

С.М. Микитенко, к.т.н., доц.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОПТИМІЗАЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ СКЛАДНОМУ НАПРУЖЕНОМУ СТАНІ

Наведені результати теоретичних досліджень і лабораторних випробувань міцності балок непереармованих поздовжньою та поперечною арматурами з обривами частини поздовжньої арматури при спільній дії згинального моменту та моменту крутіння.

Ключові слова: оптимізація, момент крутіння, обрив арматури.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Актуальним напрямом вдосконалення сучасних будівельних конструкцій є застосування методів розрахунку, котрі враховують складні силові впливи. Значна кількість стержньових залізобетонних конструкцій зазнають одночасної дії поперечних V_{Ed} сил, згинальних моментів M_d і моментів крутіння T . Розрахунок міцності елементів таких конструкцій за існуючими нормами [1] виконується окремо на дію названих силових факторів.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Розрізнений розрахунок приводить до переармування небезпечних перерізів поздовжньою та поперечною арматурами. Більш економічними за витратою арматурної сталі є елементи непереармовані поздовжньою і поперечною арматурами, котрі проектується з обривами поздовжніх робочих стержнів. На сьогодні розроблено метод розрахунку міцності таких конструкцій [2] при одночасній дії зусиль V_{Ed} і M_d . У роботах [3, 4] наведені сучасні методи розрахунків міцності залізобетонних елементів при крутінні без одночасного врахування різних силових факторів.

Постановка завдання. Метою роботи є застосування оптимізаційного розрахунку міцності до стержньових залізобетонних конструкцій непереармованих поздовжньою та поперечною арматурами і при цьому враховувати одночасну дію поперечних V_{Ed} сил, згинальних моментів M_d і моментів крутіння T .

Виклад основного матеріалу дослідження. Пропонується розрахунок міцності залізобетонних елементів непереармованих поздовжньою A_S і поперечною A_{SW} арматурами, котрий дає змогу враховувати спільну дію зусиль V_{Ed} , M_d і T . У його основу покладено нижчезазначені положення та залежності.

1. Розглядаються елементи у стадії руйнування, коли досягається граничний стан поздовжньої і поперечної арматур у небезпечному просторовому перерізі (НПП) і в бетоні стиснутої зони цього перерізу.

2. Напруження у стиснутій зоні бетону розподіляються за певним законом $\sigma_b = f(\varepsilon_b)$, тому сумарне зусилля визначається залежністю

$$N_b = \int_0^x \sigma_b dz \cdot b / \sin \varphi. \quad (1)$$

3. Граничне значення поздовжньої стискаючої N_B , дотичної T_B і поперечної Q_B сил зони руйнування бетону в НПП можна визначити за відомою залежністю для бетонного зрізаного клина.

$$\sqrt{Q_B^2 + T_B^2} = A \cdot R_B \cdot b \cdot x / \sin\varphi + \alpha_N \cdot N_B, \quad (2)$$

де A та α_N – коефіцієнти, котрі враховують вид і клас бетону.

4. Унаслідок значної гнучкості поздовжньої арматури A_S , після обриву не враховується поперечна сила, котра сприймається нею, тому вона вважається центрально розтягнутою.

6. Великі пластичні деформації поздовжньої і поперечної арматур у просторовому похилому перерізі обумовлюють значне зміщення дисків балки, розділених НПП. У результаті НПП значно розкривається без значного зсуву її берегів, що приводить до зникнення зачеплення в НПП.

