

**ДО РОЗРАХУНКІВ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ЗГІДНО ВИМОГ ЄВРОКОД 2**

Розглянуто основні положення та принципи розрахунків нормальних перерізів залізобетонних елементів при згині та позацентровому стиску згідно вимог Єврокод 2 з використанням лінійно-параболічної діаграми деформування бетону. Наведені методика для практичного використання при розрахунках перерізів.

Ключові слова: розрахунки залізобетонних конструкцій, діаграми деформування стиснутого бетону, стиснута зона бетону, міцність нормального перерізу, напруження в сталій арматурі.

The basic provisions and the principles of calculation of normal cross section of reinforced concrete flexural elements and pozacentrovomu compression according to the requirements of Eurokod 2 using the linear parabolic strain diagram of concrete. The following methods for practical use when calculating sections.

Keywords: calculation of reinforced concrete structures, deformation of compressed concrete, the compressed area of the concrete strength of normal cross section, tension in the steel fixture.

Для розрахунків залізобетонних елементів за міцністю перерізів нормальних до поздовжньої осі елемента при згині та позацентровому стиску-розтягу використовують різні методи. Директивні матеріали профільного міністерства та галузевої академії наук України вимагають якнайширшого впровадження в будівельну практику норм, які використовують країни Єврозони. В таблиці 1 подано класифікацію методів розрахунку, їх особливості, відмінності та межі використання. Відмінність між ними в основному полягає в характері описання зв'язку між напруженнями σ_c та відносними деформаціями ε_c в стиснутому бетоні при визначенні внутрішніх зусиль в перерізі.

При розрахунках складних просторових систем (каркасів, балок, плит, оболонки) норми Єврокод 2 [1,2] рекомендують використовувати загальний деформаційний метод розрахунку. При розрахунках поперечних перерізів

окремих елементів дозволяють використовувати спрощені деформаційні методи 2 і 3. Для простих симетричних перерізів, близьких до прямокутних, може використовуватися і метод 4.

Діючі в Україні норми проектування залізобетонних конструкцій [3,4] рекомендують використовувати 1, 3 та 4 методи розрахунку нормальних перерізів, спрощений деформаційний метод 2 з лінійно-параболічною діаграмою деформування бетону не розглядається. Проте метод 2 найближче до реального описує зв'язок $\sigma_c - \varepsilon_c$ в стиснутому бетоні і широко розповсюджений в країнах Євросоюзу і не тільки [5,6,7].

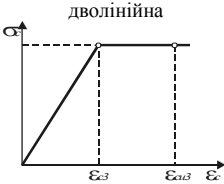
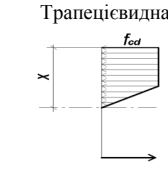

Нижче розглядаються теоретичні основи і передумови використання методу 2 при розрахунках нормальних перерізів залізобетонних елементів.

Зв'язок між напруженнями і відносними деформаціями бетону та арматури приймають згідно рис. 1. При цьому напруження в бетоні обчислюють так:

якщо $0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$ то $\sigma_c = f_{cd} [1 - (1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}})^n]$, а якщо $\varepsilon_{c2} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$ то $\sigma_c = f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{cu2} - \varepsilon_{c2}}$

Таблиця 1. Класифікація методів розрахунку нормальних перерізів.

№ п.п	Метод розрахунку	Вид діаграми деформування бетону	Вид епюри напружень в стиснутій зоні бетону	Межі використання методу розрахунку
1	Загальний деформаційний	<p>параболічна</p>	<p>Криволінійна</p>	Конструкції любой форми перерізу з довільним розташуванням арматури в перерізі
2	Спрощений деформаційний	<p>лінійно-параболічна</p>	<p>Криволінійна</p>	

3	Спрощений деформаційний	 <p>дволінійна</p>	 <p>Трапецієвидна</p>	
4	Граничних зусиль	жорсткопластична	 <p>прямокутна скорочена</p>	<p>Проста симетрична форма з арматурою зосередженою біля розтягнутої та стиснутої зон</p> <p>(близька до прямокутної за ДБН В.2.6)</p>

За критерій вичерпання несучої здатності перерізу приймається руйнування стиснутого бетону при досягненні відносними деформаціями бетону ε_c або арматури ε_s їх граничних значень. Згідно [1,2] граничні відносні деформації бетону ε_{cu2} не повинні перевищувати: для центрально стиснутих елементів – 2,0 ‰; для елементів при згині та позacentровому стиску при двозначній епюрі напружень в перерізі – 3,5 ‰; для проміжних ситуацій відносні деформації на відстані $3/7 (h)$ від найбільш стиснутої грані перерізу не повинні перевищувати 2,0 ‰. Граничні відносні деформації арматури обмежують величиною $\varepsilon_{uk} = 10,0$ ‰.

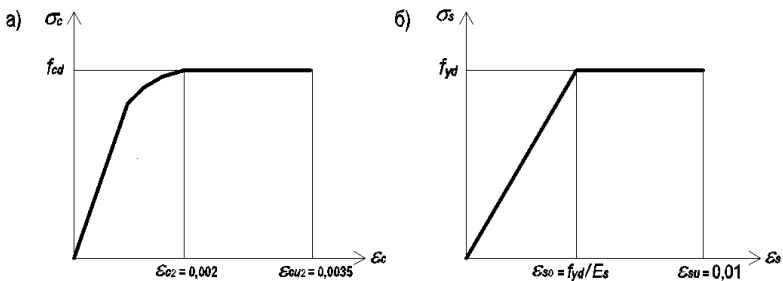


Рис. 1. Розрахункові діаграми деформування бетону та арматури
а) для стиснутого бетону; б) для арматурних сталей.

