

УДК 624.07

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.104

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗБІЛЬШЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ СТАЛЕБЕТОННОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО НЕСУЧОГО ЕЛЕМЕНТА

Синьковська О. В., Ігнатенко А. В., Назаренко І. В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Наведено теоретичні розрахунки з визначення коефіцієнта збільшення несучої здатності циліндричного несучого елемента виготовленого способом замкнення бетонного ядра в сталеву обойму. Подано зіставлення результатів розрахунку наявних методик. На основі аналізу літературних джерел запропоновано гіпотези й припущення, що дали змогу значно спростити запропоновану теоретичну методику з визначення збільшення несучої здатності сталобетонного елемента.

Ключові слова: циліндричний елемент, сталобетон, радіальні та кільцеві деформації, несуча здатність, переміщення, обтиснення, стискання.

Вступ

Зменшення матеріалоемності елементів і систем загалом у будівництві можна досягти способом розроблення, дослідження та впровадження нових ефективних видів конструктивних елементів. До таких належать і конструкції із застосуванням зовнішнього армування листовою сталлю.

Так зовнішнє листове армування циліндричних елементів у вигляді обойм одночасно виконує силові, захисні та технологічні функції. Зокрема в сталобетонних несучих елементах наявність обойми, що стримує переміщення бетону в поперечному напрямку, призводить до збільшення міцності бетону, а сам бетон усередині оболонки-обойми, зі свого боку, збільшує її стійкість. Наведені обставини є визначальними в процесі спорудження циліндричних елементів, на які припадає високий рівень навантаження. Перелічене дає підстави для проведення досліджень щодо визначення збільшення несучої здатно-

сті циліндричних елементів із зовнішнім листовим армуванням, надалі – сталобетонними елементами.

Аналіз публікацій

Проведений та описаний у [1, 2] аналіз наявних методик теоретичних досліджень різних авторів показав значні розбіжності в оцінюванні роботи циліндричного несучого елемента під час стиснення. Унаслідок цього існує значна кількість різноманітних методик розрахунку несучої здатності сталобетонного циліндричного стиснутого елемента, що мають суттєві розбіжності не лише між собою, а й з результатами експериментальних досліджень (табл. 1).

Так, інформація, наведена в табл. 1, повністю підтверджує актуальність проведення додаткових теоретичних досліджень центрально стиснутих сталобетонних несучих елементів.

Таблиця 1 – Порівняння результатів теоретичних методик розрахунку несучої здатності центрально стиснутих сталобетонних циліндричних елементів деяких авторів

Автори методик теоретичного розрахунку	Стороженко Л.І.	Крішан А.Л.	Людковський І.Г. Нестерович А.П.	Лукша Л.К.	Кікін А.І. Саржановський Р.С.	Росновський В.О.	Гвоздев О.А.
відхилення $\sim \varepsilon, \%$, від експериментальних результатів	6,58	5,21	7,08	2,90	3,40	12,78	16,6

Мета та постановка завдання

Мета теоретичних досліджень – визначити коефіцієнт збільшення несучої здатності сталобетонного циліндричного несучого елемента, ґрунтуючись на наявній фундаментальній теорії та критерії опору матеріалів і теорії пружності.

Для досягнення поставленої мети на базі оброблення значного переліку публікацій виокремити гіпотези й припущення, що дадуть змогу коректно об'єднати фундаментальні теорії та критерії опору матеріалів і теорії пружності для отримання нового теоретичного рішення визначення коефіцієнта збільшення несучої здатності сталобетонного циліндричного несучого елемента.

Гіпотези й припущення

Унаслідок проведеного аналізу напружено-деформованого стану сталобетонних циліндричних несучих елементів, а також роботи бетону в умовах складного напруженого стану [1, 3–6] та розрахунку циліндричних оболонок [1, 7–11] запропоновано такі гіпотези:

– сталеві обойми сталобетонного циліндричного несучого елемента працюють одночасно як поперечне армування до досягнення сталю напруження, що дорівнює характеристичному значенню межі плинності (f_{yk}), та як поздовжнє армування до досягнення напруження, що дорівнює характеристичному значенню межі міцності (f_{tk});

– збільшення несучої здатності сталобетонних несучих елементів відбувається за рахунок радіального обтиснення бетонного ядра сталевією обоймою;

– бетонне ядро, що замкнено в сталеву обойму, перебуває в умовах об'ємного напруженого стану за рахунок сумісності роботи ядра й обойми, а також дії бічного радіального тиску поперечного армування на бетонне ядро.

