

$$k = \frac{h_{s,\min}}{h} = \frac{nqL}{2R_s \gamma_c} \frac{\lambda_\omega}{h^2} = 2n^3 \sqrt{\frac{4 q R_y^2 \lambda_\omega}{9 L R_s^3 \gamma_c}} \quad (33)$$

Із формули (33) видно, що чим менше лінійне навантаження q та гнучкість стінки λ_ω та чим більше проліт L , тим K менше. Тому, зменшення висоти балки на ділянках біля опор рекомендується за відносно малих навантажень та гнучкостях стінки та відносно великих прольотів.

Установлено, що чим менше n , тим менше K . Тому опорний вузол балки рекомендується конструювати таким чином, щоб опорне ребро не приварювалось до торця (коли $n=1.5$), а було заведене між полицями на деякій відстані від торця (коли $n=1.2$).

Література:

1. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции /Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 96 с
2. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов /Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Ведеников и др.; Под. общ. ред. Е.И. Беленя. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с., ил.
3. Муханов К.К. Металлические конструкции. Учебник для вузов. Изд. 3-е, испр. и доп. М., Стройиздат, 1978. 572 с.

УДК 624.01

НЕТРАДИЦІЙНЕ ВИРІШЕННЯ РІВНЯНЬ РІВНОВАГИ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

М.Г.ЧЕКАНОВИЧ - к.т.н., доцент, Херсонський ДАУ

У розрахунках залізобетонних елементів, де використовуються рівняння рівноваги, традиційно оперують напруженнями в перерізах [1,2]. Але самі рівняння рівноваги фактично включають вирази питомої роботи бетону. Тому логічно було б оперувати більш загальним фізичним поняттям питомої роботи в розрахунках. Розглянемо такий підхід на прикладі розрахунку нормальних перерізів залізобетонних елементів.

Як відомо, роботу деформації одиничного об'єму можна подати у вигляді:

$$dw = \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij}; \quad (1)$$

де σ_{ij} – компоненти тензора напружень, $d\varepsilon_{ij}$ – компоненти тензора деформацій.

Для складного напруженого стану роботу можна представити че-

рез такі інваріанти:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2)} \quad (2)$$

$$\varepsilon_e = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + (\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{zz})^2 + (\varepsilon_{yy} - \varepsilon_{zz})^2 + 6(\varepsilon_{xy}^2 + \varepsilon_{xz}^2 + \varepsilon_{yz}^2)} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{1}{3} (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}) \quad (4)$$

i

$$\varepsilon = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} \quad (5)$$

Тоді, після перетворень, одержимо:

$$dw = \sigma_e d\varepsilon_e + 3\sigma d\varepsilon \quad (6)$$

де перший доданок відповідає роботі зміни форми зразка, а другий – роботі зміни об'єму.

Якщо за деформації об'єм тіла не змінюється ($d\varepsilon = 0$), або цією зміною можна знехтувати, то питома робота однорідної деформація може бути розрахована за формулою:

$$w_n = \int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon_1} \sigma_e d\varepsilon_e \quad (7)$$

У разі осьового навантаження формула набуває вигляду:

$$w = \int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon_1} \sigma d\varepsilon \quad (8)$$

Інтегрування залежності “напруження – деформації” дозволяє визначити питому роботу. Якщо представити таку залежність поліномом третього степеня, де коефіцієнти можуть бути визначені через миттєвий модуль пружності [3], то одержимо вираз для напружень:

$$\sigma = \frac{\varepsilon R_b (a_1 (\varepsilon - \varepsilon_{bR})^2 + \varepsilon (3\varepsilon_{bR} - 2\varepsilon))}{\varepsilon_{bR}^3} \quad (9)$$

Після інтегрування знайдемо вираз для визначення питомої роботи:

$$w = \frac{\varepsilon^2 R_b (a_1 (3\varepsilon^2 - 8\varepsilon\varepsilon_{bR} + 6\varepsilon_{bR}^2) - 6\varepsilon(\varepsilon - 2\varepsilon_{bR}))}{12\varepsilon_{bR}^3} \quad (10)$$

Вирішення рівняння четвертого степеня дозволило знайти обернену залежність в неявному вигляді, а саме - залежність “відносні деформації – питома робота”.

