

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДЕФОРМАЦІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ

Бамбура А.М., Дорогова О.В.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: Наводяться передумови і основні положення інженерної методики оцінки напружено-деформованого стану та несучої здатності позацинтрово стиснутих та згинаних трубобетонних елементів на основі деформаційного методу. Виконано співставлення результатів розрахунків за запропонованою методикою з експериментальними даними.

АННОТАЦИЯ: Приведены предпосылки и основные положения инженерной методики оценки напряженно-деформированного состояния и несущей способности внецентрично сжатых и изгибаемых трубобетонных элементов на основе деформационного метода. Выполнено сопоставление результатов расчета по предлагаемой методике с экспериментальными данными.

ABSTRACT: The preconditions and main provisions of an engineering assessment methodology of the stress- strain state and carrying capacity of the eccentric-compressed and bendable pipe-concrete elements based on deformation method were given. A comparison of the calculation results by the proposed method with experimental data was done.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: трубобетон, позацинтрово стиснуті елементи, несуча здатність, деформаційний метод.

Результати аналізу технічного стану вертикальних несучих конструкцій після землетрусу, показують, що більш стійкими є конструкції виготовлені з бетону і арматури середньої міцності (бетон класу 20/25 - 30/35, арматура А240 - А400С), які мають більш розвинені пластичні властивості, а відповідно, можливість поглинати більшу кількість енергії сейсмічного впливу. Достатньо ефективним є застосування трубобетону в

стиснутих елементах будівель і споруд в сейсмічних районах України. Загально відомо, що застосування трубобетонних конструкцій дає найбільший ефект при центральному стиску, коли в повній мірі використовується ефект от складного напруженого стану бетону в трубі, при значних деформаціях зразка, які в реальній практиці неприпустимі. Окрім того, в реальному житті центрального стиску не існує і це пов'язано, як з природньою неоднорідністю бетону і труби по об'єму, так і з відхиленням геометрії і армування конструкцій від проекту. Тому будівельні норми вимагають при проектуванні стиснутих елементів враховувати випадковий ексцентриситет. Зі збільшенням ексцентриситету прикладення навантаження ефект від складного напруженого стану зменшується і при ексцентриситетах більших за радіус ядра перерізу практично зникає. Тому в запропонованій методиці розрахунку трубобетонних елементів вплив складного напруженого стану не враховується і труба розглядається як зовнішнє армування.

В ДП НДІБК виконаний широкий комплекс експериментально-теоретичних досліджень, які дозволили розробити основи прикладної деформаційної теорії залізобетону. В рамках цієї теорії розроблені розрахункові залежності та алгоритм оцінки напружено-деформованого стану залізобетонних елементів прямокутного, таврового, двотаврового та кругового перерізів, на основі залежності 3.5 [1], щодо описання повної діаграми деформування бетону. Сказане відображено в національних нормативних документах ДБН В.6.2-98:2009 та ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [1, 2].

Розрахунковий апарат щодо визначення напружено-деформованого стану та несучої здатності трубобетонних елементів розроблений на основі гіпотез та допущень деформаційної моделі залізобетону. В рамках даної статті наведено розрахунковий апарат, який базується на повній діаграмі деформування бетону, яка описується рівнянням (1).

Метою даної роботи є розробка розрахункових залежностей та алгоритму щодо визначення напружено-деформованого стану та несучої здатності позacentрово стиснутих і згинних трубобетонних елементів на основі передумов деформаційної моделі залізобетону.

В рамках даної статті наведено розрахунковий апарат, який базується на повній діаграмі деформування бетону, яка описується рівнянням (1).

$$\sigma_c = f_c \frac{k\eta - \eta^2}{1 + k - 2\eta}, \quad (1)$$

де:

$$- \eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1}$$

– ε_{c1} – деформації при максимальних напруженнях, згідно з таблицею 3.1 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010;

– $k = 1,05 E_{cm} \times |\varepsilon_{c1}| / f_{cm}$ (f_{cm} – згідно з таблицею 3.1 [1]).

Пропонується, інженерна методика оцінки напружено-деформованого стану трубобетонних елементів, в якій використовується чисельне інтегрування системи рівнянь рівноваги.

Розіб'ємо стиснуту зону трубобетонного елемента кругового перерізу на m шарів (рис. 1), перпендикулярних вісі дії моменту. Для перерізу з діаметром r_1 , при другій формі рівноваги (рис 1, в,г) і висотою стиснутої зони x_1 , відстань від найбільш стиснутої точки перерізу до середини довільного шару z_{cn} , визначається за наступною залежністю

$$z_{cn} = \frac{2x_1}{m} \frac{n-1+0.5}{n}, \quad (2)$$

де: m - кількість шарів поділу;

n - порядковий номер шару який розглядається.

