

А.М. Павліков, д.т.н., професор, О.В. Гарькава, к.т.н., старший викладач

А.В. Горбун, А.В. Баляба, П.А. Детюченко, студенти

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ КОСОМУ ЗГИНІ ЗА ДБН В.2.6-98:2009

Розглядається інженерний метод розрахунку міцності косозігнутих залізобетонних елементів прямокутного профілю з одиночним армуванням при трикутній формі стиснутої зони бетону за ДБН В.2.6-98:2009.

Ключові слова: залізобетон, косий згин, міцність, розрахунок.

Вступ. Чинними нормами із проектування залізобетонних конструкцій [1, 2] регламентується впровадження нелінійної деформаційної моделі розрахунку, що передбачає використання апроксимацій діаграм стану бетону й арматури. При цьому для випадків плоского згинання в нормативному документі [2] розроблені рівняння та алгоритм розрахунку міцності залізобетонних елементів. Використання запропонованої моделі в розрахунках міцності складнодеформованих елементів, зокрема елементів, котрі працюють в умовах косоного згину, значно ускладнене, тому в нормах [1, 2] викладено лише загальні передумови розрахунку. Зважаючи на широке розповсюдження таких елементів, існує потреба в розробленні методу розрахунку міцності косозігнутих залізобетонних елементів у нормальному перерізі на основі положень чинних норм [1, 2].

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Розробленню методу розрахунку міцності косозігнутих залізобетонних елементів на основі нелінійної деформаційної моделі присвячено роботи [3 – 8] та ін. Зокрема в роботі [3] вирішено задачі визначення міцності та підбору кількості арматури для таких елементів на основі екстремального критерію міцності [9] у замкнутому вигляді. У роботах [6 – 8] вирішуються окремі питання з розрахунку залізобетонних елементів, котрі зазнають косоного згинання, на основі деформаційного критерію міцності.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Існує необхідність у розробленні методу розрахунку міцності косозігнутих елементів, що враховує повною мірою всі положення чинних нормативних документів та є достатньо зручним у практичному використанні.

Постановка завдання. Завданням є розроблення інженерного методу розрахунку міцності косозігнутих елементів прямокутного профілю в нормальному перерізі при трикутній формі стиснутої зони бетону на основі діючих нормативних документів [1, 2].

Основний матеріал і результати. При розрахунку міцності, тобто при визначенні зусиль й деформацій у нормальному перерізі косозігнутого залізобетонного елемента прийняті передумови за нормами [1, 2]. При цьому залежності між напруженнями та деформаціями в стиснутому бетоні й розтягнутій арматурі приймаються у вигляді дволінійних діаграм за нормативним документом [1], горизонтальні гілки яких обмежуються значеннями деформацій $\varepsilon_{cu3,cd}$ та ε_{ud} відповідно.

За критерій вичерпання несучої здатності приймається руйнування стиснутого бетону при досягненні фібровими деформаціями граничних значень $\varepsilon_{cu3,cd}$ або розрив усіх розтягнутих стержнів унаслідок досягнення в них граничних значень деформацій ε_{ud} .

Розглядається нормальний переріз косозігнутого залізобетонного елемента з трикутною формою стиснутої зони бетону. На основі прийнятої розрахункової схеми (рис. 1) з урахуванням передумов розрахунку система рівнянь рівноваги матиме вигляд

$$\sum Z = 0: N_s - N_c = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_Y = 0: N_s (d - X + y_{N_c}) - M_{Ed,Y} = 0, \quad (2)$$

де N_s , N_c – рівнодійні зусиль відповідно в стиснутому бетоні та розтягнутій арматурі;

d , X , y_{N_c} – відповідно робоча висота перерізу, висота стиснутої зони та відстань від нейтральної лінії до точки прикладання зусилля N_c .