$$\varepsilon = \frac{(2a_1 - 3)\varepsilon_{bR}}{3(a_1 - 2)} + \frac{1}{2} \sqrt{A - B + C - \frac{X^{1/3}}{92^{1/3}(a_1 - 2)R_b} + \frac{4(3 - 2a_1)^2 \varepsilon_{bR}^2}{9(a_1 - 2)^2} -$$

$$-\frac{1}{2} \sqrt{\frac{A - B + C + \frac{X^{1/3}}{92^{1/3}(a_1 - 2)R_b} + \frac{8(3 - 2a_1)^2 \varepsilon_{bR}^2}{9(a_1 - 2)^2} - \frac{8(54 - 54a_1 + 9a_1^2 + 2a_1^3)\varepsilon_{bR}^3}{27(a_1 - 2)^3} - \frac{X^{1/3}}{92^{1/3}(a_1 - 2)R_b} + \frac{4(3 - 2a_1)^2 \varepsilon_{bR}^2}{9(a_1 - 2)^2}}$$
(11)

де

$$A = -\frac{2a_1 \varepsilon_{bR}^2}{a_1 - 2}$$
(12)

$$B = \frac{2a_1 \varepsilon_{bR}^2}{-6 + 3a_1}$$
(13)

$$Z = \frac{42^{1/3} \varepsilon_{bR}^3 (24w - 12wa_1 + a_1^2 R_b \varepsilon_{bR})}{X^{1/3} (a_1 - 2)}$$
(14)

і

$$X = 432 \left[\frac{12w(a_1 - 3)^2 R_b^2 \varepsilon_{bR}^5 - a_1^3 R_b^3 \varepsilon_{bR}^6 + \sqrt{R_b^3 \varepsilon_{bR}^9 \left((12wa_1 - 24w - a_1^2 R_b \varepsilon_{bR})^3 + R_b \varepsilon_{bR} (72wa_1 - 108w - 12wa_1^2 + a_1^3 R_b \varepsilon_{bR})^2 \right)}}{12w(a_1 - 3)^2 R_b^2 \varepsilon_{bR}^5 - a_1^3 R_b^3 \varepsilon_{bR}^6 + \sqrt{R_b^3 \varepsilon_{bR}^9 \left((12wa_1 - 24w - a_1^2 R_b \varepsilon_{bR})^3 + R_b \varepsilon_{bR} (72wa_1 - 108w - 12wa_1^2 + a_1^3 R_b \varepsilon_{bR})^2 \right)}}} \right]$$
(15)

Розраховані за формулами (10) і (11) залежності для стиснутого бетону з $R_b=29$ МПа, $a_1= 2,263$ і $\varepsilon_{bR}=0,00185$, наведені на рис.1, свідчать про однозначність їх на всьому проміжку дійсних значень.

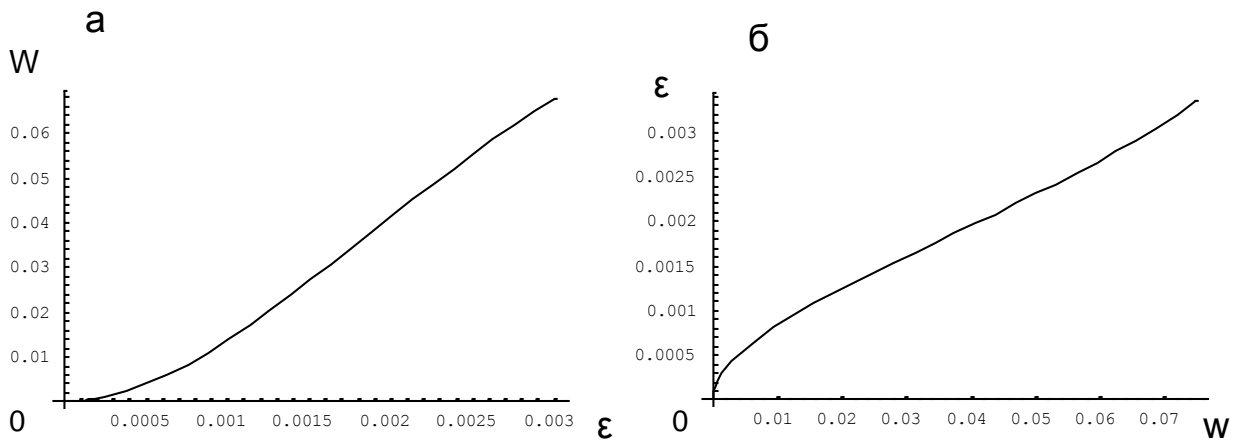


Рисунок 1. Зв'язок між питомою роботою і відносними деформаціями: а – прямий; б – неявний обернений