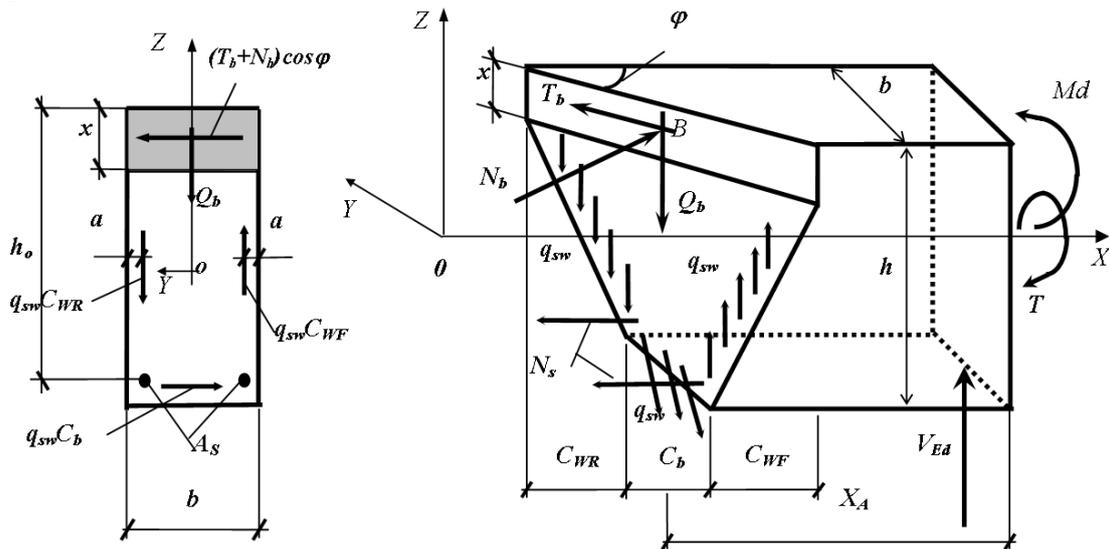


Рисунок 1 – Схема зусиль у небезпечному просторовому перерізі

7. Розглядається пропорційне навантаження залізобетонних елементів зовнішнім навантаженням. Поперечна сила V_{Ed} , згинальний момент M_d і момент від крутіння T у просторовому перерізі визначаються через параметр навантаження F за формулами

$$F = \frac{V_{Ed}}{f_c b h_0 F_Q} = \frac{M_d}{f_c b h_0^2 F_M} = \frac{T}{f_c b h_0^2 F_T}, \quad (3)$$

де F_Q , F_M і F_T – функції, котрі залежать від виду навантаження, значення C , X_A .

8. Проекція НПП C є сумою проєкцій просторового перерізу на бокові і нижню грані елемента

$$C = C_{WR} + C_{WF} + C_B, \quad (4)$$

вона визначається з умови мінімуму параметра навантаження F .

9. Розглядається залізобетонний елемент, що являє собою ділянку конструкції з постійними знаками епюр V_{Ed} , M_d і T .

При розв'язуванні задачі на перевірку міцності елемента задані величини: його довжина l , геометричні розміри поперечного розрізу по бетону h і b , розташування та кількість розтягнутої A_S та поперечної арматури A_{sw} , характеристики міцності бетону R_b , R_{bt} , поздовжньої розтягнутої арматури R_S , поперечної R_{sw} (рисунок 1).

У загальному випадку елемент у межах своєї довжини l навантажений зовнішніми навантаженнями q_i і P_i . Зусилля V_{Ed} , M_d і T на кінцях елемента та навантаження по його довжині задовольняють умови рівноваги елемента в цілому.

Руйнування відбувається по небезпечному просторовому перерізу, котрий обмежується похилими тріщинами на бокових та нижній гранях із відповідними

проекціями C_w і C_b на вісь X . Стиснута зона бетону просторового перерізу визначається висотою стиснутої зони бетону x та кутом φ , де

$$\cos\varphi = \frac{c}{\sqrt{c^2 + b^2}}; \quad \sin\varphi = \frac{b}{\sqrt{c^2 + b^2}}. \quad (5)$$

Умовна точка обриву поздовжньої арматури A елемента визначається координатою X_A , а фактична – $X_A + C_b/2$.

