

УДК 624.016:69.059

**РОЗРАХУНОК СТИСНУТИХ ТРУБОБЕТОННИХ
ЕЛЕМЕНТІВТА ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ З
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ**

**THE CALCULATION OF CONCRETE FILLED TUBULAR
ELEMENTS AND COMPARISON RESULTS WITH
EXPERIMENTAL DATA**

*д.т.н., професор **Стороженко Л.І.**, к.т.н., доцент **Авраменко Ю.О.**,
аспірант **Семко П.О.** (Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка)*

*Dr. of Sc.Prof. **Storozhenko L.I.**, p.h.d., Associate Prof **Avramenko Y.O.**,
Postgraduate **Semko P.O.** (Poltava National Technical Yuri Konratyuk
University)*

Анотація

*Описані методи розрахунку центрально та позацентро стиснутих
трубетонних елементів, зокрема методами приведення перерізів,
за допомогою інженерних методик та згідноEurocode 4.Результати
розрахунків порівняні з експериментальними даними випробування
трьох серій трубетонних зразків.*

Annotation

*Article deals with methods of calculaton of central and non-central
compressed concrete filled steel tubular elements in particularmethod of
cross-section bringing, engineering methods and according to Eurocode 4.
The results of calculation were compared with experimental data of three
concrete filled elements test.*

Існують кілька методів розрахунку центрально та позацентрово стиснутих трубетонних елементів, зокрема, розрахунок згідно норм Eurocode 4 [1], по інженерним методикам представленим в роботі О.І. Кікіна, Р.С. Санжаровського, В.А. Трулля [2] та роботі Л.І. Стороженка [3], а також розрахунок трубетонних елементів з приведенням бетону до сталі та згідно [4].Отримані результати порівнювались з експериментальним дослідженням трубетонних зразків (рис. 1) висотою 800 мм, зовнішнім діаметром 108 мм, товщиною стінки 4 мм, виготовленими із бетону С20-25 та сталі С345. Навантаження прикладалось із ексцентриситетами 0,25D та 0,5D (27 та 54 мм відповідно) та з випадковим ексцентриситетом.

1. Розрахунок стиснутих трубобетонних елементів згідно Eurocode 4

Несуча здатність поперечного перерізу сталезалізобетонного елемента на стиск визначається за формулою:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + A_c f_{cd}, \quad (1)$$

де A_a – площа сталеві труби;

A_c – площа бетонного ядра;

f_{yd} – розрахункове значення межі текучості сталі;

f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск.

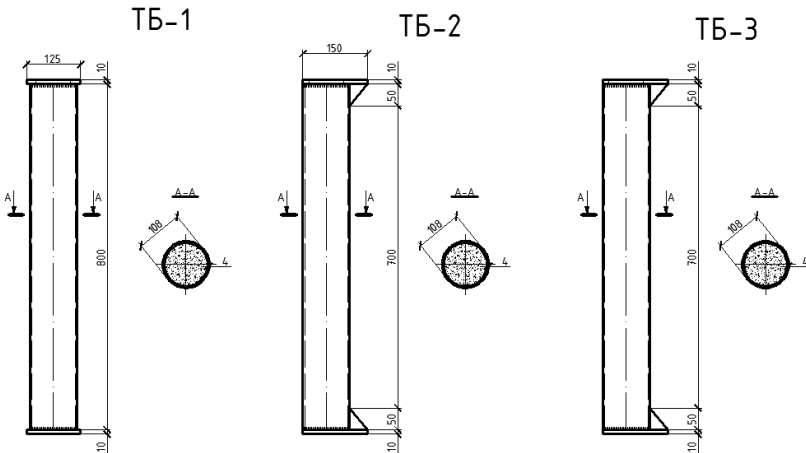


Рисунок 1. Експериментальні зразки

При розрахунку заповнених бетоном круглих труб можна врахувати ефект обтиснення бетонного ядра сталеві оболонкою, що збільшує несучу здатність трубобетонного елемента:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left(1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right). \quad (2)$$

Для центрально стиснутих елементів ($e = 0$) $\eta_a = \eta_{a0}$ та $\eta_c = \eta_{c0}$,

$$\eta_{a0} = 0,25(3 + 2\bar{\lambda}), \quad (\text{але} \leq 1,0); \quad (3)$$

$$\eta_{c0} = 4,9 - 18,5\bar{\lambda} + 17\bar{\lambda}^2, \quad (\text{але} \geq 0). \quad (4)$$

Приведена гнучкість визначається по формулі

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pl,Rk} / N_{cr}}, \quad (5)$$

де $N_{pl,Rk}$ – характеристичне значення несучої здатності труботонного елемента за формулою 1;

N_{cr} – критична сила, яка визначається за формулою Ейлера:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(\mu l)^2}, \quad (6)$$

де μl – приведена довжина елемента;

EI_{min} – характеристичне значення ефективної жорсткості, яке слід визначати по формулі:

$$EI_{min} = E_a I_a + K_e E_{cm} I_c, \quad (7)$$

де I_a , I_c – моменти інерції сталевого та бетонного перерізу відповідно;

K_e – поправочний коефіцієнт, приймається рівним 0,6.

