

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ОСЬОВОМУ СТИСНЕННІ

Єрмоленко Д.А.

Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка
м. Полтава, Україна

АНОТАЦІЯ: Розглянуто методику теоретичного оцінювання напружено-деформованого стану центрально стиснутого трубобетонного елемента. Запропонована методика дозволяє встановити несучу здатність таких елементів. Наведено результати порівняння із експериментальними дослідженнями.

АННОТАЦИЯ: Рассмотрено методику теоретической оценки напряженно-деформированного состояния центрально сжатого трубобетонного элемента. Предложенная методика позволяет установить несущую способность таких элементов. Приведены результаты сравнения с экспериментальными исследованиями.

ABSTRACT: The article is devoted to methodology of theoretical assessing of the stress-strain state of axial-compressed concrete filled steel tube element. The given methodology allows to define the carrying capacity of such elements. The results are compared with experimental researches.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: трубобетон, напруження, деформації, несуча здатність.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Трубобетон являє собою досить просту конструктивну форму і при цьому виявляє особливості поведінки під навантаженням [1], яких позбавлені інші традиційні конструкції. При відносно малому поперечному перерізі такі конструкції здатні сприймати значні зусилля, а бетон за умов трубобетону за рахунок об'ємного напруженого стану сприймає напруження, які значно перевищують його призмову міцність. Це дозволяє

більш раціонально використовувати механічні властивості матеріалів та економити цемент і сталь.

Труبوبетонні конструкції порівняно з традиційно поширеними залізобетонними і сталевими більш індустриальні при виготовленні й монтажі, мають меншу вагу та зручніші при транспортуванні. При виготовленні труبوبетонних конструкцій не потрібні арматурні каркаси, опалубка та закладні деталі. Використовувати елементи з труبوبетону вигідніше всього в конструкціях, що сприймають великі стискаючі навантаження.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Переважна частина досліджень належить до експериментального вивчення межі опору стискаючому зусиллю та до питання вивчення роботи труبوبетонних елементів у складі несучих конструкцій [1]. Слід зазначити, що значна частина робіт присвячена питанню теоретичного визначення величини несучої здатності труبوبетону залежно від фізико-механічних характеристик застосованих матеріалів і геометричних параметрів конструктивного елемента. Існуючі методи оцінювання напружено-деформованого стану та розрахунку несучої здатності труبوبетонних елементів базуються на застарілих теоретичних передумовах і не розраховані на використання сучасних ЕОМ [2].

Метою статті є вирішення проблеми оцінювання напружено-деформованого стану та розрахунку несучої здатності труبوبетонних елементів із урахуванням їх фізико-механічних властивостей, геометричних параметрів та способу передачі навантаження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглядаються короткі труبوبетонні конструктивні елементи при передачі навантаження через жорсткі штампи на крайні перерізи з урахуванням величини ексцентриситету прикладання навантаження. В основу аналітичного підходу покладено твердження, що труبوبетон є системою просторових тіл, тому з механічної точки зору він представляється складеним брусом із труби-оболонки та осердя. Оцінити напружено-деформований стан труبوبетонного елемента на основі моделі складеного бруса в пружній стадії можна за допомогою апарату теорії пружності, але з додаванням умов сполучення окремих компонентів. Вони доповнюють граничні умови для кожного з компонентів окремо. Формулювання цих умов можливе лише після встановлення величини контактного зусилля між компонентами при їх сумісній роботі [3].

Труبوبетонний брус із в'язями між компонентами являє собою статично невизначену систему. Як основну систему обрано складений

стрижень, який позбавлено в'язей, дію котрих замінено на невідомі зусилля. Контактні зусилля в разі осьового стиснення мають радіальні (W) і вертикальні (V) складові на контактній поверхні, інтенсивністю $q_\rho(\varphi, z)$ і $q_z(\varphi, z)$, відповідно.

Визначаємо контактні зусилля за методикою [3]. В разі вісьової симетрії невідома інтенсивність контактних зусиль має вигляд:

$$q_\rho(\varphi, z) = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \psi_n(z), \quad (1)$$

де $\psi_n(z)$ - функції, які встановлюють характер розподілу уздовж радіусу.

Окремі складові (1), котрі відповідають певному n , встановлюються за результатами вирішення системи [2]. У випадку осьового стиснення ця система має вигляд:

$$\Omega_{\rho\rho} q_\rho^n + \Lambda_\rho = 0, \quad (2)$$

де Ω_{ij} - переміщення точок контактної поверхні уздовж i -й вісі ($i = j = \{\rho, z\}$) від узагальненого зусилля $q_j^n = 1$ і фіксованому значенні n ;

Λ_{ip} - переміщення точок контактної поверхні уздовж i -й вісі від зовнішніх зусиль.