Висота шару поділу визначається за формулою:

$$h_{cn} = \frac{x_1}{m}; \quad (3)$$

Ширина будь-якого шару поділу в межах перерізу (при $0 < z_{cn} \leq 2r_1$) визначається за формулою:

$$b_{cn} = 2 \sqrt{2r_1 \times z_{cn} - z_{cn}^2} \quad (4)$$

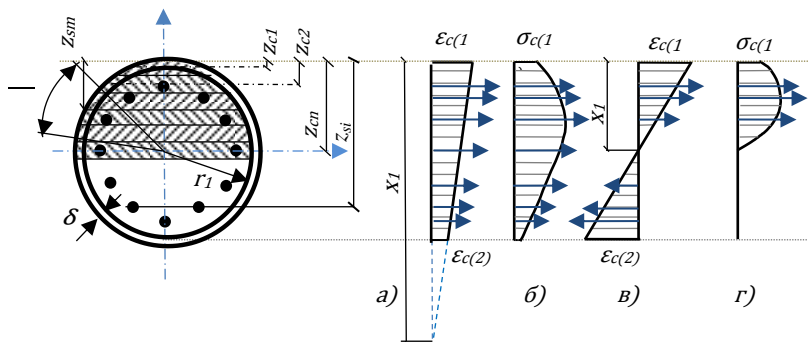


Рис. 1. До визначення напружено-деформованого стану розрахункового перерізу

Таким чином, площа кожного шару може бути визначена за залежністю:

$$A_{cn} = \frac{2x_1}{m} \sqrt{2r_1 \times z_{cn} - z_{cn}^2}, \quad (5)$$

Для визначення зусилля, яке сприймає труба, розіб'ємо її переріз на рівні окремі елементи величиною рівною:

$$l_{ms} = \frac{2\pi r_1}{m_s}, \quad (6)$$

де: l_{ms} – довжина елемента розбивки;

m_s – кількість елементів розбивки перерізу труби. Бажано розбивку робити на парне число елементів, при чому, для забезпечення достатньої точності рішення рекомендується не менше $m_s=36$.

Таким чином, площа елементарних елементів складає:

$$A_{m_s} = l_{m_s} \delta, \quad (7)$$

де: δ - товщина стінки труби.

Відстань від найбільш стиснутої фібри труби до центру елементарного елемента визначається за залежністю:

$$\text{для першого елемента - } z_{1s} = \frac{\delta}{2}, \quad (8)$$

$$\text{для наступних - } z_{m_s(i)} = r_1 \left(1 - \sin \frac{2i\pi}{m_s}\right), \quad (9)$$

В формулі (9) $i=1, 2, 3, 4 \dots m_s$.

Використовуючи гіпотезу плоских перерізів неважко визначити деформації в середині кожного елемента:

$$\varepsilon_{m_s i} = \aleph x_1 - z_{m_s(i)} \quad (10)$$

Напруження в кожному елементі визначають в залежності від досягнутих в ньому деформацій:

$$\begin{aligned} \text{при } 0 \leq \varepsilon_{m_s i} < \frac{f_{yd}}{E_s}, \\ \sigma_{m_s i} = E_s \varepsilon_{m_s i}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{при } \frac{f_{yd}}{E_s} \leq \varepsilon_{m_s i} < \varepsilon_{ud}, \\ \sigma_{m_s i} = f_{yd}. \end{aligned} \quad (12)$$

Зусилля в стрижневій арматурі незалежно від форми рівноваги визначаються відповідно рекомендацій, які наведені в [2], в залежності від того, яка арматура використовується для армування розрахункового перерізу - попередньо напружена або звичайна.

Використовуючи гіпотезу плоских перерізів і залежність (1) неважко визначити напруження в середині кожного шару бетону:

$$\sigma_{cn} = f_c \frac{k\eta_{cn} - \eta_{cn}^2}{1 + k - 2\eta_{cn}} \quad (13)$$

де:

- $\eta_{cn} = \frac{\varepsilon_{cn}}{\varepsilon_{c1}}$;
- $\varepsilon_{cn} = \aleph(x_1 - z_{cn})$ - деформації середини шару бетону.

Враховуючи сказане, рівняння для другої форми рівноваги, без урахування роботи бетону на розтяг, приймають вигляд:

$$\sum_{n=1}^m \frac{2f_c x_1}{m} \frac{2r_1 z_{cn} - z_{cn}^2}{1 + k - 2\eta} \frac{k\eta - \eta^2}{\eta} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} + \sum_{i=1}^{m_s} \sigma_{m_s i} A_{m_s} = N, \quad (14)$$

$$\sum_{n=1}^m \frac{2f_c x_1}{m} \frac{x_1 - z_{cn}}{m} \frac{2r_1 z_{cn} - z_{cn}^2}{1 + k - 2\eta} \frac{k\eta - \eta^2}{\eta} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_1 - z_{si} + \sum_{i=1}^{m_s} \sigma_{m_s i} A_{m_s} x_1 - z_{m_s(i)} = M \quad (15)$$

Оскільки, при першій формі рівноваги, весь переріз є стиснутим то на m шарів розділяється весь переріз, і тому величини z_{cn} і h_{cn} будуть визначатись за наступними залежностями:

$$h_{cn} = \frac{2r_1}{m} \quad \text{а} \quad z_{cn} = \frac{2r_1}{m} \frac{n-1+0.5}{m}. \quad (16)$$

