

УДК 624.012.45:539.415

**ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ПОХИЛИМИ ПЕРЕРІЗАМИ**

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ**

**THE BEARING CAPACITY DISIGN OF REINFORSED CONCRETE
ELEMETS ON INCLINED SECTION**

Довженко О.О., к.т.н., проф., Погребний В.В., к.т.н., с.н.с. (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

Довженко О.А., к.т.н., проф., Погребной В.В., к.т.н., с.н.с. (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

Dovzhenko O.O., candidate of technical sciences, professor, Pogrebnoy V.V., candidate of technical sciences, senior researcher (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava)

Запропонована методика оцінювання несучої здатності залізобетонних елементів за похилими перерізами. Представлені розрахункові залежності, побудовані на загальній основі – визначенні опору залізобетону зрізу. Встановлені категорії технічного стану за залишковою несучою здатністю.

Предложена методика оценки несущей способности железобетонных элементов по наклонным сечениям. Представлены расчетные зависимости, построенные на общей основе – определении сопротивления железобетона срезу. Установлены категории технического состояния по остаточной несущей способности.

Disign method of bearing capacity of reinforced concrete elemets on inclined section proposed. Presented formulas are based on the determination of the shear resistance of reinforced concrete. The categoris of tecnical condition have been established.

Ключові слова:

Залізобетон, зріз, опір, розрахунок, категорія.

Железобетон, срез, сопротивление, расчет, категория.

Reinforced concrete, shear, resistance, disiqn, category

Стан питання та задачі дослідження. Одним із найбільш перспективних напрямків створення ефективних конструктивних рішень та забезпечення надійної роботи конструкцій є удосконалення методів їх розрахунку. Міцність залізобетонних елементів, що згинаються, визначається їх здатністю сприймати поперечну силу та згинальний момент. Якщо на дію останнього розрахунок за нормальним перерізом достатньо детально розроблений на основі розрахункової схеми, котра не викликає суперечностей у більшості дослідників, то при оцінюванні несучої здатності на дію поперечної сили їх думки мають суттєві розбіжності.

Останнім часом питання визначення несучої здатності залізобетонних елементів на дію поперечних сил приділяється підвищена увага. Для обґрунтування схеми зусиль у небезпечному перерізі та уточнення їх розподілу важливе значення має поглиблене вивчення явища зрізу (зсуву) як форми руйнування бетону й залізобетону. Цьому питанню присвячені наукові праці Г.І. Ашкинадзе, І.Н. Герасимової, Е. Горачека, О.С. Залесова, В.Г. Кваші, Ю.А. Климова, П.М. Коваля, В.І. Колчунова, О.І. Корнійчука, Д.В. Кочкарьова, О.О. Кудрявцева, В.І. Липака, Л.С. Махвіладзе, В.П. Митрофанова, Д. Пуме, Б.С. Соколова, D.L. Araujo, S.H. Megally, G. Rombach та інших [1 – 10].

В основу методики розрахунку за СНиП 2.03.01-84* [11], яка проіснувала багато років у якості нормативної, була покладена «дискова модель», котра детально вивчалася та вдосконалювалася. Із введенням у дію ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [12] базовою стала «фермова аналогія». Аналіз методик, побудованих на «фермовій аналогії» та «дисковій моделі» свідчить як про їх певні недоліки так і переваги. А саме: прийнята в [12] розрахункова схема не відображає картину руйнування, що реалізується в дослідах, особливо для елементів з відношенням довжини проєкції похилого перерізу до робочої висоти (відносним прольотом зрізу) $c/d > 1,5$. Більш характерним, ніж виникнення стиснутого підкосу, є розвиток небезпечної похилої тріщини, котра при зрізі бетону стиснутої зони розділяє елемент на диски [11]. В [12] також не враховується сумісна робота бетону й арматури, нагельний ефект у поздовжній арматурі, зачеплення у похилій тріщині, сумісна дія поздовжнього та поперечного зусиль у стиснутій зоні, вплив c/d На окремих інтервалах прольотів зрізу, інтенсивності поперечного армування та класів бетону результати розрахунку та дані експериментів досить добре збігаються, але для великої кількості випадків вони мають значну відмінність, що приводить до недооцінки міцності та перевитрат поперечної арматури. В [11] проліт зрізу та сумісна робота бетону й арматури враховується. Наряду з цим, методику [12] відрізняє простота розрахункових залежностей. Тому при вдосконаленні розрахунку залізобетонних елементів за похилими перерізами необхідно в повній мірі використати переваги кожної із вказаних методик та загальною для них складову розрахунку – опір зрізу (зсуву).

