

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

Узун И.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Приводится сопоставительный анализ результатов расчета несущей способности трубобетонных элементов (ТБЭ) с экспериментальными данными. Установлено, что Еврокод 4 наиболее осторожно оценивает несущую способность опытных ТБЭ. В Украине рекомендуется рассчитывать короткие ТБЭ по Еврокоду 4.

В последние годы, наряду с железобетонными конструкциями, строители начали применять комплексные несущие конструкции из стали и бетона [1]. Однако, широкое применение их [1] сдерживается отсутствием отечественных норм проектирования, которые позволят учитывать особенности определения сопротивления бетонных сердечников и стальных оболочек. Цель статьи: изучить особенности расчета несущей способности ТБЭ по методам [2, 3], предложенным учеными стран СНГ, и по Еврокоду 4 [1] и на основе сопоставительного анализа разработать предложения по расчету ТБЭ.

Методы расчета несущей способности ТБЭ [2, 3] основываются на результатах экспериментальных исследований, которые показывают, что в процессе нагружения в ТБЭ возникает сложное напряженное состояние, параметры которого изменяются на различных этапах нагружения. В работах [2, 3] по-своему учитывают особенности напряженно-деформированного состояния (НДС), что приводит к отклонениям результатов расчета от экспериментальных данных. В основе расчета авторы [2, 3] рассматривают разные этапы нагружения ТБЭ, в разной степени учитывают влияние класса бетона, процента армирования, коэффициентов условий работы стальной оболочки и ТБЭ на сопротивление бетонных сердечников $\sigma_{e,ser}^*$ и сопротивление стальных оболочек σ_2 .

В основу методов расчета [2] и [3] положено достижение предела текучести в стальной оболочке, наблюдаемое при продольной деформации $200...240 \cdot 10^{-5}$ и при больших значениях деформаций $240...300 \cdot 10^{-5}$. В работе [2] несущую способность предложено определять по формуле

$$N = m \cdot (\sigma_{\text{в,сер}}^* \cdot A_{\text{в}} + \sigma_2 \cdot A_s), \quad (1)$$

где m – коэффициент условия работы ТБЭ, при кратковременном действии нагрузки $m = 1$;

$\sigma_{\text{в,сер}}^*$ – нормативное сопротивление бетонного сердечника, определяемое по таблице 1 [2];

σ_2 – сопротивление стали оболочки, определяемое по СНиП II-23-81* [4] в зависимости от марки стали, $\sigma_2 = R_{\text{s,сер}}$.

Таблица 1

Нормативные сопротивления бетонных сердечников $\sigma_{\text{в,сер}}^*$ ТБЭ в зависимости от класса бетона и коэффициента армирования μ

Источник, μ	Классы бетона В, МПа							
	15	20	25	30	35	40	45	50
[2], $\mu \leq 0,125$	33,7	37,3	40,4	43,0	45,5	48,0	53,0	56,5
[3], $\mu = 0,125$	28,8	35,0	38,5	40,4	45,0	49,0	54,4	–

Примечание к табл. 1: В источнике [2] сопротивления $\sigma_{\text{в,сер}}^*$ постоянны при $\mu \leq 0,125$; в источнике [3] при $\mu < 0,125$ сопротивления $\sigma_{\text{в,сер}}^*$ понижаются по табл. 2 [3].

По методу расчета [3] несущую способность ТБЭ определяют по аналогичной формуле

$$N = \gamma_{\text{вс}} (\sigma_{\text{в,сер}}^* \cdot A_{\text{в}} + \gamma_{\text{s2}} \cdot \sigma_2 \cdot A_s), \quad (2)$$

где $\gamma_{\text{вс}}$ – коэффициент условия работы ТБЭ, $\gamma_{\text{вс}} = 1,1$;

$\sigma_{\text{в,сер}}^*$ – нормативное сопротивление бетонного сердечника, определяемое по табл. 1 [3];

γ_{s2} – коэффициент условия работы стали оболочки, γ_{s2} определяют по рис. 5.1 [3];

σ_2 - сопротивление стали оболочки, определяемое по СНиП II-23-81* [4] в зависимости от марки стали, $\sigma_2 = R_{s,ser}$.

Для проверки достоверности методов расчета [2, 3] выполнен расчет ТБЭ [2], [5] по немецким нормам DIN 18806 [6]. Согласно [6] несущая способность определяется по формуле

$$N = \sigma_{\epsilon,ser}^* \cdot A_{\epsilon} + \sigma_2 \cdot A_s, \quad (3)$$

где напряжение в бетонном сердечнике

$$\sigma_{\epsilon,ser}^* = R_{\epsilon,ser} \left(1 + \eta_1 \cdot \frac{t}{D} \cdot \frac{R_{s,ser}}{R_{\epsilon,ser}} \right), \quad (4)$$

а напряжения в стальной оболочке

$$\sigma_2 = \eta_2 \cdot R_{s,ser}. \quad (5)$$

Коэффициенты η_1 , η_2 , учитывающие совместную работу бетонного сердечника и стальной оболочки, определяются по табл.3 [1].