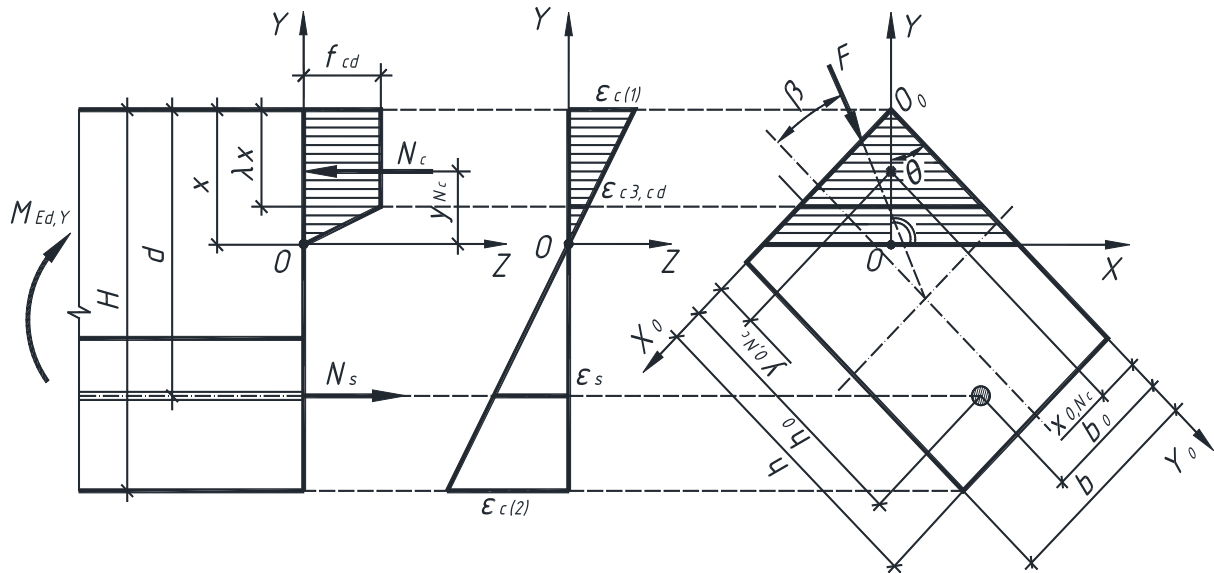


Рисунок 1 – Розрахункова схема нормального перерізу в розрахунках міцності косозігнутих залізобетонних елементів при трикутній формі стиснутої зони

Згідно з нормами [2] при використанні дволінійних діаграм стану бетону й арматури можуть реалізовуватися дві форми рівноваги нормального перерізу прямокутного профілю, а саме: перша форма – коли весь переріз стиснутий, друга форма – коли частина перерізу стиснута, а частина розтягнута.

Для елементів, що працюють на косе згинання, можлива реалізація тільки другої форми рівноваги перерізу при $X < H$ (рис. 1). Для другої форми рівноваги перерізу розглядають два випадки розрахунку [2]. Тому визначення складових рівнянь рівноваги запропоновано виконувати окремо для кожного випадку.

Для першого випадку розрахунку при $\epsilon_{c3,cd} < \epsilon_{c(1)} \leq \epsilon_{cu3,cd}$ з рівнянь рівноваги (1) – (2) отримані формули для визначення висоти X стиснутої зони бетону та граничного значення моменту $M_{Ed,Y}$ в площині координатної осі Y :

$$\frac{f_{cd} X^2 \omega_1}{\sin 2\theta} = f_{yd} A_s; \quad (3)$$

$$M_{Ed,Y} = f_{yd} A_s \left(d - X \left(1 - \frac{\varphi_1}{\omega_1} \right) \right), \quad (4)$$

де

$$d = b_0 \sin \theta + h_0 \cos \theta; \quad (5)$$

θ – кут нахилу нейтральної лінії до горизонтальної осі симетрії перерізу;