Метою роботи є оцінювання несучої здатності залізобетонних елементів за похилими перерізами на основі визначення опору залізобетону зрізу, а також встановлення категорій технічного стану конструкцій за результатами розрахунку.

Виклад основного матеріалу. Руйнування залізобетонних конструкцій на біляпорних ділянках відбувається шляхом зсуву за похилою тріщиною та зрізу стиснутої зони бетону. Тому в основу розрахунку слід покласти характеристики, котрі визначають опір залізобетону зрізу. Ступінь їх впливу залежить від специфіки напружено-деформованого стану елементів.

Загально відома залежність для визначення поперечної сили, яку сприймає залізобетонний елемент при зрізі,

$$V_{sh} = \eta f_{ctd} A_{sh} + \mu f_{yd} A_s, \quad (1)$$

де коефіцієнти $\eta = 0,5$ [12], $1,5$ [13], 2 [14] і $\mu = 0,7 - 0,9$ [12–14]; A_{sh} та

A_s – площа зрізу і розташованої нормально до його площини арматури; усі не розшифровані тут та нижче параметри відповідають наведеному у [12].

Тоді розрахунковий опір залізобетону зрізу дорівнює

$$f_{sh} = \eta f_{ctd} + \mu f_{yd} \rho, \quad (2)$$

де $\rho = A_s / A_{sh}$.

Схема зусиль у похилому перерізі залізобетонних елементів при оцінюванні їх несучої здатності прийнята аналогічною, застосованій в [11] для розрахунку міцності на дію поперечної сили за похилою тріщиною.

При підставленні в базову залежність (2) характеристик похилого перерізу, отримана формула для визначення параметра граничного навантаження H_d , яке сприймає залізобетонний елемент без попередньо напруженої арматури,

$$H_d(F; qa) = (m_\sigma \psi_f f_{ctd} x + \mu f_{yd} \rho l_{crc}) b, \quad (3)$$

де F – зосереджена сила; q – рівномірно розподілене навантаження;

$a = kl_{eff} - c$, $k = 0,5$ (0,4; 0,6) залежно від розрахункової схеми елемента,

l_{eff} – розрахунковий проліт, c – довжина проекції похилого перерізу на

поздовжню вісь елемента; m_σ , ψ_f – коефіцієнти, які враховують відповідно

вплив обтиснення та стиснутих полиць таврового і двотаврового перерізів; x – висота стиснутої зони бетону над похилою тріщиною;

$\mu f_{yd} \rho l_{crc} = f_{ywd} \rho_w c_0$ ($f_{ywd} / f_{yd} = 0,74$; $0,78$ і $0,72$ для арматури класів А240С, А400С і В500 відповідно), l_{crc} – довжина тріщини, $\rho_w = A_{sw} / (bs)$,

A_{sw} та s – площа і крок поперечної арматури, c_0 – довжина проекції похилої тріщини на поздовжню вісь елемента, b – ширина поперечного перерізу.

Таким чином, загальна залежність для визначення граничного навантаження залізобетонних елементів за похилими перерізами набуває вигляду

$$H_d(F; qa) = (m_\sigma \psi_f f_{ctd} x + \rho_w f_{ywd} c_0) b. \quad (4)$$

До величини c_0 і c застосовуються обмеження, наведені нижче.

Задача зводиться до пошуку параметрів m_σ , x , c_0 та c .

