

УТОЧНЕНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ПРОСТОРОВИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗВИЧАЙНО АРМОВАНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЯМОКУТНОГО ПРОФІЛЮ З ОДИНОЧНИМ АРМУВАННЯМ ПРИ ЗГІНІ З КРУЧЕННЯМ НА ОСНОВІ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

Клюка О.М., Жорняк М.С.

Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського
м. Кременчук, Україна

АНОТАЦІЯ: Виходячи з аналізу власних досліджень запропоновано уточнену методику визначення міцності просторових перерізів звичайно армованих залізобетонних елементів прямокутного профілю з одиночним армуванням при згині з крученням на основі деформаційної моделі.

АННОТАЦИЯ: Исходя из анализа собственных исследований предложена уточнения методика определения прочности пространственных сечений обычно армированных железобетонных элементов прямоугольного профиля с одиночным армированием при изгибе с кручением на основе деформационной модели.

ABSTRACT: Based on the analysis of research refined method of determining the strength of the spatial sections of reinforced concrete elements usually rectangular profile with a single reinforcement bending with torsion based deformation model is proposed.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Згин з крученням, прямокутний профіль, просторовий переріз, одиночне армування, деформаційна модель.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Перші експериментально-теоретичні дослідження [1, 2], виконані в кінці п'ятдесятих – на початку шестидесятих років минулого століття радянськими вченими в науково-дослідному інституті бетону і

залізобетону (НИИЖБ) під керівництвом проф. О.О. Гвоздева залізобетонних елементів, що працюють в умовах сумісної дії згинаючого та крутного моментів, дозволили, в першому наближенні, встановити схему їх руйнування та запропонувати розрахункові формули для визначення несучої здатності, які були внесені в чинний на той час нормативний документ [3], який, після певних коригувань [4], залишався чинним в Україні до середини 2011 року. При цьому вважалося, що нейтральна вісь розташовується біля стиснутої від згину грані по лінії, що з'єднує кінці похилої тріщини руйнування на протилежних гранях поперечного перерізу. В розрахункових формулах враховувалась поздовжня робоча арматура та три гілки поперечної арматури, перетнуті тією ж тріщиною.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виконані в подальшому експериментально-теоретичні дослідження [5, 6] в Полтавському інженерно-будівельному інституті під керівництвом проф. Торяника М. С. і доц. Фалєєва Л.В. звичайно армованих та попередньо напружених залізобетонних елементів різних форм поперечного перерізу при більш складному (косий згин з крученням) напруженому стані дозволи уточнити схему розташування стиснутої зони бетону: вона розташовується не по лінії, що з'єднує кінці похилої тріщини руйнування на протилежних гранях перерізу (пряма залежність від розмірів поперечного перерізу), а під певним кутом α до поздовжньої вісі елемента, величина якого залежить тільки від співвідношення діючих крутного та згинаючого моментів $\psi = T: M_d$ і визначається за залежністю [5, 6]

$$\alpha = \arctg(1+1/5 \psi). \quad (1)$$

Що стосується величини напружень у верхній горизонтальній гілці поперечної арматури, то, як показали експериментальні дані, в момент руйнування вони не досягали межі плинності, але були близькі до неї. Тому ця гілка поперечної арматури в розрахункові формули не включалася (відносилася до запасу міцності).

Мета роботи - розробка методики визначення несучої здатності просторових перерізів при згині з крученням з урахуванням усіх чотирьох гілок поперечної арматури.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботах [7, 8] запропоновано основні передумови і методику розрахунку міцності просторових перерізів звичайно армованих залізобетонних елементів прямокутного профілю з одиночним армуванням, що зазнають згину з крученням, на основі деформаційної моделі. При цьому розташування стиснутої зони бетону визначається залежністю (1) і вразо-

ується як поздовжня арматура, так і три гілки поперечної арматури, пересіченої похилою тріщиною руйнування.