Несуча здатність позациентрово стиснутих труботонних елементів визначалась за допомогою побудови кривої взаємодії (рис. 2)

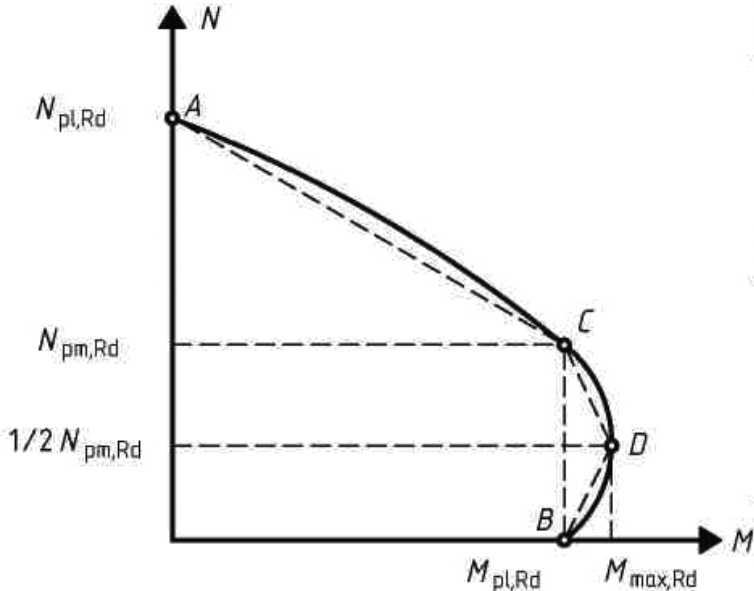


Рисунок2. Крива взаємодії [1]

Тут $N_{pl,Rd}$ – несуча здатність поперечного перерізу сталезалізобетонного елементу на стиск, що визначається за формулою (1). Граничне значення сили $N_{pm,Rd}$ визначається наступним чином для бетону та сталі, що знаходяться у області 2 (рис.3):

$$N_{pm,Rd} = 2A_d f_{yd} + A_c f_{cd}. \quad (8)$$

Виходячи з умов симетрії, згідно [5] $N_{pm,Rd}$ дорівнює опору на стиск бетонного перерізу $N_{pm,Rd} = A_c f_{cd}$.

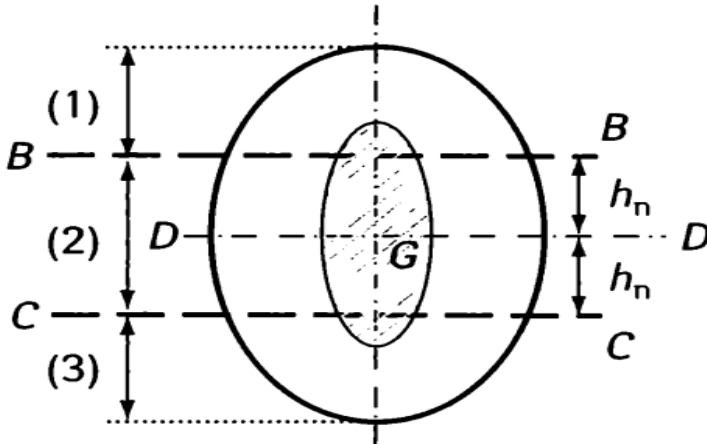


Рисунок 3. Розрахункова схема сталезалізобетонного поперечного перерізу симетричного відносно двох осей довільної форми

Максимальний момент $M_{max,Rd}$ визначається по наступній формулі:

$$M_{max,Rd} = W_a f_{yd} + 0,5 \cdot W_c f_{cd}, \quad (9)$$

де W_a – пластичний момент опору сталевій труби-оболонки, W_c – пластичний момент опору бетонного ядра.

Граничний момент $M_{pl,Rd}$ визначається наступним чином:

$$M_{pl,Rd} = M_{max,Rd} - M_{n,Rd}. \quad (10)$$

Тут $M_{n,Rd}$ – момент, який визначається по формулі 9 лише для сталевій труби оболонки та бетонного перерізу, що знаходяться у області 2 (рис.3).

2. Розрахунок стиснутих трубобетонних елементів за допомогою інженерних методів

Згідно з [3] розрахунок центрально стиснутих трубобетонних елементів на міцність має виконуватись для перерізів, нормальних до поздовжньої осі. Розрахунок виконується за умовою:

$$N_{sbt} \leq N_{per} = j_{bs} (R_b^* A_b + j_{s2} R_s A_s), \quad (11)$$

де N_{sbt} – поздовжнє зусилля від короткотривалого навантаження;

R_b^* – розрахункова міцність бетону в труобетоні;

R_s – розрахунковий опір сталевій труби-оболонки;

j_{s2} – коефіцієнт умов роботи, приймаємо згідно рис. 4.5 [3];

j_{bs} – коефіцієнт умов роботи бетону та труби у труобетоні приймаємо 1,1;

A_b – площа поперечного перерізу бетону;

A_s – площа поперечного перерізу сталі.