Опір бетону на зріз із урахуванням особливостей напруженого стану пропонується встановлювати на основі математичного апарата теорії пластичності [15]. В ПолтНТУ створена достатньо загальна методика розрахунку несучої здатності залізобетонних конструкцій [16, 17]. Розв'язані задачі міцності цілого ряду бетонних і залізобетонних елементів при зрізі, котрі відрізнялися видом та класом бетону, геометричними параметрами (формою, відносним прольотом зрізу тощо), інтенсивністю армування та схемою прикладання навантаження. Це дозволило виявити якісний і кількісний вплив вказаних факторів [17]. Оцінювання несучої здатності пропонується здійснювати на основі врахування опору залізобетону зрізу як базової складової розрахунку.

Для забезпечення надійної та тривалої роботи існуючих залізобетонних конструкцій необхідно своєчасно здійснювати заходи щодо їх збереження та підвищення експлуатаційної придатності. Виконанню цього завдання слугує діагностика технічного стану конструкцій з обґрунтованою оцінкою залишкової несучої здатності та визначенням його категорій.

На теперішній час існує певна неоднозначність при визначенні категорій технічного стану. Так наявність у формулюванні непридатного для експлуатації технічного стану (III) словосполучень «можливо забезпечити її цілісність на час підсилення», а при аварійному стані (IV) – «неможливо гарантувати цілісність конструкції на період підсилення» [18] обумовлює суб'єктивність оцінювання та інтуїтивність визначення. Тому слід більш чітко й однозначно визначити межі категорій технічного стану конструкцій.

За введеними у дію нормами із забезпечення надійності, конструктивної безпеки будівель і споруд ДБН В.1.2-14-2009 [19] та визначення навантажень і впливів ДБН В.1.2-2:2006 [20] значення коефіцієнта надійності об'єктів за відповідальністю та розрахункового граничного навантаження на конструкції значно підвищилися. Рівень граничного навантаження, при якому несуча здатність конструкції забезпечена за методикою [12] з врахуванням [19, 20], суттєво вищий ніж за [11] з використанням ГОСТ 27751-88 [21] і СНиП 2.01.07-85 [22]. При цьому слід відмітити, що залізобетонні конструкції запроектовані за [11] мали високу надійність.

Розрахунок за [11 і 12] розглядається відповідно як нижня та верхня оцінка. Рекомендуються такі формулювання категорій технічних станів III і IV за залишковою несучою здатністю:

- за стан конструкції III – непридатний для експлуатації, вважати такий стан, коли конструкція за ДСТУ Б В.2.6-156:2010, ДБН В.1.2-14-2009 і ДБН В.1.2-2:2006 перевантажена, але на основі перевірних розрахунків за СНиП 2.03.01-84* з застосуванням ГОСТ 27751-88 і СНиП 2.01.07-85 та врахуванням впливів пошкоджень (дефектів) її несуча здатність забезпечена;

- за стан конструкції IV – аварійний, вважати такий, при котрому на основі перевірних розрахунків несуча здатність конструкції з врахуванням впливів наявних пошкоджень (дефектів) не забезпечена як за методикою ДСТУ Б В.2.6-156:2010 так і за методикою СНиП 2.03.01-84*.

Для визначення граничних розрахункових значень навантажень, які сприймаються конструкціями, наближених до результатів, отриманих за [11, 12], запропоновані рівняння, встановлені на основі залежності (4).

При дії рівномірно розподіленого навантаження

$$q = (m_{\sigma}\xi\sqrt{\psi'_f} f_{ctd} + \rho_w f_{ywd} \bar{c}_0) b d_{eff} / (k l_{eff} - c), \quad (5)$$

