

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ПОШКОДЖЕНИХ СТИСНУТИХ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Клименко Є.В., Дуденко Т.О., Мустафа Г.М.

Одеська державна академія будівництва та архітектури
м. Одеса, Україна

АНОТАЦІЯ: Наводиться методика визначення несучої здатності позацентрово стиснутих бетонних конструкцій, пошкоджених в процесі експлуатації. Методика базується на основних положеннях розрахунку чинних норм та поширює їх дію на випадок, коли поперечний переріз частково пошкоджений.

АННОТАЦИЯ: Приводится методика определения несущей способности внецентренно сжатых бетонных конструкций, поврежденных в процессе эксплуатации. Методика базируется на основных положениях действующих норм и расширяет их действие на случай, когда поперечное сечение частично повреждено.

ABSTRACT: A method over of determination of bearing strength is brought eccentric the compressed concrete constructions, damaged in the process of exploitation is presented. A method is based on the substantive provisions of operating norms and extends their operating on a case, when a cross runner is partly damaged.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: бетонні елементи, несуча здатність, ексцентриситет.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В даний час надзвичайно гостро стоїть проблема оцінювання технічного стану окремих конструкцій та будівель чи споруд в цілому на момент обстеження, елементи яких зазнали пошкодження в процесі експлуатації. Достовірне оцінювання та прогнозування дає можливість: поперше – попередити виникнення аварій конструкцій та пов'язаних з ними

збитків; по-друге – раціонально використовувати кошти на виконання підтримуючих та капітальних ремонтів.

Відомо, що існуюча нормативна методика розрахунку бетонних конструкцій за першою групою граничних станів має досить високу надійність та базується на даних експериментально-теоретичних досліджень, проведених для центрально- та позацентрово стиснутих елементів (у випадку плоского позацентрального стиску). Рекомендації щодо розрахунку несучої здатності косостиснутих бетонних елементів в чинних нормах відсутні.

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Чинні норми не дають можливості оцінювати залишкову несучу здатність пошкоджених бетонних та залізобетонних конструкцій, особливо в умовах косого пошкодження, тобто тоді, коли фронт пошкодження не паралельний грані стиснутого елемента. Експериментально-теоретичні дослідження роботи косостиснутих бетонних та залізобетонних конструкцій проводилися лише для випадку, коли мав місце ексцентриситет у двох взаємно перпендикулярних площинах.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Широкі дослідження, проведені школою професора Торяника М.С. [4], дозволили описати роботу позацентрово косостиснутих бетонних та залізобетонних елементів. Усі ці дослідження проводилися на зразках правильної (симетричної) форми, а косий стиск досягався шляхом введення ексцентриситету прикладання зовнішнього зусилля відносно обох осей симетрії. Базуючись на чинних на той час нормах, прийнята передумова про рівномірний розподіл напружень в бетоні стиснутої зони.

Проведені останнім часом дослідження [2, 3, 5] дозволили виробити рекомендації щодо визначення несучої здатності стиснутих (при плоскому позацентровому стисканні) та зігнутих (в тому числі і в умовах косого згину) залізобетонних елементів з врахуванням фізичної нелінійності бетону.

Однак, перераховані вище експериментально-теоретичні дослідження не розглядали питання роботи позацентрово стиснутих бетонних і залізобетонних конструкцій, пошкоджених в ході експлуатації, в результаті чого реалізується складний вид деформування, а саме – косий стиск. **Метою** даної статті є розробка методики визначення залишкової несучої здатності пошкоджених бетонних стиснутих елементів. Ця методика, по-перше, може використовуватися безпосередньо для

визначення залишкової несучої здатності пошкоджених бетонних стиснутих конструкцій, а по-друге – слугувати основою для розроблення методики розрахунку пошкоджених залізобетонних елементів.