Беручи до уваги, що в умовах вісесиметричного завантаження переміщення точок осердя в тангенціальному напрямку відсутні, а деформований стан характеризується переміщеннями лише у меридіальній площині (W і U), представлено ці переміщення у вигляді

$$\left. \begin{aligned} w(\rho, z) &= w_1(\rho, z) = w(z)\psi(\rho); \\ v(\rho, z) &= 0; \\ u(\rho, z) &= u_1(\rho, z) = u(z)\zeta(\rho), \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де $w(z)$ – невідома функція, яка характеризує величину радіального переміщення $w(\rho, z)$ при $z = const$;

$u(z)$ – невідома функція, яка характеризує величину поздовжнього (вертикального) переміщення $u(\rho, z)$ при $z = const$;

$\psi(\rho)$ – функція поперечного розподілу радіального переміщення, вздовж осі ρ ;

$\zeta(\rho)$ – функція поперечного розподілу поздовжнього переміщення, вздовж осі ρ .

Система диференційних рівнянь з [4] складається з двох рівнянь – по одному рівнянню першої та третьої групи

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 w_1}{\partial z^2} a_{11} - (\lambda + 2G)w_1 b_{11} - (\lambda q_{11} - m_{11}) \frac{\partial u_1}{\partial z} + q_1 &= 0; \\ (-Gm_{11} + \lambda q_{11}) \frac{\partial w_1}{\partial z} + (\lambda + 2G)e_{11} \frac{\partial^2 u_1}{\partial z^2} - Gu_1 f_{11} + h_1 &= 0, \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Коефіцієнти диференційних рівнянь і вільні члени мають вигляд

$$a_{11} = \frac{r_b}{3}; \quad b_{11} = \frac{1}{r_b}; \quad c'_{11} = \frac{1}{2}; \quad g_{11} = f_{11} = 0; \quad l_{11} = f'_{11} = 1; \quad w_{11} = r_b. \quad (5)$$

$$q_1 = q_{\rho}^{mn}(z)\psi(r_b); \quad h_1 = q_z^{mn}(z)\zeta(r_b). \quad (6)$$

Для розв'язання конкретних задач до цієї системи приєднуються ще граничні умови. Розв'язання диференційних рівнянь (4) розшукується за допомогою тригонометричних рядів. Після визначення величин коефіцієнтів $w_{1n}(z)$, $u_{1k}(z)$ напруження та деформації в пружному осерді знаходяться за допомогою формулами

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\rho\rho}^b &= 2\frac{1}{r_b}(\lambda + G)W_{1n}(z)\cos\frac{\pi z}{l} + \lambda U_{1n}(z)\cos\frac{\pi z}{l}, \\ \sigma_{\varphi\varphi}^b &= 2\frac{1}{r_b}(\lambda + G)W_{1n}(z)\cos\frac{\pi z}{l} + \lambda U_{1n}(z)\cos\frac{\pi z}{l}; \\ \sigma_{zz}^b &= \lambda\left(1 + \frac{1}{\rho}\right)\frac{1}{r_b}(1 + \rho)W_{1n}(z)\cos\frac{\pi z}{l} + (\lambda + 2G)U_{1n}(z)\cos\frac{\pi z}{l}; \\ \tau_{\rho z}^b &= -G\rho\frac{1}{r_b}W_{1n}(z)\sin\frac{\pi z}{l} \end{aligned} \right\}; \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\rho\rho}^b &= \frac{1}{r_b}W_{1n}(z)\cos\frac{\pi z}{l}; & \varepsilon_{\varphi\varphi}^b &= \frac{1}{r_b}W_{1n}(z)\cos\frac{\pi z}{l}; \\ \varepsilon_{zz}^b &= U_{1n}(z)\cos\frac{\pi z}{l}; & \gamma_{\rho z}^b &= -\frac{1}{2r_b}\rho W_{1n}(z)\sin\frac{\pi z}{l} \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Для встановлення напружено-деформованного стану оболонки скористаємось розв'язком у випадку представлення зовнішнього навантаження на бокову поверхню у вигляді рядів [5].

Для розв'язання фізичної нелінійності роботи матеріалів трубобетону застосовано метод змінних параметрів пружності. В точках, де спостерігається поява пластичних деформацій, пружні властивості ізотропного тіла встановлюються за теорією малих пружно-пластичних деформацій.

Скориставшись основною гіпотезою пружно-пластичних деформацій про просте завантаження, прийmemo, що при складному напруженому стані залежність між інтенсивністю напружень й інтенсивністю деформацій для кожної точки тіла береться такою ж, як залежність між напруженнями та деформаціями при одновісному напруженому стані. Такі залежності встановлюються за результатами стандартних випробовувань зразків із відповідного матеріалу.