ω_1, φ_1 – відповідно функції повноти епюри напружень у бетоні стиснутої зони та відносного значення координати точки прикладання зусилля N_c для випадку трикутної форми стиснутої зони:

$$\omega_1 = \frac{1 + \lambda + \lambda^2}{3}; \quad (6)$$

$$\varphi_1 = \frac{1 + \lambda + \lambda^2 - \lambda^3}{6}; \quad (7)$$

λ – рівень пластичності бетону

$$\lambda = 1 - \frac{\varepsilon_{c3,cd}}{\varepsilon_{c(1)}}. \quad (8)$$

Використання формул (3) та (4) для розрахунку при $\varepsilon_{c(1)} = \varepsilon_{cu3,cd}$ можливе лише за умови, що розтягнута арматура досягає границі текучості, тобто

$$\varepsilon_{s0} \leq \varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{c(1)}(d - X)}{X} \leq \varepsilon_{ud}. \quad (9)$$

Для переармованих елементів у момент руйнування деформації $\varepsilon_s \leq \varepsilon_{s0}$. У такому випадку при дискретному розташуванні робочих арматурних стержнів необхідно розглядати роботу кожного i -го стержня окремо, при цьому значення рівнодійної зусиль в арматурі визначатиметься за залежністю

$$N_s = \sum_{i=1}^n E_{si} \varepsilon_{si} A_{si}. \quad (10)$$

З урахуванням залежності (10) із загальних рівнянь (1) – (2) отримані такі розрахункові залежності:

$$\frac{R_b X^3 \omega_1}{\varepsilon_{c(1)} \sin 2\theta} = \sum_{i=1}^n E_{si} A_{si} (d_i - X); \quad (11)$$

$$M_{Ed,Y} = \varepsilon_{c(1)} \sum_{i=1}^n E_{si} A_{si} \left(\frac{d_i}{X} - 1 \right) \left(d_i - X \left(1 - \frac{\varphi_1}{\omega_1} \right) \right). \quad (12)$$

За умов другого випадку розрахунку при $0 \leq \varepsilon_{c(1)} \leq \varepsilon_{c3,cd}$ форма епюри в стиснутій зоні бетону матиме форму трикутника. Для такого випадку розрахунку із загальних рівнянь рівноваги (1) – (2) одержані формули для визначення висоти X стиснутої зони бетону та граничного значення моменту $M_{Ed,Y}$ в площині координатної осі Y :

$$\frac{E_{cd} \varepsilon_s X^3}{3 \sin 2\theta (d - X)} = f_{yd} A_s; \quad (13)$$

$$M_{Ed,Y} = f_{yd} A_s \left(d - \frac{X}{2} \right). \quad (14)$$

Використання формул (13) і (14) для розрахунку при $\varepsilon_s = \varepsilon_{ud}$ можливе лише за умови, що деформації в найбільш стиснутій фібрі бетону задовольняють умову

$$0 \leq \varepsilon_{c(1)} = \frac{\varepsilon_s X}{d - X} \leq \varepsilon_{c3,cd} \quad (15)$$

Як показує аналіз виразів (3), (4), (10), (11), (12), (13), для визначення невідомих $M_{Ed,Y}$, X та θ при кожному випадку розрахунку необхідно мати ще одну додаткову залежність, котра повинна давати змогу обчислювати кут θ як функцію кута β нахилу зовнішньої силової площини до вертикальної осі симетрії перерізу.

Для одержання залежності $\theta = f(\beta)$, за допомогою якої можна обчислити кут θ нахилу нейтральної лінії, застосована умова про паралельність площин дії внутрішнього й зовнішнього моментів. У результаті виведено формулу, що дозволяє обчислювати кут θ залежно від впливу стану бетону на положення рівнодійної напружень у стиснутій зоні бетону при $\varepsilon_{c(1)} = \varepsilon_{cu3,cd}$ та $\varepsilon_{s0} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{ud}$,

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\left(\sqrt{a^2 + 8\psi_1^2 A_c \operatorname{tg} \beta} - a \right)^2}{8\psi_1^2 A_c \operatorname{tg}^2 \beta}, \quad (16)$$