Розраховані граничні значення питомої роботи бетону на стиск наведені на рис. 2 [4]. Напружено – деформований стан прямокутного нормального перерізу залізобетонного елемента може бути визначений з рівнянь рівноваги за формулами:

$$N = \rho b(w - w_{bt}) + \sum_i \sigma_{si} A_{si} \quad (16)$$

$$M = \rho^2 b \left(w \varepsilon - \int w d\varepsilon + w_{bt} \varepsilon_{bt} - \int w_{bt} d\varepsilon \right) + \sum h_{si} \sigma_{si} A_{si} \quad (17)$$

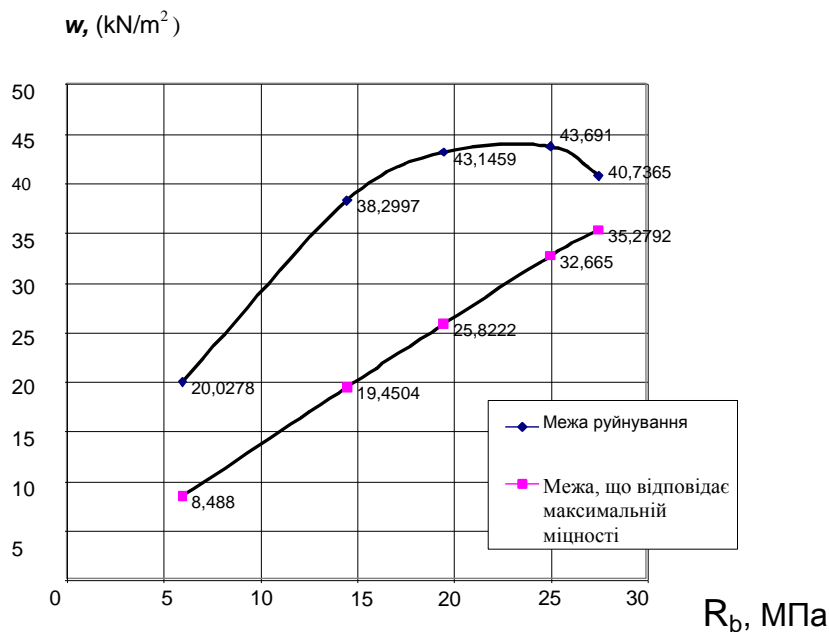


Рисунок 2. Граничні залежності питомої роботи бетону

де інтеграл питомої роботи в формулі має таке вирішення:

$$\int_{\varepsilon} w d \varepsilon = \frac{\varepsilon^3 R_b (35 \varepsilon^2 (a_1 - 2) + 45 \varepsilon (2a_1 - 3) \varepsilon_{bR} + 63 a_1 \varepsilon_{bR}^2)}{315 \varepsilon_{bR}^3} \quad (18)$$

або після перетворень формули (17) одержимо:

$$M = \rho^2 b \left(\int_{\varepsilon} \varepsilon dw + \int_{\varepsilon_{bt}} \varepsilon dw_{bt} \right) + \sum h_{si} \sigma_{si} A_{si} \quad (19)$$

де інтегральна частина знаходиться за виразом:

$$\int_{\varepsilon} \varepsilon dw = \frac{\varepsilon^3 R_b (10 \varepsilon (72 \varepsilon_{bR} - 35 \varepsilon) + a_1 (175 \varepsilon^2 - 480 \varepsilon \varepsilon_{bR} + 378 \varepsilon_{bR}^2))}{1260 \varepsilon_{bR}^3} \quad (20)$$

Граничні значення інтегрального виразу (20) для поширених класів бетонів наведені на рис.3. Залежність для межі міцності близька до лінійної.