З урахуванням залежностей (16) рівняння для першої форми рівноваги, без урахування роботи бетону на розтяг, приймають вигляд:

$$\sum_{n=1}^m \frac{4f_c r_1}{m} \frac{2r_1 z_{cn} - z_{cn}^2}{1 + k - 2\eta} \frac{k\eta - \eta^2}{\eta} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} + \sum_{i=1}^{m_s} \sigma_{m_s i} A_{m_s} = N \quad (17)$$

$$\sum_{n=1}^m \frac{4r_1}{m} \frac{x_1 - z_{cn}}{m} \frac{2r_1 z_{cn} - z_{cn}^2}{1 + k - 2\eta} \frac{k\eta - \eta^2}{\eta} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_1 - z_{si} + \sum_{i=1}^{m_s} \sigma_{m_s i} A_{m_s} x_1 - z_{m_s(i)} = M \quad (18)$$

Рішення отриманих систем нелінійних рівнянь, згідно деформаційної методики, знаходиться підбором, за параметрами деформованого стану: $\varepsilon_{c(1)}$ і \aleph (або $\varepsilon_{c(2)}$), після чого неважко знайти деформації на будь-якій відстані x від нейтральної лінії, а значить, за допомогою гіпотези плоских перерізів знайти напруження в бетоні і арматурі. Таким чином, рішення систем рівнянь (14) - (15) та (17) - (18) дозволяє виконати оцінку напружено-деформованого стану перерізу при будь-якому рівні навантаження.

Наведені системи нелінійних рівнянь для першої і другої форм рівноваги і методика розрахунку дозволяють не тільки виконати оцінку напружено-деформованого стану згинних та позацинтрово стиснутих залізобетонних звичайних та попередньо напружених елементів кругового перерізу, а використовуючи критерії вичерпання несучої здатності [1], визначити їх несучу здатність.

Співставлення результатів визначення несучої здатності трубобетонних елементів (табл. 1), показало, що якщо прийняти поділ стиснутої зони бетону на $m=40$ шарів, а труби на 36 елементів, то середнє

відношення розрахункової несучої здатності до експериментальної складає 0,94 при коефіцієнті варіації – 10,6%. Вказані результати співставлення дозволяють зробити висновок, що запропонований розрахунковий апарат достатньо добре відображає процес що моделюється, і може бути рекомендованим для визначення несучої здатності позacentрово стиснутих трубобетонних елементів.

Таблиця 1

Результати співставлення результатів розрахунку з експериментальними даними

п/п	Шифр зразка	Міцність бетону, f_{prizm} , МПа	Зовніш- ний радіус зразка, м	Несуча здатність, Кн (Кн.м)		$\frac{N M_{cal}}{N M_{ex}}$
				експерим ентальна, N(M) _{ex}	розраху нкова, N(M) _{cal}	
Досліди ДП НДІБК						
1	T-1 (e ₀ =0,01)	80,4	0,1095	3520	3900	1,11
2	T-2 (e ₀ =0,01)	80,4	0,1095	3820	3900	1,02
3	T-3 (e ₀ =0,05)	80,4	0,1095	1565	1558	0,99
4	T-4 (e ₀ =0,05)	80,4	0,1095	1580	1558	0,98
Досліди Єфіменко В.І						
5	ЦТБ-А-1	35,0	0,1095	2450	2095	0,86
6	ЦТБ-А-2	44,0	0,1095	2500	2396	0,96
7	ЦТБ-А-3	35,0	0,1095	2400	2093	0,87
8	ЦТБ-А-7-1	30,0	0,1095	1500	1479,2	0,99
9	ЦТБ-А-7-2	40,0	0,1095	2500	2357	0,94
10	1ТБ2-1	14,4	0,1545	3850	3699	0,96
11	1ТБ2-2	14,4	0,1545	2375	2248,2	0,95
12	1ТБ2-3	14,4	0,1545	1250	1404,9	1,12
13	ЦТ5-1	38,9	0,1545	4800	5113	1,065
14	ЦТ5-2	38,9	0,1545	3250	3032	0,93
15	ЦТ5-3	38,9	0,1545	2000	1713,5	0,86
16	ЦТ3-С-1	27,0	0,1545	4750	4322	0,91
17	ЦТ3-С-2	27,0	0,1545	3200	2856	0,89
18	ЦТБ4-1	30,0	0,1545	4425	4430	1,001
19	ЦТБ4-2	30,0	0,1545	2350	2684	1,14
20	ЦТБ4-3	30,0	0,1545	1400	1555	1,11
21	ЦТБ3-С-3	27,0	0,1545	2500	2557	1,02

ЛІТЕРАТУРА

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6.-98:2009. – [Чинні від 2010-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. - (Будівельні норми України).
2. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. - [Чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с. – (Національні стандарти України).

REFERENCES

1. Construction of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions: DBN V.2.6.-98:2009. – [Acting on 2010-09-01]. – K.: Minregion of Ukraine, 2011. – 71 p. - (Building norms of Ukraine).
2. Construction of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules: DSTU B V.2.6-156:2010. - [Acting on 2011-06-01]. – K.: Minregion of Ukraine, 2011. – 118 p. – (National standards of Ukraine).

Стаття надійшла до редакції 26.08.2015 р.