Слід зазначити, що в згинальних елементах, при наявності крутних моментів, обов'язково необхідно влаштовувати закриті хомути для створення внутрішнього крутного моменту для сприйняття розтягуючих напружень від крутного моменту, викликаного зовнішнім навантаженням. Внутрішній крутний момент повинен складатися із двох пар зусиль в стрижнях як вертикальних, так і горизонтальних гілок поперечної арматури, симетрично розташованих відносно центру кручення, який у прямокутному перерізі співпадає з його геометричним центром. Виходячи з цих міркувань, метою даної роботи є корекція розрахункових формул, запропонованих в роботі [8] для визначення несучої здатності просторових

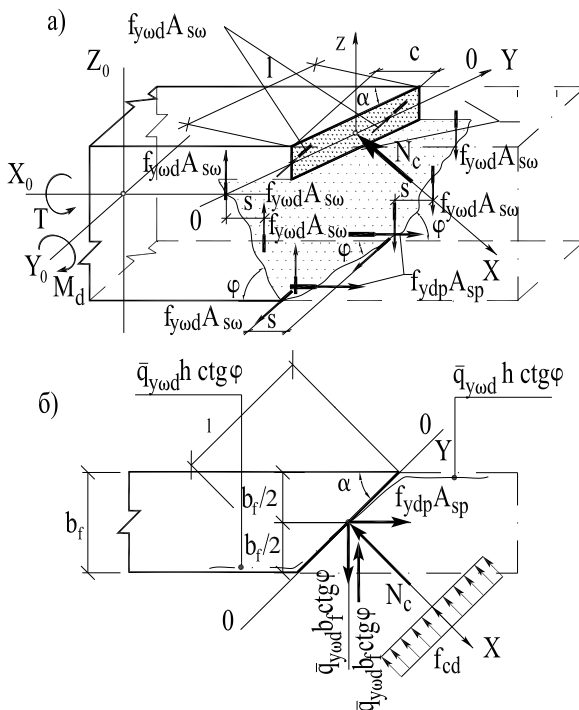


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення несучої здатності залізобетонного елемента прямокутного профілю з одиночною арматурою при згині з крученням на основі деформаційної моделі:

- а – аксонометричний вигляд розрахункової схеми;
- б – горизонтальна проекція залізобетонного елемента

перерізів звичайно армованих залізобетонних елементів прямокутного профілю з одиночним армуванням, що зазнають згину з крученням, на основі деформаційної моделі. Ця методика розрахунку базується на розрахунковій схемі (рис. 1, 2), в якій криволінійна епюра напружень в стиснутому бетоні висотою x_f замінюється прямокутною епюрою з умовною висотою $x \leq x_f \leq x_{fR}$, де x_{fR} – гранична висота стиснутої частини перерізу, і рівномірно розподіленим напруженням в бетоні f_{cd} .

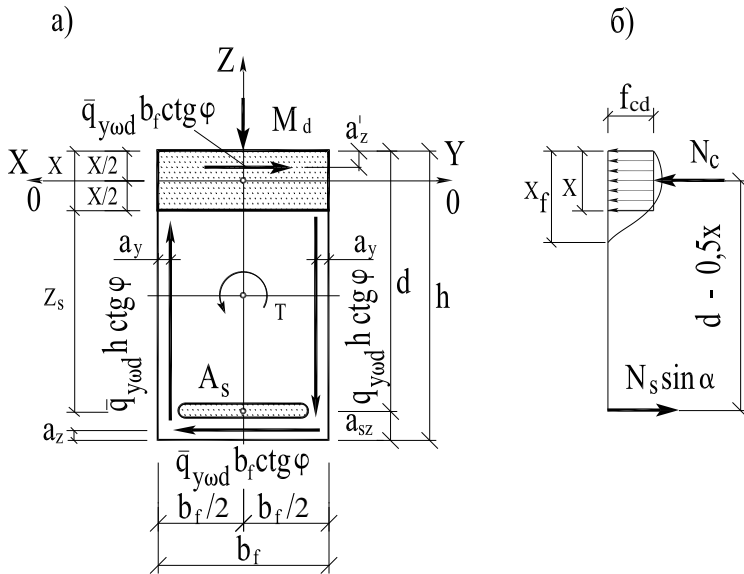


Рис. 2. До розрахункової схеми для визначення несучої здатності залізобетонного елемента прямокутного профілю з одиночною арматурою при згині з крученням на основі деформаційної моделі:

- а – поперечний переріз залізобетонного елемента;
б – епюра внутрішніх зусиль в поперечному перерізі

Рівнодіючу в стиснутому бетоні при прямокутній епюрі напружень пропонується визначати за скоригованою для згину з крученням формулою (28) [9]

$$N_{cd} = f_{cd} b_f / \sin \alpha d \zeta_R, \quad (2)$$

де ζ_R – відносна гранична висота вкороченої стиснутої зони x , що обчислюється за формулою (29) [9]

$$\zeta_R = \zeta_{fR} \{ L_1 / \varepsilon_{cu} + [D_0 + D_1 \varepsilon'_{cu} / 2 + D_2 (\varepsilon'_{cu})^2 / 3] - L_2 / \varepsilon'_{cu} \} / f_{cd}. \quad (3)$$