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ПОШКОДЖЕНИХ БЕТОННИХ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Розроблений метод розрахунку стосується бетонних стиснутих елементів, які в ході експлуатації зазнали плоского (коли фронт поширення пошкодження паралельний одній з головних осей) і косого (фронт пошкодження – не паралельний жодній головній осі) пошкодження. В першому випадку проблем з визначенням залишкової несучої здатності не виникає – можна скористатися рекомендаціями чинних норм для непошкоджених елементів.

При розрахунку несучої здатності бетонних елементів приймаються наступні передумови:

1. напруження в стиснутій зоні розподіляються рівномірно з інтенсивністю ηf_{cd} (згідно п. 3.1.7.2 [1]);
2. приймається гіпотеза плоских перерізів;
3. зовнішнє стискаюче зусилля, прикладене в центрі мас стиснутої зони бетону;
4. робота розтягнутого бетону у сприйнятті зовнішніх зусиль не враховується;
5. фронт пошкодження має прямолінійний обрис.

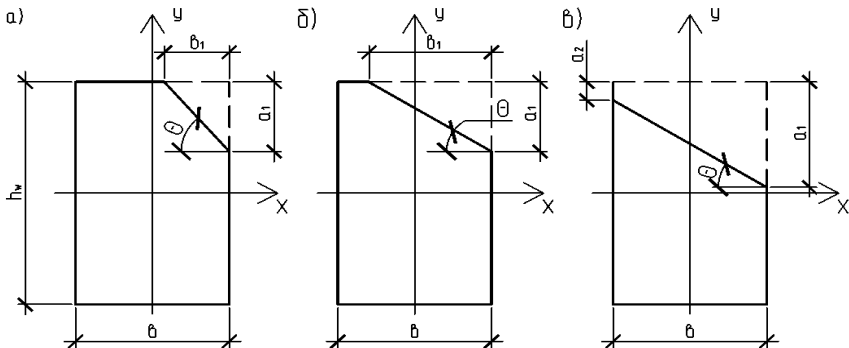


Рис. 1. Поперечний переріз у випадку а – I; б – II; в – III

У випадку косого пошкодження може мати три випадки розміщення зони пошкодження відносно перерізу елемента. Випадок I має місце, коли $b_1 \leq b/2$ (рис. 1, а). Якщо $b/2 < b_1 \leq b$, то це випадок II (рис. 1, б). I, нарешті, якщо $b = b_1$, а $a_1 > 0$ и $\theta \neq 0^0$, тоді маємо III випадок розрахунку (рис. 1, в).

При визначенні залишкової несучої здатності стиснутого пошкодженого бетонного елемента за кожним із цих випадків є ряд загальних особливостей розрахунку, які базуються на прийнятих передумовах. До таких особливостей відноситься, наприклад те, що у випадку прийняття гіпотези про рівномірний розподіл напружень в стиснутій зоні (оскільки розглядається момент руйнування, то в III стадії роботи бетонної конструкції інтенсивність напружень в матеріалі буде рівна ηf_{cd}) точка центру мас епюри напружень в бетоні буде співпадати з центром мас стиснутої площі.

В усіх вищенаведених випадках при розв'язку задачі про граничне значення залишкової несучої здатності пошкодженого стиснутого бетонного елемента відомими будуть величини: ширина (b) і висота (h_w) непошкодженого поперечного перерізу елемента; ексцентриситет прикладання зовнішнього стискаючого зусилля (e_0); розрахункове значення міцності бетону на стиск (f_{cd}); глибина пошкодження (a_1); кут нахилу фронту пошкодження до однієї з головних осей непошкодженого перерізу (θ). Невідомими будуть: шукане значення граничної величини залишкової несучої здатності (N_{Rd}); висота стиснутої зони (x); кут нахилу нейтральної осі до однієї з головних осей непошкодженого перерізу (γ).

При розв'язку задачі використаємо наступні рівняння та залежності:

1. Умова рівноваги

$$N_{Rd} = \eta f_{cd} \times A_c, \quad (1)$$

де A_c – площа стиснутого бетону (визначається через висоту стиснутої зони бетону x та кут нахилу нейтральної осі (γ) (за прийнятих відомих)).

