

УДК 624.012.35:620.173

**РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ ТАВРОВИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК НА ОСНОВІ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ**

**РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ТАВРОВЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ОСНОВАНИИ
ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

**THE CALCULATION OF THE STRENGTH AND STIFFNESS OF
REINFORCED CONCRETE T-BEAMS ON THE BASIS DEFORMATION
MODEL**

Кочкаръов Д.В., к.т.н., доц. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Кочкарёв Д.В., к.т.н., доц. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Kochkarev D.V., candidate of technical sciences, associate professor (National university of water management and nature resources use, Rivne)

Приведено практичну методику розрахунку таврових залізобетонних балок за згину на основі класичного опору матеріалів.

Рассмотрена практическая методика расчёта тавровых железобетонных балок при изгибе на основании классического сопротивления материалов.

We consider the practical method of calculation of reinforced concrete T-beams in bending resistance on the basis of the classic materials.

Ключові слова:

залізобетон, згин, балка, опір.

железобетон, изгиб, балка, сопротивление.

reinforced concrete, bend, beam, resistance.

Стан питання та задачі дослідження. З масовим переходом на деформаційні моделі розрахунку залізобетонних елементів, закладені в діючих нормах проектування [1, 2], постала проблема в розробці інженерних методик. Інженерні методики адаптовані до нових норм проектування розробляються та удосконалюються багатьма відомими вченими [3, 4 та ін.]. При цьому сприйняття рішень задач міцності та жорсткості на основі

деформаційної моделі є доволі складним. В першу чергу, це полягає у звичці інженерів та проєктантів до силової моделі, в якій логічно прослідковується весь процес розрахунку. Саме тому сучасна інженерна методика повинна бути найбільш простою і зрозумілою, але при цьому враховувати всі особливості деформування залізобетонних елементів.

Мета дослідження полягає у розгляді практичної методики розрахунку таврових балок на основі деформаційної моделі.

Методика досліджень. Розрахунок залізобетонних елементів на основі деформаційної моделі з використанням розрахункових опорів залізобетону [5] зводиться до приведення основних рівнянь рівноваги з використанням гіпотези плоских перерізів, до виразу

$$M_{Ed} / W_c = f_M, \quad (1)$$

де M_{Ed} - момент від граничних; f_M - розрахунковий опір залізобетону на згин; W_c - пружний момент опору бетонного робочого перерізу, $W_c = bd^2/6$.

Розрахунковий опір залізобетону можна отримати, як за силової методики так і за деформаційної, та у випадку введення нових методик розрахунку, різниця буде полягати лише у значеннях f_M .

Розглянемо вивід формули (1) на прикладі силової моделі. Для цього запишемо рівняння рівноваги, приймаючи згинаючий момент відносно нейтральної лінії:

$$f_{yd} A_s - f_{cd} bx = 0; \quad (2)$$

$$f_{yd} A_s (d - x) + f_{cd} bx^2 / 2 = M_{Ed}. \quad (3)$$

Провівши нескладні перетворення рівнянь (2) та (3) отримаємо

$$f_{yd} \rho_f \left(1 - \frac{f_{yd}}{2f_c} \rho_f \right) = \frac{M_{Ed}}{bd^2}. \quad (4)$$

Ліву та праву частину формули (4) помножимо на 6 та отримаємо значення розрахункового опору для силової моделі

$$f_M = 6f_{yd} \rho_f \left(1 - \frac{f_{yd}}{2f_c} \rho_f \right). \quad (5)$$

Аналогічні формули отримані для деформаційних методик при різних діаграмах деформування бетону. В таблиці 1 приведені значення розрахункового опору залізобетону при описі функції деформування бетону формулою Eurocode-2. Формула (1) дозволяє виконувати цілу низку задач міцності елементів прямокутного профілю [5].

Використовуючи методику розрахункових опорів залізобетону, проведемо певні трансформації прямокутного перерізу. Умовно розкладемо

прямокутний залізобетонний елемент на два (рис.1) та знайдемо міцність кожного окремого перерізу:

$$M = f_{zM} \frac{bd^2}{6}; M_1 = f_{zM1} \frac{b_1d^2}{6}; M_2 = f_{zM2} \frac{b_2d^2}{6}. \quad (6)$$