Ітераційний процес методу змінних параметрів пружності розв'язує задачу встановлення напружено-деформованого стану трубобетону. Суть методу полягає в тому, що до системи рівнянь, які є рівняннями теорії пружності зі змінними «параметрами пружності» застосовується метод їх послідовного обчислення. Як наближення розв'язується пружна задача зі змінним модулем деформації, рівним січному модулю, визначеному за деформацією.

Вищенаведений підхід до розв'язання задачі про напружено-деформований стан трубобетону за межею пружності застосовується як для аналітичного, так і для чисельного методу. Використання ітераційного процесу потребує великої кількості проміжних обчислень, тому передбачається застосування ПЕОМ. Для застосування обчислювальної техніки потрібно формалізувати діаграми роботи матеріалів під навантаженням, які описують зміну механічних характеристик. Аналіз характеру зміни модуля E_b залежно від напружень дозволив отримати залежність січного модуля від рівня напружень. Таким чином, визначаються компоненти напружень, деформацій та переміщень у кожній точці трубобетонного елемента при дії стискаючого навантаження.

Розглянута вище методика оцінювання напружено-деформованого стану стиснутих трубобетонних елементів була реалізована у пакеті програм «SSS_CFST». Він має модульну структуру і складається із загальної керуючої програми та окремих модулів. Керуюча програма, а також складові модулі написано мовою програмування «*TURBO-Pascal 7.0*». Пакет програм призначено для розв'язання задач оцінювання напружено-деформованого стану стиснутих трубобетонних елементів. Визначаються компоненти напружень, деформацій та переміщень, а також встановлюються величини компонентів контактного зусилля між компонентами трубобетону.

За допомогою розробленого пакета програм було оцінено напружено-деформований стан і несучу здатність коротких трубобетонних елементів. Навантаження передавалось на комплексний переріз. Теоретично несучу здатність (N_1) обчислено за аналітичною методикою. Аналіз результатів визначення несучої здатності коротких трубобетонних елементів свідчить про задовільну збіжність теоретичних та експеримен-

тальних даних. Так, на рис. 1 наведено розкид відхилення величини теоретичної несучої здатності коротких трубобетонних елементів від її експериментального значення, яке не перевищує 18 %.

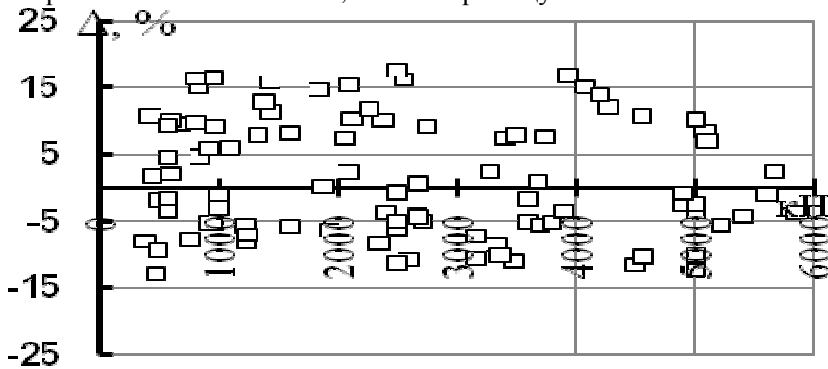


Рис. 1. Відхилення теоретичної несучої здатності коротких трубобетонних елементів від її експериментального значення, обчисленої за розробленою методикою

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень вирішено задачу оцінювання напружено-деформованого стану стиснутого трубобетону, яка враховує довжину елементів, величину ексцентриситету прикладення навантаження, а також дійсну роботу компонентів. Розроблена методика враховує спосіб завантаження та величину ексцентриситету стискаючого зусилля

ЛІТЕРАТУРА

1. Стороженко Л.І. Трубобетон: монографія / Л.І.Стороженко, Д.А.Єрмоленко, О.І. Лапенко. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2010. – 306 с.
2. Єрмоленко Д.А. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів: монографія / Д.А.Єрмоленко. – Полтава: Видавець Шевченко Р.В., 2012. – 316 с.
3. Стороженко Л.І. Сумісна робота компонентів в трубобетонному конструктивному елементі / Л.І. Стороженко, Д.А. Єрмоленко // Вісник національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. - Вип.№662. – Львів: "Львівська політехніка", 2010. – С. 350–354.
4. Стороженко Л.І. Напружено-деформований стан осердя трубобетонних елементів / Л.І. Стороженко, Д.А. Єрмоленко // Строительство, материало-ведение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Дн-вск: ПГАСА, 2010. - Вып.№56. – С. 504-509.
5. Соляник-Красса К.В. Осесимметричная задача теории упругости / Соляник-Красса К.В. – М.: Стройиздат, 1987. – 336 с.

Стаття надійшла до редакції 11.03.2013 р.