В цій формулі ζ_{fR} – відносна гранична висота стиснутого перерізу, визначається за формулою (4.12) [10]

$$\zeta_{fR} = \varepsilon'_{cu} / (\varepsilon_{su} + \varepsilon'_{cu}), \quad (4)$$

де ε'_{cu} – гранична крайова деформація бетону, яка визначається в процесі ітераційного пошуку як значення, при якому згинаючий момент M_{dR} , що сприймається стиснутим бетоном, досягає максимуму;

$\varepsilon_{su} = f_{yd} / E_s$ – гранична відносна деформація розтягнутої арматури.

Значення L_i обчислюються за формулами (3.6) і (3.7) [10]:

$$L_1 = C_1 \varepsilon_{bR}^2 / 2 + C_2 \varepsilon_{bR}^3 / 3 + C_3 \varepsilon_{bR}^4 / 4; \quad (5)$$

$$L_2 = D_0 \varepsilon_{bR} + D_1 \varepsilon_{bR}^2 / 2 + D_2 \varepsilon_{bR}^3 / 3. \quad (6)$$

Зазначені в цих залежностях сплайн-функції C_i знаходяться відповідно залежностям (1.9) – (1.11) [10]:

$$C_1 = E_{cm}; \quad (7)$$

$$C_2 = (3 f_{cd} - 2 E_{cm} \varepsilon_{bR}) / \varepsilon_{bR}^2; \quad (8)$$

$$C_3 = (E_{cm} \varepsilon_{bR} - 2 f_{cd}) / \varepsilon_{bR}^3. \quad (9)$$

Параметри D_i визначаються за формулами (1.12) – (1.14) [10]:

$$D_0 = f_{cd} [\alpha_R \varepsilon_{bR}^2 - 2 \varepsilon_{bR} \varepsilon'_{cu} + (\varepsilon'_{cu})^2] / (\varepsilon_{bR} - \varepsilon_{cu})^2; \quad (10)$$

$$D_1 = 2 f_{cd} (1 - \alpha_R) \varepsilon_{bR} / (\varepsilon_{bR} - \varepsilon_{cu})^2; \quad (11)$$

$$D_2 = f_{cd} (\alpha_R - 1) / (\varepsilon_{bR} - \varepsilon_{cu})^2. \quad (12)$$

Використаний у цих формулах параметр α_R визначається за співвідношенням (12) [9]

$$\alpha_R = f_{cd} / f_{cdu}, \quad (13)$$

де f_{cdu} – залишкова міцність бетону, що визначається, згідно з рекомендаціями [11], за формулою

$$f_{cdu} = (k n - n^2) f_{cd} / [1 + (k - 2) n]. \quad (14)$$

Наведені в цій формулі параметри n і k визначаються за формулами (14) і (15) [9]

$$n = \varepsilon'_{cu} / \varepsilon_{bR}; \quad (15)$$

$$k = E_{cm} \varepsilon_{bR} / f_{cd}. \quad (16)$$

В цих залежностях ε_{bR} – критична деформація бетону на вершині повної діаграми деформування, визначається за запропонованою авторами цієї роботи експериментальною залежністю

$$\varepsilon_{bR} = 0,00074 f_{cd}^{0,31}. \quad (17)$$

Для визначення місця розташування нейтральної вісі використовують умову $\sum X = 0$, де $\sum X$ – сума проекцій усіх зусиль на вісь, що проходить через центр ваги стиснутої зони бетону нормально її площині. Ця умова для даного розрахункового випадку в розгорнутому вигляді записується таким чином:

$$f_{yd} A_s \sin \alpha - f_{cd} b_f x / \sin \alpha = 0, \quad (18)$$

і висоту стиснутої від згину зони бетону визначають за наступною формулою

$$x = N_s \sin^2 \alpha / f_{cd} b_f, \quad (19)$$

в якій

$$N_s = f_{yd} A_s. \quad (20)$$

Після цього визначають відносну висоту стиснутої зони бетону

$$\xi = x / d \leq \xi_R, \quad (21)$$

де ξ_R – гранична відносна висота стиснутої зони бетону, визначається за табл. 1 [9].