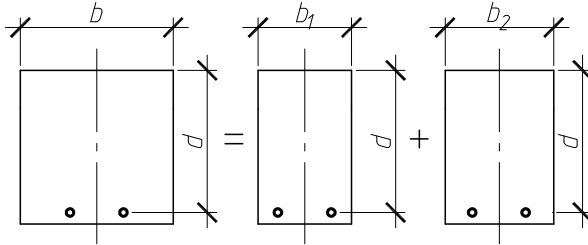


Рис.1 – Розкладання прямокутного перерізу

Тоді згідно з рис.1 отримаємо $M = M_1 + M_2$ або

$$f_{zM} \frac{bd^2}{6} = f_{zM1} \frac{b_1d^2}{6} + f_{zM2} \frac{b_2d^2}{6}. \quad (7)$$

Рівняння (7) справедливо за таких умов

$$b = b_1 + b_2; f_{zM} = f_{zM1} = f_{zM2}. \quad (8)$$

Рівність розрахункових опорів свідчить про рівність процентів армування. Таким чином впливає несуча здатність перерізу залізобетонного елемента можна знайти, знаючи несучу здатність кожної з простих фігур, на які він розбитий, за однакового проценту армування та робочої висоти перерізу.

Розглянемо трансформації перерізів із різною робочою висотою, на прикладі звисів тавра (рис.2).

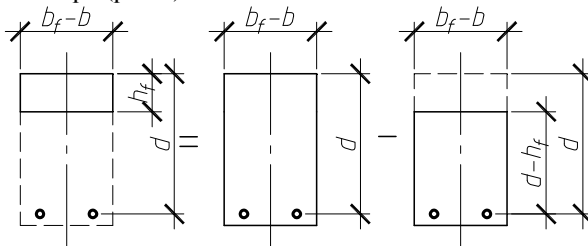


Рис.2 – Трансформація звисів тавра

Трансформацію звисів розглянемо за силової методики, прийнявши в бетоні прямокутну епюру с напругами f_{cd} , а в арматурі – f_{yd} . Запишемо несучу здатність окремо кожного перерізу показаного на рис.2:

$$M_f = f_{cd} (b_f - b) h_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right); \quad (9)$$

$$M_1 = f_{yd} \rho_{f1} \left(1 - \frac{f_{yd} \rho_{f1}}{2 f_{cd}} \right) (b_f - b) d^2; \quad (10)$$

$$M_2 = f_{yd} \rho_{f2} \left(1 - \frac{f_{yd} \rho_{f2}}{2 f_{cd}} \right) (b_f - b) (d - h_f^2) d^2. \quad (11)$$

Знайдемо $M_f = M_1 - M_2$, прийнявши такі умови

$$\rho_f = \rho_{f1} = \rho_{f2}, \quad f_{yd} \rho_f = f_{cd}. \quad (12)$$

В результаті нескладних перетворень отримаємо вираз (9). Таким чином, аналогічно попередньому, несучу здатність звисів можна визначати, як різницю несучої здатності фігур на які вони розбиваються за однакового проценту армування. Тоді несуча здатність звисів дорівнює

$$M_f = f_{zM} \frac{(b_f - b) d^2}{6} - f_{zM} \frac{(b_f - b) (d - h_f)^2}{6}. \quad (13)$$

Розглянуті перетворення дають можливість визначати міцність таврового перерізу, при проходженні нейтральної лінії в ребрі, з допомогою розрахункових опорів залізобетону отриманих для прямокутного. Так міцність таврового перерізу буде складатися з суми згинаючих моментів, які сприймаються ребром і звисами:

$$M_t = M_f + M_r. \quad (14)$$

Момент, який сприймається ребром дорівнює

$$M_r = f_{zM} \frac{bd^2}{6}. \quad (15)$$

Остаточно міцність таврового перерізу при проходженні нейтральної лінії в ребрі, можна визначати

$$M_t = f_{zM} \left(\frac{b_f d^2}{6} - \frac{(b_f - b) (d - h_f)^2}{6} \right). \quad (16)$$

або

$$M_t = f_{zM} W_t. \quad (17)$$

Розрахунок залізобетонних елементів таврового перерізу з допомогою розрахункових опорів виконується наступним чином. Кожний переріз розраховують двічі: елемент таврового профілю з моментом опору W_t та і елемент прямокутного перерізу $b_f \times d$ з моментом опору $b_f \times d^2 / 6$. З двох отриманих значень приймають при визначенні площі арматури більше значення, а при визначенні несучої здатності - менше.

Аналогічним чином, використовуючи можна визначати кривину елементів таврового перерізу, користуючись таблицями розробленими для елементів прямокутного поперечного перерізу, за виразом:

$$\sigma_{zM} = M_e / W_c \rightarrow \sum \varepsilon \rightarrow 1/r = \sum \varepsilon / d, \quad (18)$$

де σ_{zM} - напруження у залізобетоні.