Для найбільш простого випадку зовнішнього навантаження, коли $q_i=0$ і $P_i=0$, рівняння рівноваги мають вигляд

$$\Sigma X=0; (N_b - T_b)\cos\varphi - N_s = 0; \quad (6)$$

$$\Sigma Y=0; (T_b + N_b)\sin\varphi - q_{sw}C_b = 0; \quad (7)$$

$$\Sigma Z=0; V_{Ed} - Q_b - (C_{WR} - C_{WF})q_{sw} = 0. \quad (8)$$

Сума згинальних моментів відносно точки B , у якій прикладені рівнодіючі зусилля у стиснутій зоні бетону,

$$\Sigma M_B = 0; N_s(h_0 - x/2) - V_{Ed} \cdot X_A - M_d = 0. \quad (9)$$

Сума моментів від крутіння відносно осі x , що проходить через центр ваги бетонного перерізу елемента,

$$\Sigma T_x = 0; T - (T_b + N_b)\sin\varphi - q_{sw}C_w(b - 2a) - q_{sw}C_b(h - a)/2 = 0. \quad (10)$$

Для перевірки міцності використовується умова мінімуму граничного параметра навантаження F за величиною C

$$\partial F / \partial (c/h_0) = 0. \quad (11)$$

Використання умови (11) можливе із кінематичної теореми методу граничної рівноваги, що дає можливість урахувати пластичний характер руйнування в НПП неперearмованого елемента.

Таким чином, задача про перевірку міцності похилого перерізу зводиться до розв'язування оптимізаційної задачі нелінійного програмування: знайти параметр навантаження (3) з умови його мінімуму (11) при дотриманні додаткових умов (2), (6) – (10).

Задача підбору необхідного перерізу арматури A_s , A_{sw} , визначення величин C , x і координати X_A також формулюється та розв'язується як оптимізаційна задача нелінійного програмування [4], для вирішення якої необхідно визначити мінімум поздовжньої та поперечної арматур. Цільова функція являє собою об'ємний коефіцієнт армування елемента поздовжньою та поперечною арматурами

$$V_s = (A_s X_A + A_{sI}(l - X_A) + A_{sw}l/S) / (l \cdot b \cdot h_0), \quad (12)$$

де A_{sI} – площа поздовжньої арматури до обриву;

S – крок поперечної арматури.

Додатковими вимогами до цільової функції (12) є рівняння (1) та (6)–(10), а також обмеження у вигляді нерівностей

$$C + X_A \leq l; \quad (13)$$

$$N_s \leq A_s R_s; \quad (14)$$

$$q_{sw} \leq A_{sw} R_{sw} / S. \quad (15)$$

Для перевірки запропонованого методу розрахунку були випробувані залізобетонні балки неперearмовані поздовжньою і поперечною арматурами перерізом 20×12 см і довжиною 150 см. Всі балки армувалися в'язаними каркасами, куди входили складені арматурні стержні (рисунок 2). Кінці коротших стержнів приварили до основного стержня дуговим зварюванням, довжина шва становила не менше $5d$. Балки армувалися поздовжньою арматурою у верхній зоні А-I $d=6$ мм і в нижній зоні А-III $d=10$ мм, поперечна арматура Вр-I $d=4$ мм з кроком $S=80$ мм.

Випробування балок було виконано в лабораторії кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного

університету імені Юрія Кондратюка. Всі випробувані балки доводилися до руйнування, котре характеризувалося пластичним характером. Значення руйнівних навантажень наведені в таблиці 1. Дослідження показали, що просторові перерізи зразків непереармовані повздовжньою і поперечною арматурами, про що свідчили показання тензорезисторів на арматурі та бетони.