Для виконання наведених теоретичних досліджень було запропоновано такі припущення:

– геометричні розміри об'єкта дослідження обиралися таким чином, щоб виключити втрату стійкості (розглядаємо елементи малої довжини);

– сумісність роботи бетонного ядра та сталевієї обойми забезпечена безпосередньо до втрати несучої здатності сталобетонного

циліндричного несучого елемента загалом;

– сталобетонний несучий елемент може бути навантаженим позacentровим стисканням з малими ексцентриситетами, впливом яких у процесі подальших розрахунків нехтуємо;

– зовнішнє осьове стискальне зусилля діє тільки на бетонне ядро, у цьому разі сталеві обойми ефективніше працюють як поперечне армування, перешкоджаючи водночас поперечним деформаціям розширення бетонного ядра, що замкнено в обоймі.

Виклад основного матеріалу

Визначення коефіцієнта збільшення несучої здатності сталобетонного циліндричного несучого елемента ґрунтувалося на рішенні задачі Ламе, що детально наведено В. Рекачем [12]. Отже, радіальне переміщення циліндра дорівнює:

$$u_r = -\frac{1}{2G(b^2 - a^2)} \left[\frac{(p_0 - p_i)a^2b^2}{r} + \frac{(1 - \nu)(p_0b^2 - p_ia^2)}{(1 + \nu)} r \right],$$

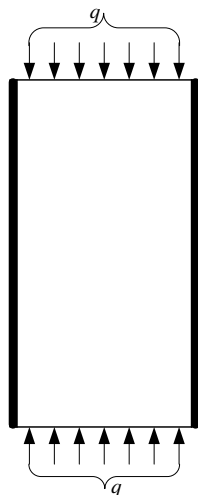
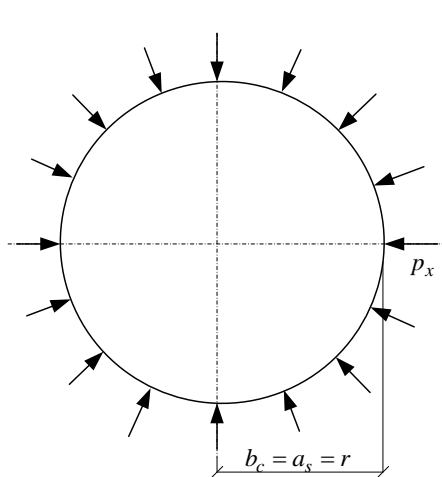
де G, ν – відповідно, модуль деформації 2-го роду (зсуву) та його коефіцієнт поперечних деформацій (Пуассону) матеріалу; b, a – відповідно, зовнішній радіус сталевієї обойми й бетонного ядра; p_0, p_i – відповідно, зовнішній та внутрішній рівномірний тиск; r – радіальна координата.

Для випадку, що розглядається нами, розв'язання задачі Ламе (бетонний циліндр – ядро, що замкнено в сталеву обойму; рис. 1, а) має такі обмеження та спрощення:

$$\begin{aligned} a &= 0; \\ b_c &= a_s = a; \\ p_i &= 0; \\ G_c &= \frac{E_c}{2(1 + \nu_c)}, \\ p_0 &= p_x. \end{aligned}$$

Контактний тиск p_x – асиметрично й рівномірно розподілений по бічній поверхні елементів.

а



б

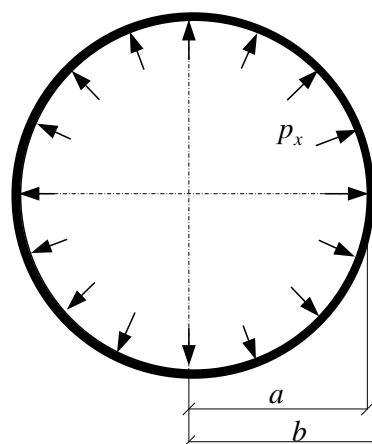


Рис. 1. Схеми: а – схема навантаження бетонного ядра; б – схема навантаження сталевій обойми

Тоді формула для визначення радіальних переміщень бетонного ядра матиме такий вигляд:

$$u_{r,c}^1 = -\frac{2(1+\nu_c)}{2E_c a^2} \left[\frac{(1-\nu_c)p_x a^2}{(1+\nu_c)} r \right] = -\frac{(1-\nu_c)p_x}{E_c} r.$$