2. Центр мас стиснутої зони бетону співпадає з точкою прикладання зовнішнього стискаючого зусилля.

3. Як наслідок із другої умови, координати центра мас стиснутої зони бетону відносно головних осей непошкодженого перерізу визначаються наступним чином

$$x_c = 0; y_c = e_0. \quad (2)$$

Для прикладу розглянемо випадок I ($b_1 \leq b/2$). Визначаємо статичний момент стиснутої площі бетону відносно осей, що проходять через її центр мас, тобто x_1 и y_1 та прирівнюємо їх до нуля.

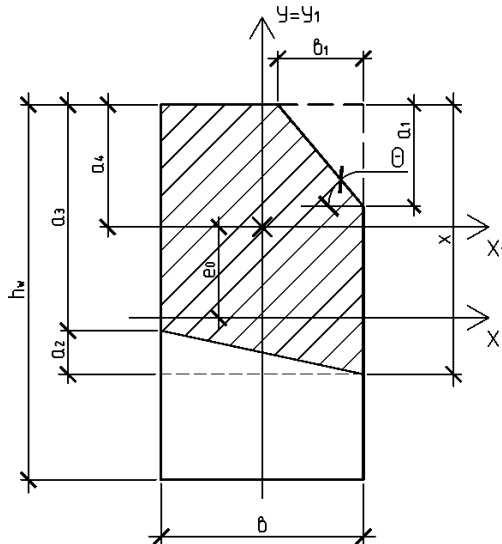


Рис. 2. Розрахункова схема випадку I

Допоміжні геометричні параметри поперечного перерізу:

$$a_1 = b_1 \operatorname{tg} \gamma. \quad (3)$$

$$a_2 = b \operatorname{tg} \gamma. \quad (4)$$

$$a_3 = x - a_2. \quad (5)$$

$$a_4 = 0,5h_w - e_0. \quad (6)$$

Статичний момент відносно осі x_1 .

Випадок, коли $a_1 \geq 0,5h_w - e_0$. При цьому стиснута зона бетону ділиться на три ділянки.

$$S_{x_1} = 0,5a_4^2b - 0,5a_1b_1\left(a_4 - \frac{1}{3}a_1\right) - 0,125b(a_3 - 2a_4 + x)(a_3 - 2a_4 + x) = 0. \quad (7)$$

Площа стиснутої зони визначається за виразом

$$A_c = bx - 0,5a_1b_1 - 0,5a_2b = bx - 0,5a_1^2 \operatorname{ctg} \theta - 0,5b^2 \operatorname{tg} \gamma. \quad (8)$$

Випадок, коли $a_1 < 0,5h_w - e_0$. При цьому стиснута зона ділиться на чотири зони. Статичний момент відносно осі x_1 , що проходить через центр мас стиснутої зони бетону, визначається за виразом

$$\begin{aligned} S_{x_1} = & 0,25a_4^2(2b - b_1 - b_2) - 0,25(2b - b_2)(a_1 - a_4)^2 - b(x - a_1 - a_2) \times \\ & \times [a_3 - a_4 - 0,5(x - a_1 - a_2)] - \\ & - 0,5a_2b\left(\frac{1}{3}a_2 + a_3 - a_4\right) = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

де

$$b_2 = (a_1 - a_4) \operatorname{ctg} \theta. \quad (10)$$

Статичний момент відносно осі y_1 в обох випадках буде мати наступний вигляд

$$\begin{aligned} S_{y_1} = & 0,125b^2x - 0,09375a_2b^2 - 0,5a_1b_1\left(0,5b - \frac{2}{3}b_1\right) - \\ & - 0,125b^2(x - a_1) + 0,0625a_2\frac{1}{3}b^2 = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Таким чином, маючи три невідомих та три рівняння можна отримати залишкову несучу здатність пошкодженого бетонного елемента.

Аналогічним чином визначається залишкова несуча здатність для інших випадків розрахунку.