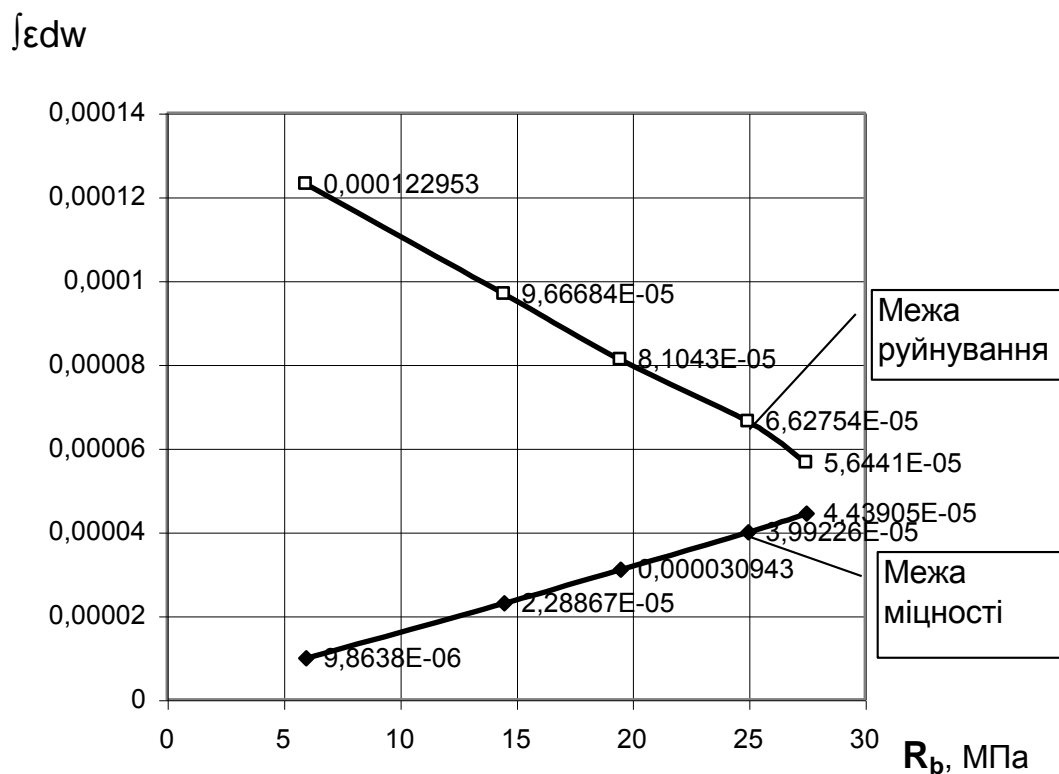


Рисунок 3. Граничні залежності інтегралу деформацій за питомою роботою бетону

Аналогічно можуть бути розраховані компоненти рівнянь рівноваги, що враховують опір бетону розтягу. У разі достатньої міцності арматурної сталі, коли руйнування починається зі стиснутого в перерізі бетону, можна користуватися представленими на рис. 2 і 3 розрахова-

ними значеннями опору бетону для формул (16) і (19). Це значною мірою полегшує розрахунки.

Аналітичні виведення не включають додаткових передумов і представляють собою точні математичні вирішення вихідних рівнянь рівноваги. При цьому вперше одержане вирішення для знаходження відносних деформацій за питомою роботою бетону, а також вирішення для знаходження моменту в нормальному перерізі (19) за інтегральним виразом (20). Розрахункові формули описують закономірності роботи бетону в конструкції під навантаженням як до, так і після досягнення ним межі міцності.

Література:

1. Walraven J. : Challenges for new materials in concrete structures. Proceedings of the XIII-th FIP Congress on Challenges for concrete in the Next Millennium, 23-29 May 1998, Amsterdam, vol. 1, pp.3-8.
2. Голышев А.Б. .Бачинский В.Я., Полищук В.П., Харченко А.В., Руденко И.В. Проектирование железобетонных конструкций – К.: Будівельник, 1990.- 544 с.
3. Чеканович М.Г. Інтерпретація повної діаграми стиску та критерій міцності важкого бетону / Вісник Сумського національного аграрного університету, Вип. 7.-Суми: СДАУ, 2002. - С. 77 – 84.
4. Chekanovych M.G. Concrete Structures with Self-Regulating Prestress, Structural Concrete. The bridge between people. fib Symposium, 12-15 October 1999, Prague, Czech Republic, vol.2, pp. 775-777.