де $\xi = x / d_{eff}$; $\bar{c}_0 = \sqrt{\varphi_n \psi'_f f_{ctd} / (\rho_w f_{ywd})}$, тут $\varphi_c = 2$ – для важкого бетону; при визначенні значень q , наближених до результатів за [12]: $m_{\sigma}\xi = 1$; $\psi'_f = 1$; ефективна висота поперечного перерізу $d_{eff} = z = 0,9d$, тут d – робоча висота поперечного перерізу; $c = \bar{c}_0 d_{eff}$; застосовуються обмеження $0,85 \leq \bar{c}_0 \leq 1 + 100\rho_w$; при визначенні значень q , наближених до результатів за [11]: $m_{\sigma}\xi = 3\sqrt{d_{eff} / l_{eff}}$; $\psi'_f = (1 + \varphi_f) \leq 1,5$, φ_f – визначається відповідно до [11]; $d_{eff} = d$; $c = 2t\sqrt{l_{eff} d_{eff} \bar{c}_0}$, $t = \sqrt{\alpha\rho_w}$, $\alpha = E_s / E_{cd}$; до величин $c_0 = \bar{c}_0 d_{eff}$ і c застосовуються обмеження, надані в [11]. Для елементів з нахиленою стиснутою граню: $d_{eff} = d_{eff,o} + c / ctg\beta$, тут $d_{eff,o}$ – ефективна висота на опорі при балковій схемі роботи та в місці прикладання сили F при консольній схемі; β – кут нахилу стиснутої грані до поздовжньої осі елемента; при цьому замість \bar{c}_0 в (5) слід підставляти $\bar{c}_0(1 - tg\beta)$ для значень q , наближених до результатів, отриманих за [11].

При зосередженому навантаженні

$$F = (m_{\sigma}\xi\psi'_f f_{ctd} + \rho_w f_{ywd} \bar{c}_0) b d_{eff}. \quad (6)$$

Для визначення сили F , значення котрої наближені до отриманих за методиками [11, 12], прийняті параметри й обмеження аналогічні наведеним вище, крім параметра $m_{\sigma}\xi = 2d_{eff} / c$ для значень, наближених до отриманих за [11], де c – відстань від опори до сили.

Після перетворення рівняння (5) і (6) для елементів постійної висоти ($tg\beta = 0$) набувають вигляду

$$q = (f_{ctd} + \rho_w f_{ywd} \bar{c}_o) b z / (k l_{eff} - \bar{c}_o z), \quad (7)$$

$$q = (3\sqrt{\psi'_f d / l_{eff}} f_{ctd} + \rho_w f_{ywd} \bar{c}_o) b d / (k l_{eff} - 2\sqrt{\alpha \rho_w l_{eff} d} \bar{c}_o), \quad (8)$$

$$F = (f_{ctd} + \rho_w f_{ywd} \bar{c}_o) b z, \quad (9)$$

$$F = (2\psi'_f f_{ctd} d / c + \rho_w f_{ywd} \bar{c}_o) b d. \quad (10)$$

Методика [12] передбачає виконання умови $ctg\theta \leq 2,5$, де θ – кут нахилу стиснутого підкосу до поздовжньої осі елемента. При перевищенні $ctg\theta$ вказаної величини відбувається недооцінювання міцності конструкцій, що засвідчується даними експериментів. Для отримання значень q і F , наближених до результатів за [12] до залежностей (7) і (9) на інтервалі $ctg\theta > 2,5$ вводиться коефіцієнт $k = 2,5 / ctg\theta$.

Результати розрахунку наближені до значень граничних навантажень за [11, 12] з точністю $\left[\left| \frac{q(F)_{ДБН(СНУП)} - q(F)_{calc}}{q(F)_{ДБН(СНУП)}} \right| \times 100\% \right]$ до 10%, що свідчить про правомірність застосування опору залізобетону зрізу в якості базової складової розрахунку.

Отримані величини q і F порівнюються з граничними розрахунковими значеннями навантажень, які діють на конструкцію. За результатами порівняння визначаються категорії технічного стану конструкцій.

Висновки.

1. Запропонована методика оцінювання несучої здатності залізобетонних елементів по похилих перерізах, котра враховує опір залізобетону зрізу як базову складову розрахунку.