де a – відстань від найбільш стиснутого ребра до точки перетину верхньої грані перерізу балки силовою площиною моменту від дії внутрішніх сил,

$$a = b_0 - h_0 \operatorname{tg} \beta; \quad (17)$$

$$\psi_1 = \frac{(\omega_1 - \varphi_1)}{2\omega_1 \sqrt{\omega_1}}; \quad (18)$$

$$A_c = \frac{f_{yd} A_s}{f_{cd}}. \quad (19)$$

У вищезазначеній формулі враховується вплив пластичних деформацій бетону на кут нахилу нейтральної лінії при повному вичерпанні міцності бетону й арматури (перший випадок розрахунку). Для виконання обчислень за інших умов (при переармуванні або недостатньому армуванні), застосовуючи формулу (16), слід використовувати фактичні значення напружень та деформацій бетону й арматури.

Висновки. Запропонований у статті метод розрахунку міцності косозігнутих елементів у нормальному перерізі повною мірою відповідає вимогам діючих нормативних документів [1, 2] та дозволяє виконувати практичні обчислення, враховуючи міцнісні й деформативні властивості бетону та арматури.

Література

1. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. ДБН В.2.6 – 98:2009 / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

2. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. ДСТУ Б В.2.6 – 156:2010 / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.

3. Павліков, А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косо завантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії: монографія / А.М. Павліков. – Полтава, 2007. – 320 с.

4. Павліков, А.М. Застосування властивостей закритичного стану бетону в розрахунках кількості арматури балкових косозігнутих елементів / А.М. Павліков //

Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2007. – Вип. 15. – С. 211–216.

5. Дяченко, С.В. *Розрахунок міцності косозігнутих залізобетонних елементів з урахуванням повної діаграми фізичного стану бетону: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. / С.В. Дяченко. – Полтава, 2006. – 186с.*

6. Бойко, О.В. *Оцінка міцності навскісно зігнутих балок на основі дволінійних діаграм деформування бетону та арматури: дис.на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.32.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / О.В. Бойко. – Полтава, 2010. – 232 с.*

7. Павліков, А.М. *Визначення кута нахилу нейтральної лінії в перерізах косозігнутих залізобетонних елементів з урахуванням нелінійних властивостей бетону на основі діаграми його стану / А.М. Павліков, О.В. Бойко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Вип. 21. – С. 264 – 269.*

8. Павліков, А.М. *Розмежування форм стиснутої зони бетону в перерізі косозігнутих балок таврового профілю / А.М. Павліков, О.В. Бойко, М.О. Харченко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2012. – Випуск № 47, частина 1. – С. 255 – 260.*

9. Митрофанов, В.П. *Екстремальний критерій міцності залізобетонних елементів у деформаційній моделі / В.П. Митрофанов, А.М. Павліков // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2005. – Вип. 62.– Т.1. – С. 205 – 213.*

Надійшла до редакції 16.11.12

© А.М. Павліков, О.В. Гарькава, А.В. Горбун, А.В. Баляба, П.А. Детюченко

А.Н. Павликов, д.т.н., професор, О.В. Гарькавая, к.т.н., старший преподаватель

А.В. Горбун, А.В. Баляба, П.А. Детюченко, студенты

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ КОСОМ ИЗГИБЕ ПО ДБН В.2.6-98:2009

Рассматривается инженерный метод расчёта прочности косоизгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля с одиночным армированием при треугольной форме сжатой зоны бетона по ДБН В.2.6-98:2009.

Ключевые слова: железобетон, косой изгиб, прочность, расчет.

A.M. Pavlikov, Doctor of Technical Sciences, professor,

O.V. Garkava, Ph.D., Senior Lecturer,

A.V. Gorbun, A.V. Balyaba, P.A. Detyuchenko, students

Poltava National Technical University named after Yuriy Kondratiuk

STRENGTH CALCULATION REINFORCED CONCRETE ELEMENTS UNDER BIAXIAL BENDING ACCORDING TO ДБН В.2.6-98:2009

The engineering method for strength calculation of biaxial bended reinforced concrete elements of a rectangular profile with single reinforcement is considered for the triangular form of the compressed zone of concrete according to ДБН В.2.6-98:2009.

Keywords: reinforced concrete, biaxial bending, strength, calculation.