При визначенні кривини на ділянках з тріщинами, враховують порушення лінійності деформацій в момент утворення тріщин, а також роботу розтягнутого бетону між тріщинами. Порушення лінійності деформацій можна врахувати однією із емпіричних формул типу $1+0,8 \times \varepsilon_{s,crc} / \varepsilon_s$, $1+0,8 \times M_{crc} / M$. Робота розтягнутого бетону між тріщинами враховується введенням до деформацій бетону та арматури коефіцієнтів ψ_c та ψ_s . Нажаль, формули діючих норм [1, 2], також перейняли цей підхід, тільки у виразі через кривину. Інший підхід полягає у відмові від поняття "середнього перерізу" та дійсному врахуванні розтягнутої зони бетону в блоці між тріщинами. Використання формул (18) із табличними значеннями відповідних параметрів, дозволяє визначати кривину за різних методик та гіпотез за єдиною методологією. Таблиці по визначенню кривини за різними методами та її розрахунок в даній статті не приводимо.

Проілюструємо наведену методику розрахунку на прикладі.

Результати досліджень. Приклад 1. Визначити площу перерізу робочої арматури в елементі таврового профілю із такими розмірами: $b_f=150$ см; $h_f=5$ см; $b=20$ см; $h=40$ см; $d=36$ см, виконаного з бетону класу C16/20 та армованого арматурою класу A400С, якщо згинальний момент в перерізі $M_{Ed}=200$ кНм.

Розв'язок.

Розрахуємо елемент прямокутного перерізу $b_f \times d$

$$W_c = \frac{b_f d^2}{6} = \frac{150 \times 36^2}{6} = 32400 \text{ см}^3.$$

За формулою (1)

$$f_{zM} = \frac{M_{Ed}}{W_c} = \frac{200 \times 10^3}{32400} = 6,173 \text{ МПа}.$$

За таблицею 1 визначаємо процент армування

$$\rho_f = 0,298\%.$$

Необхідна площа перерізу арматури

$$A_s = \rho_f b_f d = 0,298 \times 150 \times 36 / 100 = 16,092 \text{ см}^2.$$

Ті ж дії виконаємо для таврового перерізу

$$W_t = \frac{b_f d^2}{6} - \frac{(b_f - b)(d - h_f)^2}{6} = 11578,33 \text{ см}^3.$$

За формулою (17)

$$f_{zM} = \frac{M_{Ed}}{W_t} = \frac{200 \times 10^3}{11578,33} = 17,27 \text{ МПа}.$$

За таблицею 1 визначаємо процент армування

$$\rho_f = 0,915\%.$$

Необхідна площа перерізу арматури

$$A_{st} = \rho_f (bd + (b_f - b)h_f) = 12,54 \text{ см}^2.$$

З двох значень A_s і A_{st} приймаємо більше $A_s = 16,092 \text{ см}^2$. Для армування приймаємо $3\varnothing 28$, $A_s = 18,47 \text{ см}^2$.

Таблиця 1 (Фрагмент)

Розрахунковий опір залізобетону на згин f_M при одиничному армуванні, МПа

Клас бетону	Процент армування ρ_f								
	0.05	0.50	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00
	$f_{Md} = 375 \text{ МПа (A-400C)}$								
C16/20	1.11	10.30	18.70	22.19	25.20	27.38	27.90	28.71	29.29

Висновок. Запропоновані основні положення методики розрахунку залізобетонних балок таврового поперечного перерізу з урахуванням реальних діаграм деформування матеріалів. Простота та зручність запропонованої методики дає змогу рекомендувати її до практичних розрахунків.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.:Мінрегіонбуд України, 2011.– 71 с. **2.** ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мін-во регіонального розвитку та будівництва України, 2010.– 166 с. **3.** Павліков А.М. Застосування нелінійної деформаційної моделі в інженерних розрахунках міцності залізобетонних елементів / Павліков А.М., Бойко О.В. // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі і споруди: Збірник наукових статей. – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 355-363. **4.** Барашиков А.Я. Спрощені розрахунки несучої здатності нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів за деформаційною моделлю / Барашиков А.Я., Задорожнікова І.В. // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі і споруди: Збірник наукових статей. – Рівне, 2005. – Вип. 12. – С. 109-115. **5.** Кочкаръов Д.В. Теорія та практика розрахунку залізобетонних згинальних елементів за граничними станами першої та другої груп на основі загальної деформаційної моделі / Д.В. Кочкаръов, В.І. Бабич // Бетон и железобетон в Украине. - 2012.- №3.- С.7-13.