Зі свого боку, радіальні деформації бетонного ядра, що виникають від обтиснення сталеву обоймою, дорівнюють:

$$\varepsilon_{r,c}^1 = (u_{r,c}^1)' = -\frac{(1-\nu_c)}{E_c} p_x.$$

На бетонне ядро, окрім обтиснення сталеву обоймою, діє зовнішнє стискальне навантаження, унаслідок якого також виникають радіальні переміщення та деформації, що необхідно взяти до уваги для розрахунку поданого несучого елемента:

$$u_{r,c}^2 = \frac{\nu_c q}{E_c} r; \Rightarrow \varepsilon_{r,c}^2 = (u_{r,c}^2)' = \frac{\nu_c}{E_c} q.$$

Отже, повні радіальні деформації бетонного ядра, що замкнений у сталеву обойму й зазнає тиску (див. рис. 1), дорівнюють:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{r,c} &= \varepsilon_{r,c}^1 + \varepsilon_{r,c}^2 = -\frac{(1-\nu_c)}{E_c} p_x + \frac{\nu_c}{E_c} q = \\ &= -\frac{1}{E_c} p_x + \frac{\nu_c}{E_c} p_x + \frac{\nu_c}{E_c} q = \\ &= \frac{\nu_c}{E_c} (q + p_x) - \frac{1}{E_c} p_x. \end{aligned} \quad (1)$$

Отримана формула (1) для визначення радіальних деформацій бетонного ядра, замкненого в обойму та навантаженого зовнішнім стискальним зусиллям на бетон, повністю збігається з формулою, яку вивів С. Тимошенко [13].

За формулами, наведеними В. Рекачем [12], зважаючи, що $p_o = 0$, $p_i = p_x$, визначимо радіальні та кільцеві напруження в сталевій обоймі, що зазнає внутрішнього тиску від бетонного ядра:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2} \left(-\frac{p_x}{r^2} \right) - \left(-\frac{p_x a^2}{b^2 - a^2} \right) = \\ &= -\frac{p_x a^2}{b^2 - a^2} \left(\frac{b^2}{r^2} - 1 \right); \\ \sigma_\theta &= -\frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2} \left(-\frac{p_x}{r^2} \right) - \left(-\frac{p_x a^2}{b^2 - a^2} \right) = \\ &= \frac{p_x a^2}{b^2 - a^2} \left(\frac{b^2}{r^2} + 1 \right), \end{aligned}$$

якщо $r = a$; $b = a + \delta$; $\alpha = \frac{\delta}{a}$, де δ – товщина сталевій обойми, тоді

$$\begin{aligned} \sigma_r &= -\frac{p_x a^2}{b^2 - a^2} \left(\frac{b^2}{r^2} - 1 \right) = \\ &= -p_x \frac{a^2 (b^2 - a^2)}{(b^2 - a^2) a^2} = -p_x; \end{aligned}$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{p_x a^2}{b^2 - a^2} \left(\frac{b^2}{r^2} + 1 \right) = p_x \frac{a^2 \left((a + \delta)^2 + a^2 \right)}{\left((a + \delta)^2 - a^2 \right) a^2} =$$

$$= p_x \frac{(1 + \alpha)^2 + 1}{(1 + \alpha)^2 - 1}.$$

Для визначення розширення сталеві обійми від дії внутрішнього тиску бетонного ядра (рис. 1, б), запишемо перший інваріант тензора напружень

$$\theta = \sigma_r + \sigma_{\theta} + \sigma_z,$$

а з огляду на те, що $\sigma_z = 0$, маємо

$$\theta = -p_x + p_x \frac{(1 + \alpha)^2 + 1}{(1 + \alpha)^2 - 1} + 0 = \frac{2p_x}{(1 + \alpha)^2 - 1}.$$

Тоді формула для визначення кільцевих деформацій сталеві обійми (оболонки) за умови $G_a = \frac{E_a}{2(1 + \nu_a)}$, матиме такий вигляд:

$$\varepsilon_{\theta,a} = \frac{1}{2G_a} \left[\sigma_r - \frac{\nu_a}{1 + \nu_a} \theta \right] =$$

$$\frac{(1 + \nu_a)}{E_a} \left[-p_x - \frac{\nu_a}{1 + \nu_a} \cdot \frac{2p_x}{(1 + \alpha)^2 - 1} \right] =$$

$$= -\frac{p_x}{E_a} \left[1 + \frac{(1 + \alpha)^2 + 1}{(1 + \alpha)^2 - 1} \right].$$