Таблица 3

Коэффициенты η_1 (для бетонного сердечника), η_2 (для стальной оболочки) в зависимости от приведенной гибкости $\bar{\lambda}$ [1]

$\bar{\lambda}$	η_1	η_2
0,1	3,2	0,80
0,2	1,91	0,85
0,3	0,90	0,90
0,4	0,24	0,95
0,5	0,00	1,00

Приведенная гибкость $\bar{\lambda}$ определяется из условия

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N}{N_{cr}}}, \quad (6)$$

где N_{cr} - Эйлера (критическая) сила, определяемая по формуле

$$N_{cr} = \frac{\pi^2}{l_0^6} (E \cdot J)_{el}, \quad (7)$$

здесь $(EJ)_{el}$ – суммарная жесткость в предположении упругой работы бетонного сердечника и стальной обоймы

$$(EJ)_{el} = E_s \cdot J_s + E_b \cdot J_b. \quad (8)$$

В табл. 2 приведено сопоставление результатов расчета несущей способности коротких ТБЭ [2], [5] с экспериментальными данными. Наибольшее значение несущей способности $N=774,2$ кН получено по методу [2]. Несущая способность, полученная по методу [3] и методу [6], соответственно ниже экспериментального значения $N_{exp}=764,0$ кН на 5% и на 16%. Эти отклонения вызваны различными методиками определения сопротивления бетонного сердечника σ_b^* и сопротивления стальной оболочки σ_2 , опирающихся на разные теории [2, 3].

Таблица 2

Сопоставление результатов расчета несущей способности коротких ТБЭ с экспериментальными данными

$D=108$ мм; $d=100$ мм; $\sigma_{тек} = 313$ МПа; $E_s = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; В30; $R_{b,ser} = 22$ МПа; $E_b = 32,5$ МПа; $A_s = 13,95$ см²; $A_b = 78,5$ см²; $t=4$ мм; $\mu = 0,177$; $l_0 = 54$ см [2].

Метод расчета	$\sigma_{b,ser}^*$, МПа	σ_2 , МПа	N_2 , кН	N_b , кН	N , кН	N_{exp} , кН	N/N_{exp}	$N/N_{[1]}$
[2]	43,0	313	436,7	337,5	774,2	764	1,01	1,2
[3]	44,4	268,6	348,5	374,7	723,3	764	0,95	1,13
[6]	37,1	250,4	349,3	291,3	640,6	764	0,84	1,0

$D=152$ мм; $d=140,4$ мм; $\sigma_{тек} = 292,4$ МПа; $E_s = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; В20; $R_{b,ser} = 14,4$ МПа; $E_b = 27 \cdot 10^4$ МПа; $A_s = 26,63$ см²; $A_b = 154,74$ см²; $t = 5,8$ мм; $\mu = 0,172$; $l_0 = 70$ см [5].

[2]	37,3	292,4	778,7	577,2	1355,9	1300	1,04	1,07
[3]	33,2	270,2	719,5	513,8	1233,3	1300	0,95	0,97
[6]	39,8	244,4	651,0	615,9	1266,9	1300	0,97	1,0

Из сравнения результатов расчета по трем методам видно, что метод [6] наиболее осторожно оценивает несущую способность опытных ТБЭ [2], [5]. Результаты расчетов по [2, 3] в 1,07... 1,2 раза больше, чем результаты расчета по [6]. В одном случае несущая способность, определенная по методу [3], оказалась ниже на 3% несущей способности,

определенной по методу [6]. Учитывая то, что метод [6] применяется в Германии наряду с Еврокодом 4 [1], можно рекомендовать для использования в Украине при расчете коротких ТБЭ Еврокод 4 [1].

Выводы

Сопоставительный анализ результатов расчета несущей способности ТБЭ показывает, что метод расчета [6] наиболее осторожно оценивает несущую способность опытных ТБЭ. Методы расчета [6] и Еврокод 4 [1] рекомендуются для применения в Украине при расчете ТБЭ.

Литература

1. Eurocode 4: Расчет и конструирование комплексных конструкций из стали и бетона. ENV 1994-1-1. – Перевод с немецкого. Полтава: ПНТУ. – 1997. – 180 с.
2. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. – М.: Стройиздат. – 1974. – 144 с.
3. Стороженко Л.И., Плахотный П.И., Черный А.Я. Расчет трубобетонных конструкций. – К.: Будівельник. – 1991. – 120 с.
4. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. – М.: ЦИТП. – 1982.
5. Митрофанов В.П., Онипенко Д.К. Експериментальна перевірка варіаційного методу розрахунку міцності стиснутих і згинальних трубобетонних елементів / Друга Всеукраїнська науково-технічна конференція “Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону”. – Збірник наукових праць. – Випуск 50. – 1999. – с. 172-176.
6. Кебенко В.Н. Расчет сталебетонных конструкций в Германии // Проблеми теорії і практики залізобетону. Збір. наукових статей ПДТУ ім. Ю. Кондратюка. – Полтава. – 1997. – с. 210-214.