	1066	
7	0,06	219	8	290	32,5	2921	
8	0,13	219	8	290	30,5	2698	
9	0,26	219	8	290	32,1	1962	
10	0,06	219	8	290	46,1	3308	
11	0,13	219	8	290	43,4	3041	
12	0,26	219	8	290	45,6	2289	

№ п/п	e_0/d	d , мм	δ , мм	R_s , МПа	R_b , МПа	N_u^{Exp} , кН	Автор эксперимента	
13	0,125	159	6	440	38,9	1774	К.С. Кузнецов	
14	0,25	159	6	440	41,6	1346		
15	0,375	159	6	440	38,0	1059		
16	0,125	159	6	440	55,8	1842		
17	0,25	159	6	440	57,5	1515		
18	0,375	159	6	440	59,0	1238		
19	0,125	106	4	435	40,5	849		
20	0,25	106	4	435	41,2	633		
21	0,375	106	4	435	37,4	468		
22	0,125	106	4	435	54,6	839		
23	0,25	106	4	435	58,2	691		
24	0,375	106	4	435	57,8	572		
25	0,09	106	3	288	16,8	400		Л.И. Стороженко
26	0,189	106	3	288	16,8	300		
27	0,28302	106	3	288	16,8	270		
28	0,37736	106	3	288	16,8	230		
29	0,4717	106	3	288	16,8	200		
30	0,9434	106	3	288	16,8	115		
31	0,37594	133	4	288	16,8	480		
32	0,75188	133	4	288	16,8	250		
33	0,0623	530	7,8	349,2	34,5	12500	В.Л. Шабров	
34	0,1245	530	7,8	349,2	34,5	10700		
35	0,0623	530	11,95	322,6	34,5	14500		
36	0,1245	530	11,95	322,6	34,5	12500		
37	0,0635	630	6,6	303,0	25,6	12000		
38	0,127	630	6,6	303,0	25,6	10500		
39	0,0635	630	9,8	311,0	34,9	17000		
40	0,127	630	9,8	311,0	34,9	15000		
41	0,0625	720	7,7	395,4	28,3	18500		
42	0,125	720	7,7	395,4	28,3	16000		
43	0,0625	720	9,6	315,6	28,3	18500		
44	0,125	720	9,6	315,6	28,3	16000		
45	0,0625	720	11,74	274,0	28,3	19000		
46	0,125	720	11,74	274,0	28,3	16650		

Принципиальную возможность такой оценки дает нелинейная деформационная модель, предлагаемая для расчета железобетонных конструкций действующими нормами проектирования. Однако применительно к ТБК данная модель должна модернизироваться: учесть работу бетонного ядра и стальной оболочки в сложном напряженном состоянии, наличие предварительного обжатия ядра, перераспределение усилий между ними, высокую деформативность бетона и др.

Библиографический список

1. Кришан А.Л. Новый подход к оценке прочности сжатых трубобетонных элементов // Бетон и железобетон. – №3, 2008. – С. 2-5.
2. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром: Монография – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 372 с.
3. Кузнецов К.С. Прочность и деформативность колонн из стальных труб, заполненных высокопрочным предварительно обжатым бетоном. Дисс. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2007. – 154 с.
4. Сагадатов А.И. Напряженно-деформированное состояние сжатых трубобетонных элементов с внутренним стальным сердечником. Дисс. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2006. – 180 с.
5. Стороженко Л.И. Объемное напряженно-деформированное состояние железобетона с косвенным армированием: Дисс. ... докт. техн. наук. – Кривой Рог, 1984. – 587 с.
6. Шабров В.Л. Прочность трубобетонных элементов диаметром 500 мм и более при внецентренном сжатии: Дисс. канд. ... техн. наук. – М.: НИИЖБ, 1988. – 253 с.
7. AII. Standard for structural Calculation of Steel Reinforced Concrete Structures, 5th Ed. Architectural Institute of Japan, Tokyo. – 2001.
8. CECS 28:90/ Specification for design and construction concrete-filled steel tubular structures. Beijing: China Planning Press, 1992.
9. Eurocode 4: EN 1994-1-1:2004 Design of composite steel and concrete structures – Part 1.1. – Brussels. – 2004. – 127 p.