Припустимо

$$\frac{(\alpha^2 + 1)}{(\alpha^2 - 1)} = \omega,$$

визначимо кільцеві деформації сталеві обійми від внутрішнього тиску, що викликає деформаціями бетонного ядра:

$$\varepsilon_{\theta,a} = -\frac{p_x}{E_a} [1 + \mu_a \omega]. \quad (2)$$

Беручи до уваги сумісність роботи бетонного ядра й сталеві обійми, вважаємо рівними їх контактні деформації, тобто

$$\varepsilon_{r,c} = \varepsilon_{\theta,a}$$

$$\frac{\nu_c}{E_c} p_x + \frac{\nu_c}{E_c} q - \frac{1}{E_c} p_x = \frac{p_x}{E_a} + \frac{p_x}{E_a} \nu_a \omega$$

$$p_x \left[(1 - \nu_c) + \frac{E_c}{E_a} (1 + \nu_a \omega) \right] = \nu_c q.$$

Запропонуємо далі позначення

$$\frac{E_a}{E_c} = n.$$

З урахуванням наведено позначення маємо

$$p_x \left[(1 - \nu_c) + \frac{1}{n} (1 + \nu_a \omega) \right] = \nu_c q;$$

$$p_x = \frac{\nu_c n q}{(1 - \nu_c) n + (1 + \nu_a \omega)}. \quad (3)$$

Грунтуючись на формулах В. Рекача [12], отриманих унаслідок розв'язання задачі Ламе для циліндра, який опирається на абсолютно жорстку й гладку поверхню, і застосувавши їх для бетонного ядра, зазначимо, що радіальні та кільцеві напруження, відповідно, дорівнюють

$$\sigma_r = -\frac{p_x a^2}{a^2} = -p_x,$$

$$\sigma_{\theta} = -\frac{p_x a^2}{a^2} = -p_x.$$

Ці напруження залежать від величини поздовжнього напруження

$$p_x = \beta \cdot q,$$

де β – коефіцієнт переходу від поздовжнього напруження до радіального, що дорівнює

$$\beta = \frac{\nu_c n}{(1 - \nu_c) n + (1 + \nu_a \omega)}. \quad (4)$$

Знаючи всі напруження, що виникають у бетонному ядрі, замкненому в сталевій обіймі, далі використовуємо критерій міцності Мору [12, 14], що дає змогу врахувати різницю у властивостях матеріалу під час розтягання та стискання:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sigma_1 - \kappa \sigma_3, \quad (5)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження та

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3; \kappa = \frac{f_{ctk}}{f_{ck}};$$

$$f_{ctk} = \frac{1925 - 5\sqrt{385^2 - 1000f_{ck}}}{430 - \sqrt{385^2 - 1000f_{ck}}}.$$

Критерій Мору для бетонного циліндра за умови одноосьового напруженого стану має такий вигляд:

$$\sigma_{\text{екв}}^{\text{б.ч.}} = 0 - \kappa\sigma_3 = -\kappa(-q) = \kappa q,$$

оскільки

$$\sigma_1 = \sigma_2 = 0; \sigma_3 = -q.$$

Критерій міцності Мору, записаний для бетонного циліндра, замкненого в сталеву обойму, що зазнає трьохосьового напруженого стану, надає таку залежність:

$$\sigma_{\text{екв}}^{\text{мб.ч.}} = \sigma_1 - \kappa\sigma_3 = -q\beta - \kappa(-q) = q(\kappa - \beta);$$

оскільки $\sigma_1 = \sigma_2 = -\beta \cdot q; \sigma_3 = -q$.

Отже, на основі критерію міцності Мору можна отримати коефіцієнт збільшення несучої здатності сталобетонного елемента способом трансформації одноосьового напруженого стану в трьохосьовий. Зазначений коефіцієнт має такий вигляд:

$$\eta = \frac{\sigma_{\text{екв}}^{\text{ч.б.}}}{\sigma_{\text{екв}}^{\text{мб.ч.}}} = \frac{q\kappa}{q(\kappa - \beta)} = \frac{\kappa}{\kappa - \beta}. \quad (6)$$

Коефіцієнт збільшення несучої здатності сталобетонних циліндричних елементів за умови центрального стискання визначимо також на підставі критерію Г. Василькова й В. Шмуклера [15]:

$$\eta = \frac{e_{uc}}{e_{ur}}, \quad (7)$$

де e_{uc} – щільність енергії деформацій, що встановлена для чисто бетонного елемента; e_{ur} – те саме для елемента в обоймі.