Якщо умова (21) виконується, то за розгорнутою формою умови граничної рівноваги $\sum M_{o-o} = 0$, де $\sum M_{o-o}$ – сума моментів зовнішніх і внутрішніх зусиль відносно вісі $O - O$, що проходить через точку прикладення рівнодіючої стискуючих зусиль у бетоні паралельно нейтральній вісі, що лежить у площині стиснутої зони бетону, яка має наступний вигляд

$$M_d \sin \alpha + T \cos \alpha = f_{yd} A_s \sin \alpha (d - 0,5x) + \bar{q}_{ywd} b_f \operatorname{ctg} \varphi \cos \alpha (h - a_z - a'_z) - \bar{q}_{ywd} h^2 \operatorname{ctg} \varphi \sin \alpha, \quad (22)$$

визначають несучу здатність просторового перерізу елемента за формулою

$$M_d = [M_s + M_{sob} \operatorname{ctg} \alpha - M_{soh}] / (1 + \psi \operatorname{ctg} \alpha), \quad (23)$$

в якій:

$$M_s = N_s (d - 0,5x), \quad (24)$$

$$M_{sob} = N_{sob} x_{sob}, \quad (25)$$

$$N_{sob} = \bar{q}_{ywd} b_f \operatorname{ctg} \varphi, \quad (26)$$

$$\bar{q}_{ywd} = f_{ywd} A_{sw} / s, \quad (27)$$

$$x_{sob} = h - a_z - a'_z, \quad (28)$$

$$M_{soh} = N_{soh} b_{soh}, \quad (29)$$

$$N_{soh} = \bar{q}_{ywd} h \operatorname{ctg} \varphi, \quad (30)$$

$$b_{soh} = h \sin \alpha. \quad (31)$$

В цих формулах співвідношення крутного і згинаючого моментів визначається, як було зазначено на початку цієї роботи, за залежністю

$$\psi = T : M_d, \quad (32)$$

а кут нахилу похилих тріщин руйнування до поздовжньої вісі елемента φ при сумісній дії крутного T та згинального M_d моментів, за експериментальними даними авторів цієї роботи, складає близько 45° .

Якщо умова (32) не виконується, то приймають $\xi = \xi_R$ і розрахунок повторюють за вище наведеною методикою.

ВИСНОВОК

Розроблена методика дозволяє виконувати розрахунок міцності просторових перерізів звичайно армованих залізобетонних елементів прямокутного профілю з одиночним армуванням з урахуванням як поздовжньої, так і всієї поперечної арматури при сумісній дії крутного та згинаючого моментів на основі деформаційної моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чиненков Ю.В. Исследование работы железобетонных элементов прямоугольного сечения, работающих на изгиб с кручением / Чиненков Ю.В. // Исследование прочности железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1959. – Вып. 5.
2. Лессиг Н.Н. Определение несущей способности железобетонных элементов прямоугольного сечения, работающих на изгиб с кручением / Лессиг Н.Н. // Исследование прочности железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1959. – Вып. 5.
3. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-B.1-62. – М., 1962.
4. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01-84*. – М., 1986. – 79 с.
5. Кузьменко А.М. Экспериментально-теоретические исследования несущей способности предварительно напряженных железобетонных элементов прямоугольного сечения при косом изгибе с кручением: дис. ... канд. техн. наук. – Полтава, 1972. – 230 с.
6. Жорняк Н. С. Экспериментально-теоретические исследования несущей способности предварительно напряженных железобетонных элементов таврового и двутаврового поперечных сечений на косой изгиб с кручением: дис. ... канд. техн. наук. – Полтава, 1973. – 170 с.
7. Жорняк М.С. Основні передумови розрахунку міцності нормальних перерізів залізобетонних конструкцій прямокутного поперечного перерізу, що зазнають згину з крученням, на основі нелінійної деформаційної моделі / Жорняк М.С., Клюка О.М. // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. - Рівне, 2007. – Вип. 15. – С. 161 – 167.
8. Жорняк М.С. Розрахунок несучої здатності залізобетонних елементів при згині з крученням / Жорняк М.С., Клюка О.М., Роговий С.І. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 336 – 343.
9. Роговий С.І. Посібник із розрахунку міцності нормальних перерізів елементів залізобетонних конструкцій на основі деформаційної розрахункової моделі / Роговий С.І. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 42 с.
10. Роговой С.И. Нелинейное деформирование в теории железобетона и расчет прочности нормальных сечений / Роговой С.И. – Полтава: ПолтНТУ, 2002. – 183 с.
11. СЕВ – FIP MODEL CODE 1990. DESIGN CODE.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2013 р.