У випадку, коли зовнішня сила прикладена за межами пошкодженого перерізу (для бетонних конструкцій норми такого випадку не розглядають) залежно від величини напружень в бетоні стиснутої зони може мати два випадки розрахунку. В обох випадках визначаючою є міцність розтягнутої зони.

Перший має місце при напруженнях в стиснутому бетоні невисокого рівня. Розрахункова схема показана на рис. 3. Рівняння рівноваги в цьому випадку будуть мати вигляд

$$\sum Z = 0; N_{Rd} + N_{ct} - N_{cd} = 0; N_{Rd} + 2f_{ctm}b(h_{w_1} - x) - 0,5\sigma_cxb = 0. \quad (12)$$

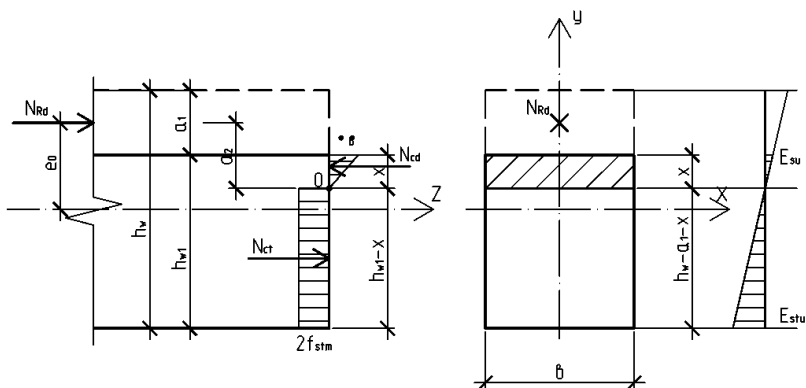


Рис. 3. Розрахункова схема за напружень в стиснутій зоні невисокого рівня

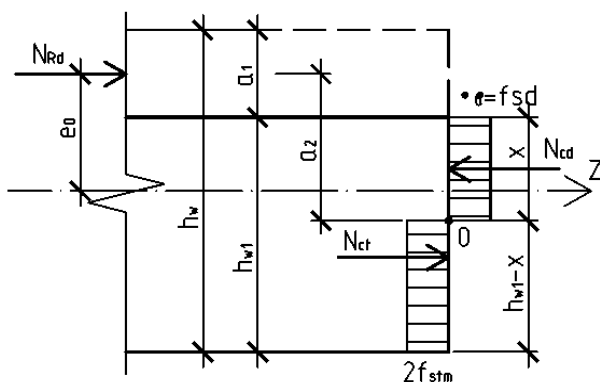


Рис. 4. Розрахункова схема для високого рівня напружень

$$\sum M = 0; N_{Rd}a_2 - f_{ctm}b(h_{w1} - x)^2 - 0,5b\frac{2}{3}x^2\sigma_c = 0. \quad (13)$$

У випадку, коли напруження в бетоні в момент руйнування досягають високого рівня (рис. 4), рівняння рівноваги будуть мати вигляд

$$\sum Z = 0; N_{Rd} + N_{ct} - N_{cd} = 0; N_{Rd} + 2f_{ctm}b(h_{w1} - x) - f_{cd}xb = 0; \quad (14)$$

$$\sum M = 0; N_{Rd} a_2 - f_{ctm} b (h_{w1} - x)^2 - 0,5 b x^2 \sigma_c = 0. \quad (15)$$

В цих рівняннях

$$a_2 = a_1 - (0,5 h_w - e_0) + x. \quad (16)$$

Для першого випадку маємо три невідомих, а саме: N_{Rd} , x , σ_c та два рівняння рівноваги. Для залучення ще одного рівняння розглянемо деформовану схему поперечного перерізу (рис. 3) та виходячи з гіпотези плоских перерізів будемо мати

$$\frac{\varepsilon_{ctu}}{h_{w1} - x} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x}. \quad (17)$$

Враховуючи (для прийнятої пружної роботи бетону), що

$$E_{cd} = E_{ct}; \sigma_c = \varepsilon_{cu} E_{cd}; \varepsilon_{ctu} = \frac{2 f_{ctm}}{E_{ct}}, \quad (18)$$

можна визначити невідомі величини та визначити залишкову несучу здатність пошкоджених (у випадку плоского пошкодження) бетонних стиснутих елементів.