Для того, щоб застосувати цей критерій, знову розглянемо два зразки з однаковими геометричними й фізико-механічними характеристиками, а саме: чисто бетонний циліндр і бетонний циліндр у сталевій обоймі.

Так, для бетонного циліндра напруження в циліндричних координатах становлять: $\sigma_r = \sigma_\theta = 0; \sigma_z = -q$, звідки: $\sigma_1 = \sigma_2 = 0; \sigma_3 = \sigma_z; \rightarrow \chi_\sigma = 1$, де $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ – відповідно, радіальні, кільцеві та поздовжні напруження; $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ – головні напруження;

$\chi_\sigma = 2 \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} - 1$ – параметр напружено-

го стану Лоде – Надаї.

У цьому разі гранична щільність енергії деформацій відповідно до критерію Г. Василькова й В. Шмуклера [6, 16–18] визначається за формулою:

$$e_u = 0,5\chi_\sigma^2 \left[(\chi_\sigma + 1)e_{bcu} - (\chi_\sigma - 1)e_{btu} \right] + (1 - \chi_\sigma^2)e_{bslu}, \quad (8)$$

де e_u – гранична щільність енергії деформацій; $e_{bcu}, e_{btu}, e_{bslu}$ – окремі граничні значення щільності енергії деформацій у процесі стискання, розтягу та зсуву, що визначаються площиною відповідних діаграм " $\sigma - \varepsilon$ ", (рис. 2), тобто

$$e_c = \int_0^{\varepsilon^*} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (9)$$

де e_c – окрема щільність енергії деформацій; $\varepsilon, \varepsilon^*$ – відповідно, поточна й гранична деформації.

З (7) маємо $e_u = e_{bcu}$. Проінтегрував далі вираз $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ (де $\sigma(\varepsilon)$ – поліном цілих степенів) в інтегралі від 0 до ε_{cu} , отримуємо за (9) e_u . Вихідні дані для залежності $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ запозичені з ДБН [19].

Для бетонного циліндра в сталевій обоймі $\sigma_r = \sigma_\theta = -p_x; \sigma_z = -q$, якщо $p_x = \beta \cdot q$.

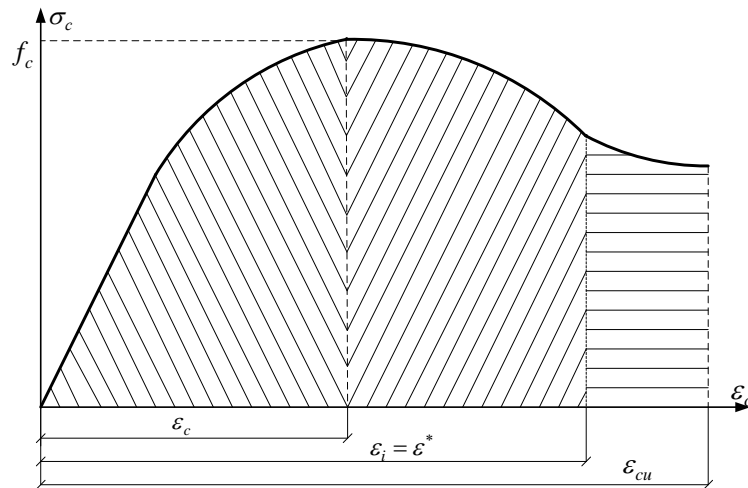


Рис. 2. Діаграма «напруження-деформація» для бетону

Зважаючи, що $|p_x| < |q|$, $p_x \neq 0$, $q \neq 0$, маємо

$$\sigma_1 = \sigma_2 = -p_x; \sigma_3 = -q; \rightarrow \chi_\sigma = 1,$$

і знову

$$e_u = e_{bcu}.$$

Відмінністю тут є той факт, що $\varepsilon = \varepsilon^*$, де ε^* – поки невідома деформація.