Розрахунок позацентрово стиснутих труобетонних елементів, залежно від довжини може виконуватись з та без урахування гнучкості. Розрахунок без урахування гнучкості виконується за формулою (12).

$$N_{sht} \leq \frac{d_i}{(d_i + 4e)} \cdot (R_b^* A_b + j_{s2} R_s A_s), \quad (12)$$

де d_i – внутрішній діаметр труби;

e – ексцентриситет прикладення навантаження.

У разі врахування гнучкості позацентрово стиснутих труобетонних елементів розрахунок здійснюється керуючись умовою (13):

$$N \leq \varphi N_{red} \quad (13)$$

де N_{red} – найбільша несуча здатність труобетонного елемента при осьовому стиску, що визначається по формулі (11);

φ – коефіцієнт поздовжнього вигину при позацентровому стиску, визначається як функція від приведеної гнучкості λ_{red} та приведенного ексцентриситету e_{red} .

Коефіцієнт приведеної гнучкості

$$\lambda_{red} = \frac{2l_0}{d_i} \sqrt{\frac{0,5 - 0,25}{1 + \mu_{pb} \psi / \chi}}, \quad (14)$$

де l_0 – приведена довжина елемента;

μ_{pb} – коефіцієнт армування;

ψ та χ – коефіцієнти, що враховують відношення механічних характеристик бетону та сталі у граничному стані.

Велечина приведенного ексцентриситету визначається по формулі:

$$e_{red} = 2e / d_i \left[0,5 - 0,25 / \left(1 + \mu_{pb} \psi / \chi \right) \right], \quad (15)$$

3. *Розрахунок стиснутих трубобетонних елементів по приведеним перерізам*

Суть розрахунку даним способом полягає у приведенні комплексного трубобетонного перерізу до одного матеріалу, у нашому випадку до сталі та в подальшому розрахунку на міцність та стійкість по діючим нормам.

Розрахунок на міцність виконується по формулі

$$N/A \pm M_x/I_{xn} \cdot y \leq R_y \gamma_c, \quad (16)$$

звідки N дорівнює

$$N = \frac{R_y}{e/W + 1/A}. \quad (17)$$

Розрахунок позациентрово-стиснутих колон сталого перерізу на загальну стійкість у площині дії моменту виконується за наступною формулою [4].

$$N = R_y \gamma_c A \varphi_e. \quad (18)$$

Коефіцієнт критичних напружень φ_e визначається за табл. ЖЗ[4] залежно від зведеного відносного ексцентриситету m_{ef} та умовної гнучкості стержня $\bar{\lambda}$.

$$m_{ef} = \eta \cdot m, \quad (19)$$

де η – коефіцієнт впливу форми перерізу (для круглих труб 1,1);

$$m = e A/W. \quad (20)$$

Умовна гнучкість стержня $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = l_{ef}/i_x \cdot \sqrt{R_y/E}, \quad (21)$$

Висновки. Для наочності результати розрахунків стиснутих трубобетонних елементів за різними методами представлені у табличному вигляді (табл. 1). Отримані дані свідчать про те, що в цілому всі методи дають схожі результати, проте найбільш відповідаючими експериментальним випробуванням виявились розрахунки згідно інженерним методам представленим у [2,3] з урахуванням гнучкості.

Таблиця 1. Порівняння результатів отриманих за різними методиками

Шифр зразків	Експериментальні дані, кН	Розрахунок за Eurocode 4[1]		По приведеним перерізам[4]		По інженерним методикам[2,3]	
		Без урахування обчислення	З урахуванням обчислення	Без урахування гнучкості	З урахуванням гнучкості	Без урахування гнучкості	З урахуванням гнучкості
ТБ-1	730	639	743	722	701	702	681
ТБ-2	360	356	-	314	447	344	351
ТБ-3	300	263	-	242	317	234	278

Список літератури

1. *Eurocode 4. Common Unified Rules for Composite Steel and concrete Structures* European Committee for Standardization (CEN) ENV. 1994 – 1-1: 1992.

2. *Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А.* Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. – М.: Стройиздат, 1974. – 145 с.

3. *Стороженко Л.И.* Железобетонные конструкции с внешним армированием: Учеб. пособие – К. : УМК ВО, 1989. – 99 с.

4. ДБН В. 2.6 – 198: 2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 199 с.

5. *Джонсон Р.П.* Пособие для проектировщиков к Еврокоду 4: Проектирование сталежелезобетонных конструкций. EN 1994-1-1 / Р.П. Джонсон; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО « Моск. гос. строит. ун-т»; науч. ред. пер. В.О. Алмазов, А.Н. Томилин. 2-е изд. Москва : МГСУ, 2013. – 414 с.