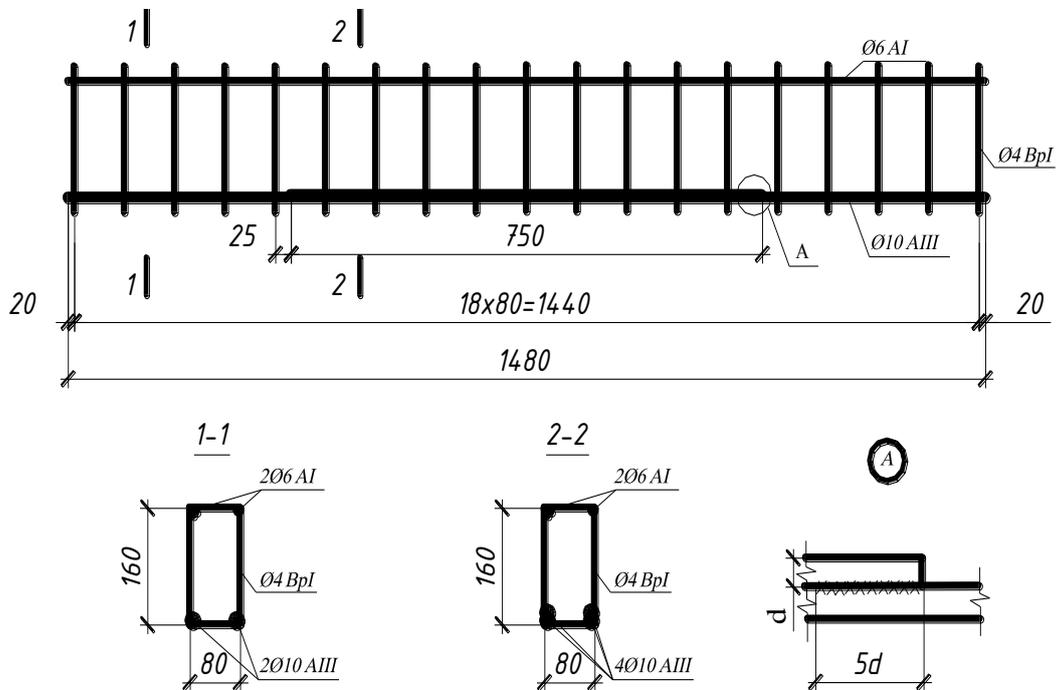


Рисунок 2 – Арматурні каркаси

Таблиця 1 – Експериментальні дані балок, які були випробувані

№ п/п	Шифр балки	Ширина b , см	Висота h , см	Руйнівне навантаження		M_d / T
				Згинальний момент M_d , кНм	Крутний момент T , кНм	
1	БК-1	12	20	7,5	2,35	3,64
2	БК-2	12	20	7,8	2,52	3,57
3	БК-3	12	20	10,4	1,68	7,14

Висновки

Запропонований оптимізаційний метод розрахунку міцності, у відповідності з яким були розраховані і запроектовані випробувані зразки, дає можливість проектування непереармованих залізобетонних елементів при спільній дії поперечних V_{Ed} сил, згинальних моментів M_d і моментів крутіння T .

Література

1. ДБН В.2.6-98:2090. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. –К.: Мінрегіонбуд України, 2011. –73 с.
2. Митрофанов, В. П. Формулы и примеры расчета прочности железобетонных элементов по оптимизационной теории / В. П. Митрофанов // Совершенствование расчета прочности элементов

бетонных, железобетонных и каменных конструкций: сб. науч. тр., посвящен. 70-летию со дня рождения В.П.Митрофанова. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – С. 149–173.

3. Яременко, О.Ф. Несуча здатність та деформативність залізобетонних стержневих елементів в складному напруженому стані / О.Ф.Яременко, Ю.О. Школа; Одеськ. держ. академія будівництва та архітектури. – Одеса: Евен, 2010. – 136 с.

4. Азизов, Т.Н. Прочность при кручении железобетонных элементов прямоугольного сечения с нормальными трещинами / Т.Н.Азизов, Н.Н. Срибняк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. Вип. 17. – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2008. – С. 100–104.

Надійшла до редакції 27.01.2012

© С.М. Микитенко

С.Н. Микитенко, к.т.н., доц.

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СЛОЖНОМ НАПРУЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Приведены результаты теоретических и опытных исследований прочности балок неперearмированных продольной и поперечной арматурой с обрывами части продольной арматуры при совместном действии изгибающего и крутящего моментов.

Ключевые слова: оптимизация, крутящий момент, обрыв арматуры

S.N. Mykytenko, Ph. D

Poltava National Technical University named after Yury Kondratyuk

OPTIMIZATION CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS STRENGTH AT COMPLICATED STRESSED STATE

The results of theoretical and test investigations of beam strength which have little contents of longitudinal and cross-sectional reinforcement are presented here, with breakage of a part longitudinal reinforcement, bending and torsion moments acting simultaneously.

Key words: optimization, torsion moment, breakage of a part reinforcement