Запишемо вираз для інтенсивності напружень та інтенсивності деформацій:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}; \quad (10)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}; \quad (11)$$

Підставивши у (9) значення напружень, матимемо

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(p_x + p_x)^2 + (p_x - q)^2 + (-q + p_x)^2},$$

або

$$\sigma_i = \pm(p_x - q).$$

Беручи до уваги залежності О. Коші

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}; \varepsilon_\theta = \frac{u}{r}; \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}; \varepsilon_{rz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r},$$

де

$$u = u_r^c;$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E_c} [v_c(q + p_x) - p_x];$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0; \varepsilon_\theta = \varepsilon_r;$$

$$w = \frac{v_c \cdot p_x}{G_c(1 + v_c)}(z - h),$$

(h – висота циліндра), матимемо

$$\frac{\partial w}{\partial r} = 0; \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{v_c \cdot 2(1 + v_c)}{(1 + v_c) \cdot E_c} p_x = \frac{2v_c}{E_c} p_x = \varepsilon_z.$$

Оскільки

$$\varepsilon_{rz} = 0; \{\varepsilon\} = \{\varepsilon_m\},$$

де

$$\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_r; \varepsilon_\theta; \varepsilon_z\}; \{\varepsilon_m\}^T = \{\varepsilon_1; \varepsilon_2; \varepsilon_3\}.$$

Приймаючи остаточно справедливості третьої гіпотези теорії малих пружно-пластичних деформацій, визначимо інтенсивність деформацій

$$\varepsilon_i = \frac{2(1 + \mu_c)}{3 E_c} (q - p_x). \quad (12)$$

Приймаючи знайдену інтенсивність деформацій за межу інтегрування в (9), визначимо щільність енергії деформації e_{ur} для еле-

мента в обоймі. Далі, маючи в розпорядженні формули (8) і (9), визначаємо теоретичний коефіцієнт збільшення несучої здатності сталобетонного циліндричного несучого елемента за формулою (7).

Висновки

Запропонована методика розрахунку коефіцієнта збільшення несучої здатності сталобетонного циліндричного несучого елемента, яка ґрунтується на доведених гіпотезах і критеріях опору матеріалів і теорії пружності. Наведена методика, окрім механічних характеристик бетонного ядра та сталеві обойми, може враховувати особливості структури й діаметра елемента.

Література

- Синьковська О.В. Ефективні сталобетонні циліндричні опори будівель та споруд: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Харків, 2015. 265 с.
- Anikeieva Ye.V., Synkovska O.V., Borzenko O.P. The study of several techniques related to theoretical calculation of cylindrical steel-concrete bearing elements of building and structures. *Студентство. Наука. Іноземна мова: збірник наукових праць студентів, аспірантів та молодих науковців*. Харків, 2019. Вип. 11. Ч. 1. С. 73–76.
- Єрмоленко Д.А. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.05. Полтава, 2012. 40 с.
- Назаров О. В. Напружено деформований стан трубобетонних елементів при місцевих силових впливах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Київ, 2004. 20 с.
- Тимошенко В.М. Несуча здатність і деформативність стиснених трубобетонних елементів зі стиками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 2. Полтава, 2000. 19 с.
- Shmukler V.S., Luchkovsky I.Y. Nonlinear analysis of reinforced concrete structures strength. IABS symposium. Vol. 88. Shanghai, China, 2004.
- Коренев Р.В. Аналіз можливості виникнення прогресуючого обвалення металевих оболонок спеціального виду: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Харків, 2020. 198 с.
- Шваб'юк В.І., Ротко С.В. Лінійне деформування, міцність і стійкість композитних оболонок середньої товщини: монографія. Луцьк: Луцький НТУ, 2015. 264 с.
- Timoshenko S.P., Gooier J.N. Theory of Elasticity / 3rd edition. New York: McGrawHill Book Company, 1970. P. 576.
- Халіфе Рабі. Рационалізація параметрів системи «залізобетонна оболонка – сипуче» при динамічному впливі: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Харків, 2021. 187 с.
- Hamdy M. Mohamed, Hussien M. Abdel-Baky, Radhouane Masmoudi. Nonlinear Stability Analysis of Concrete-Filled Fiber-Reinforced Polymer-Tube. *ACI structural journal*. November-December 2010. P. 699–707.
- Хаммуд М.Т. Напружено-деформований стан та рационалізація параметрів залізобетонних колон із сітчастим армуванням: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Харків, 2021. 171 с.
- Timoshenko S. Engineering Mechanics. T. 1: Statics. New York: McGraw-Hill Book Company, 1967. 425 p.
- ., The design of concrete elements strength under local compression based on the variational method in the plasticity theory / V. Pohribnyi et al. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 116. 02026.
- Use of information technologies for energetic portrait construction of cylindrical reinforced concrete shells / O. Kalmykov et al. *6th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings MATEC WebConf. Volume 116, 2017"* (Transbud-2017). 10 July 2017.
- Rationalization Criteria of Structure's Parameters / V.S. Shmukler et al. *Zanco Journal for Pure and Applied Sciences, Salahaddin University Hawler, Iragi Kurdistan Region*. 2010. No. 6. Vol. 22. P. 56–64.
- Gorodeckiy A.S., Smukler V.S., Bondarev A.V. Information technologies of calculation and designing of building structures. Kharkiv: NTU «KPI», 2003. 889 p.
- On the criterion of the Limit State for Concrete / H. Mohammad et al. *Proc. of the 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering* (29 to 31 Aug. 2018. Czech Technical University in Prague). Prague, 2018. P. 593–599.
- ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Чинний з 2011-07-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 70 с.