Враховуючи тісну кореляційну залежність між величиною втраченої площі бетону в поперечному перерізі та зменшенням залишкової здатності, для елементів, що мають пошкодження в межах параметрів, які досліджувалися (глибина пошкодження від нуля до половини висоти перерізу; кут нахилу фронту пошкодження від 0° до 60° та відносний ексцентриситет від нуля до четверті висоти перерізу, тобто в доволі широких межах, які охоплюють практично увесь спектр пошкоджень, які зустрічаються в практиці експлуатації бетонних конструкцій), запропонований експрес метод визначення несучої здатності. Цей метод може бути корисним для негайного прийняття рішення щодо віднесення конструкції до певного технічного стану.

Залишкова несуча здатність пропонується визначати за виразом

$$N_{Rd} = k \eta f_{cd} b h_w \left(1 - 2 \frac{e}{h_w} \right), \quad (19)$$

де коефіцієнт k залежить від ступеню пошкодження початкової площі перерізу бетонного елемента (рис. 5) та визначається за виразом

$$k = 0,7 A_{os}^2 + 0,4 A_{os} - 0,25, \quad (20)$$

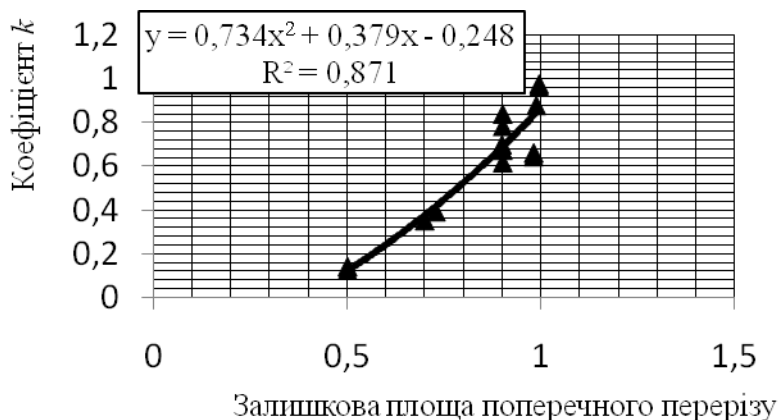


Рис. 5. Коефіцієнт зниження несучої здатності

де A_{os} – залишкова площа поперечного перерізу, яка визначається як відношення фактичної площі перерізу, що залишилася (A_1) до початкової площі (A):

$$A_{os} = \frac{A_1}{A}. \quad (21)$$

Таким чином, можна визначити значення залишкової несучої здатності пошкодженого бетонного стиснутого елемента, як при плоскому, так і при косому пошкодженнях.

ВИСНОВОК

Розроблена методика розрахунку несучої здатності стиснутих бетонних елементів, пошкоджених в процесі експлуатації, яка розширює рамки чинних норм на випадок косого позacentрового стиску. Інженерний метод дозволяє експресметодом визначити можливість подальшої експлуатації стиснутих бетонних елементів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування: ДБН В.2.6-98:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 97 с.
2. Бамбура А.Н. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе / А.Н. Бамбура, А.Б. Гурковский // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. - Кн. 1. – С. 121-130.
3. Роговой С.И. Нелинейное деформирование в теории железобетона и расчет прочности нормальных сечений / С.И. Роговой. – Полтава: ПолтНТУ, 2002 –183 с.
4. Расчет железобетонных конструкций при сложных деформациях; под об. ред. М.С. Торяника. – М.: Стройиздат, 1974. –297 с.
5. Павліков А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косо завантажених залізобетонних елементів у за критичній стадії / А.М. Павліков. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – 259 с.

Стаття надійшла до редакції 17.02.2013 р.