2. На основі загального підходу до зрізу як форми руйнування отримані залежності для визначення граничного навантаження, значення котрого наближені до результатів розрахунків за ДСТУ Б В.2.6-156:2010 і СНиП 2.03.01-84*.

3. Застосування верхньої та нижньої оцінки залишкової несучої здатності залізобетонних конструкцій однозначно встановлює категорії їх технічного стану.

1. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследование и основы проектирования / [Г.Н. Ашкинадзе, М.Е. Соколов, Л.Д. Мартынова и др.]; под ред. Г.Н. Ашкинадзе и М.Е. Соколова. – М.: Стройиздат, 1988. – 504 с. 2. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций. Опыт СССР и ЧССР / [Е. Горачек, В.И. Лишак, Д. Пуме и др.]; под ред. В.И. Лишака. – М.: Стройиздат, 1980. – 192 с. 3. Кваша В.Г. Исследование шпоночных соединений плоских плит / В.Г. Кваша, П.Н. Коваль // Бетон и железобетон. – 1984. – № 1. – С. 36 – 39. 4. Корнійчук О.І. Розрахунок несучої здатності похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів згідно нових нормативних документів

ДБН В.2.6-98 та ДСТУ Б В.2.6-156 // Ресурсоекономні матеріали, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Вип. 29. – Рівне, 2012. – С. 269 – 274. **5.** Кочкаръов Д.В. Розрахунок похилих перерізів залізобетонних балок методом розрахункових опорів залізобетону // Ресурсоекономні матеріали, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Вип. 29. – Рівне, 2012. – С. 202 – 207. **6.** Митрофанов В.П. О прочности некоторых бетонных элементов при срезе / Митрофанов В.П., В.В. Погребной // Строительная механика и расчет сооружений. – 1988. – №2. – С. 64 – 68. **7.** Довженко О.О. Методика розрахунку шпонкових з'єднань залізобетонних елементів // О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва» – Львів, 2013. – №755. – С. 111 – 117. **8.** Araujo D.L. Strength of shear connection in composite bridges with precast decks using high performance concrete and shear-keys / D.L. Araujo, M.K. Debs // Materials and Structures. – 2005. – Vol 38. – № 3. – P. 173 – 181. **9.** Megally S.H. Seismic response of sacrificial shear keys in bridge abutments / S.H. Megally, P.F. Silva, F. Seible // Report No. SSRR-2001/23, Department of Structural Engineering University of California, San Diego La Jolla, California, 2002. – №5. – p. 198 – 200. **10.** Rombach G. Precast segmental box girder bridges with external prestressing design and construction / G. Rombach // Technical University, Hamburg, Germany. INSA Rennes. – 2002. – № 2. – P. 56 – 60. **11.** СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с. **12.** ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції із важкого бетону. Правила про проектування / Мінрегіонбуд України. – К., 2011. – 118 с. **13.** Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий: ВСН 72-77. – М.: Стройиздат, 1978. – 177 с. **14.** Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями / НИИЖБ Госстроя СССР, ЦНИИПромзданий Госстроя СССР, Уральский Промстройинпроект Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 63 с. **15.** Гениев Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г.А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с. **16.** Митрофанов В.П. Теория идеальной пластичности как элементарная механика псевдопластического предельного состояния бетона: основы, ограничения, практические аспекты, совершенствование / В.П. Митрофанов // Коммунальное хозяйство городов: научн.-техн. сб. – К.: Техника. – Вып. 72. – 2006. – С. 6 – 26. **17.** Довженко О.О. До питання визначення межі реалізації зсувної форми руйнування бетонних елементів / О.О. Довженко, В.В. Погрібний // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Вип. № 47. – Ч.1. – Одеса: 2012. – С. 406 – 417. **18.** Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Держкомітет будівництва, архітектури та Держнаглядохоронпраці України. – К., 1997. – 145 с. **19.** ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ / Мінрегіонбуд України. – К., 2009. – 30 с. **20.** ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – К., 2006. – 60 с. **21.** ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. – М., Издательство стандартов, 1988. **22.** СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. – М., 1988. – 36 с.