References

- Synkovska, O.V. (2015) Efektyvni stalebetonni tsylindrychni opory budivel ta sporud [Effective steel-concrete cylindrical supports of buildings and structures]: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Kharkov, 24 p.
- Anikeieva, Ye.V., Synkovska, O.V., Borzenko, O.P. (2019) The study of several techniques related to theoretical calculation of cylindrical steel-concrete bearing elements of building and structures. Studentship. The science. Foreign language: a collection of science students, graduate students and young scientists. Kharkiv, issue 11, part 1, pp. 73–76.
- Iermolenko, D.A. (2012) Obiemyi napruzheno-deformovanyi stan trubobetonnykh el-

- ementiv [Volumetric stress-strain state of tubular concrete elements]: avtoref. dys. ...dokt. tekhn. nauk: 05.23.05. Poltava, 40 p.
4. Nazarov, O.V. (2004) Napruzhenno deformovanyi stan trubobetonnykh elementiv pry mistsevykh sylovykh vplyvakh [Stress-deformed state of tubular concrete elements under local force influences]: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Kyiv, 20 p.
 5. Tymoshenko, V.M. (2000) Nesucha zdatsnist ta deformatyvnyist stysnennykh trubobetonnykh elementiv zi stykamy [Bearing capacity and deformability of compressed tubular concrete elements with joints]: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 2. Poltava, 19 p.
 6. Shmukler, V.S., Luchkovsky, I. Y. (2004) Non-linear analysis of reinforced concrete structures strength. IABS symposium, vol. 88, Shanhai, China.
 7. Koreniev, R.V. (2020) Analiz mozhlyvosti vynyknennia prohresuiuchoho obvalennia metalovykh obolonok spetsialnoho vydu [Analysis of the possibility of progressive collapse of metal shells of a special type]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Kharkiv, 198 p.
 8. Shvab'yuk, V.I., Rotko, S.V. (2015) Liniyne deformuvannya, mitsnist' i stykist' kompozytnykh obolonok seredn'oyi tovshchyny [Linear deformation, strength and stability of composite shells of medium thickness]: monohrafiya. Luts'k: RVV Luts'koho NTU, 264 p.
 9. Timoshenko, S.P., Gooier, J.N. (1970) Theory of Elasticity / 3rd edition. New York, 576 p.
 10. Khalife, Rabi. (2021) Ratsionalizatsiya parametriv systemy «zalizobetonna obolonka – sypuche» pry dynamichnomu vplyvi [Rationalization of parameters of the "reinforced concrete shell - loose" system under dynamic influence]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Kharkiv, 187 p.
 11. Hamdy, M. Mohamed, Hussien, M. Abdel-Baky, Radhouane, Masmoudi. (2010) Noulinear Stability Analysis of Concrete-Filled Fiber-Reinforced Polymer-Tube. ACI structural journal. November-December, pp. 699–707.
 12. Khammud, M.T. (2021) Napruzhenodeformovanyi stan ta ratsionalizatsiya parametriv zalizobetonnykh kolon iz sitchastym armuvanniam [Stress-strain state and rationalization of parameters of reinforced concrete columns with mesh reinforcement]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Kharkiv, 171 p.
 13. Timoshenko, S. (1967) Engineering Mechanics. T. 1: Statics. New York, 425 p.
 14. Pohribnyi, V., Dovzhenko, O., Karabash, L., Usenko, I. (2017) The design of concrete elements strength under local compression based on the variational method in the plasticity theory. MATEC Web of Conferences, vol. 116. 02026.
 15. Kalmykov, O., Gaponova, L., Reznikand, P., Grebenchuk, S. (2017) Use of information technologies for energetic portrait construction of cylindrical reinforced concrete shells. 6th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings MATEC WebConf, vol. 116.
 16. Shmukler, V.S., Feirusha, S., Kakshar, H., Beregna, K.V., Vassim, Ismail. (2010) Rationalization Criteria of Structure's Parameters. Zanco Journal for Pure and Applied Sciences, Salahaddin University Hawler, Iragi Kurdistan Region, no. 6, vol. 22, pp. 56–64.
 17. Gorodeckiy, A.S., Smukler, V.S., Bondarev, A.V. (2003) Information technologies of calculation and designing of building structures. Kharkiv, 889 p.
 18. Mohammad, H., Shmukler, V., Reznik, P., Petrova, O. (2018) On the criterion of the Limit State for Concrete. Proc. of the 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering (29 to 31 Aug. 2018. Czech Technical University in Prague). Prague, pp. 593–599.
 19. DBN V.2.6-98:2009. (2011) Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozheniya [Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Substantive provisions]. [Chynnyi z 2011-07-01]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 70 p.
- Синьковська Олена Василівна**¹, канд. техн. наук, доцент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського, iglema@meta.ua, тел. +380(67)578-00-14;
- Ігнатенко Андрій Васильович**¹, канд. техн. наук, доцент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського, zamdecdbf@ukr.net, тел. +380(67)270-86-30;
- Назаренко Ірина Валентинівна**¹, асистент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського, iryana379nazarenko@gmail.com, тел. +380(98)403-88-53.
- ¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Determination of the load-bearing capacity increase coefficient of a steel-concrete cylindrical load-bearing element

Abstract. Problem. Steel-concrete cylindrical load-bearing elements are rational for reducing material intensity of individual elements and systems as a whole in construction. External sheet reinforcement of cylindrical elements, which is in the form of clamp, simultaneously performs the power, protective and technological functions. The clamps in steel-concrete cylindrical load-bearing elements restrain the movement of concrete in the transverse direction and lead to the gain in concrete strength among other. The concrete in the middle of the shell-clamp, in turn,

increases its stability. **Goal.** The purpose of these theoretical researches is to determine the load-bearing capacity increase coefficient of a steel-concrete cylindrical load-bearing element based on the fundamental theories and criteria of material resistance and the theory of elasticity. **Methodology.** Research was performed using the analysis of scientific literature, systematization and unification of various theoretical methods and criteria for the strength of materials and the stress-strain behavior of individual elements and the structure as a whole. **Results.** Theoretical calculations to determine the load-bearing capacity increase coefficient of a steel-concrete cylindrical element made by enclosing a concrete core in a steel clamp are presented on the basis of the combined fundamental theories and criteria of material resistance along with the theory of elasticity. **Originality.** The scientific novelty of the work consists in the fact that specific fundamental theoretical methods and criteria for assessing strength and determining the stress-strain behavior of structural elements were comprehensively analyzed and systematized, taking into consideration current regulatory requirements. **Practical value.** The presented results of the work are significantly different from most of the presented methods in the direction of calculating the stress-strain behavior and determining the load-bearing capacity of steel-

concrete cylindrical load-bearing elements. Firstly, this would enable scientists to look at the problem of calculating such load-bearing elements from a new angle in further research, and secondly, it would accelerate the possibility of rational using of steel-concrete cylindrical load-bearing elements in all directions of construction.

Keywords: cylindrical element, steel-concrete, radial and ring deformations, load-bearing capacity, movement, clamping, compression

Synkovska Olena, Ph.D., Assoc. Prof. Department of bridges, structures and building mechanics named after V.O. Rosiiskiyi, iglema@meta.ua, tel. +380(67)578-00-14;

Ihnatenko Andrii, Ph.D., Assoc. Prof. Department of bridges, structures and building mechanics named after V.O. Rosiiskiyi, zamdecdbf@ukr.net, tel. +380(67)270-86-30;

Nazarenko Iryna, assistant Department of bridges, structures and building mechanics named after V.O. Rosiiskiyi, iryna379nazarenko@gmail.com, tel. +380(98)403-88-53.

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.