В роботах [6,7] пропонується розглядати чотири можливих зони деформування перерізу залізобетонного елемента в залежності від величин відносних деформацій в стиснутому бетоні та розтягнутій арматурі які там виникають в граничному стані, як показано в табл. 2.

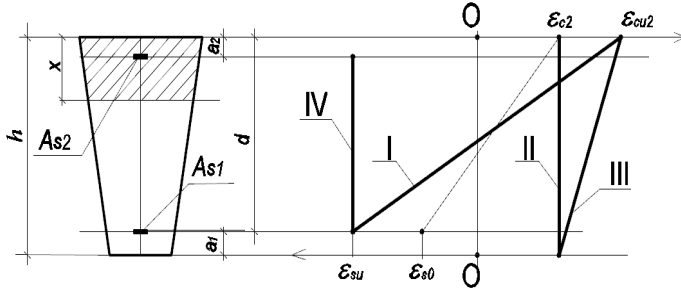


Рис.2. Характерні зони деформування перерізів:

I – згин, позакентровий стиск (розтяг) при двозначній епюрі напружень; II – центральний стиск; III – позакентровий стиск з нерівномірною однозначною епюрою напружень; IV – центральний розтяг.

Таблиця 2. Значення відносних деформацій в бетоні та арматурі в характерних зонах деформування перерізу.

Можливі зони деформування	Відносні деформації [%]		Примітка
	ε_s в арматурі A_{s1}	ε_c в стиснутому бетоні	
1a	$\varepsilon_s = \varepsilon_{uk} = 10,0 \%$	$\varepsilon_c < \varepsilon_{c2} = 2,0 \%$	В арматурі A_{s1} : $\sigma_s = f_{yd}$; в стиснутому бетоні: $\sigma_c < f_{cd}$
1b	$\varepsilon_s = \varepsilon_{uk} = 10,0 \%$	$\varepsilon_{c2} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$	В арматурі A_{s1} : $\sigma_s = f_{yd}$; в стиснутому бетоні: $\sigma_c = f_{cd}$
2	$\varepsilon_{uk} > \varepsilon_s \geq \varepsilon_{s0}$	$\varepsilon_c = \varepsilon_{cu2} = 3,5 \%$	
3a	$\varepsilon_{s0} > \varepsilon_s > 0$	$\varepsilon_c = \varepsilon_{cu2} = 3,5 \%$	Арматура A_{s1} розтягнута: $\sigma_s < f_{yd}$; в бетоні $\sigma_c = f_{cd}$
3b	$0 > \varepsilon_s > -\varepsilon_{s0}$	$\varepsilon_c = \varepsilon_{cu2} = 3,5 \%$	Арматура A_{s1} стиснута: $\sigma_s < -f_{yd}$; в бетоні $\sigma_c = f_{cd}$
4	$-\varepsilon_{s0} \geq \varepsilon_s \geq 2,0 \%$	$\varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c < \varepsilon_{cu2}$	Арматура A_{s1} стиснута: $\sigma_s = -f_{yd}$; в бетоні $\sigma_c = f_{cd}$

Границі між різними випадками деформування перерізу слід встановлювати в залежності від положення нейтральної осі згідно лінійного закону розподілу деформацій по висоті плоского перерізу.

Так межами випадків 1a, 1b та 2 будуть відповідно:

$$x_{\text{lim},1a} = \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{c2} + \varepsilon_{uk}} d ; \quad x_{\text{lim},1b} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{uk}} d ; \quad x_{\text{lim},2} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{s0}} d .$$

При нормованих в [1] величинах $\varepsilon_{c2} = 0,002$, $\varepsilon_{cu2} = 0,0035$ та $\varepsilon_{uk} = 0,01$ переріз деформується за випадком 1a коли $0 < \xi = x/d \leq 0,167$, а за випадком 1b коли $0,167 < \xi \leq 0,259$. Випадок 2 обмежується величиною

$$\xi \leq \xi_{\text{lim}} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + f_{yd} / E_s} . \text{ При } \xi > \xi_{\text{lim}} \text{ переріз деформується за випадками 3 або}$$

4, які характерні для роботи стиснутих елементів. Норми [1] рекомендують проектувати згинальні елементи тільки за умови $\xi \leq \xi_{\text{lim}}$.

Для розрахунків перерізів використовують стандартні рівняння рівноваги:

$$N_c + N_{s2} - N_{s1} = 0 \text{ та } M_{sd} \leq M_{rd} = N_c \cdot z_c + N_{s2} \cdot (d - a_2) \quad (1)$$

$$\text{а } N_c = wdbf_{cd} ; N_{s1} = A_{s1}k_{s1}f_{yd} ; N_{s2} = A_{s2}k_{s2}f_{yd} ; M_{rd} = \alpha_m bd^2 f_{cd} ; z = \zeta d \quad (2)$$

Для прийнятої діаграми $\sigma_c \rightarrow \varepsilon_c$ згідно рис.1 величини параметрів в виразі (1,2) слід приймати з табл. 3.

Таблиця 3. Значення параметрів для визначення внутрішніх зусиль в перерізі.

Зони деформування	w	ζ	α_m
1a	$\frac{5\xi^2 \left(1 - \frac{8}{3}\xi\right)}{(1-\xi)^2}$	$\frac{3\xi^2 - 12\xi + 4}{4 \left(1 - \frac{8}{3}\xi\right)}$	$\frac{1,25\xi^2(3\xi^2 - 12\xi + 4)}{(1-\xi)^2}$
1b	$\frac{16\xi - 1}{15}$	$1 - \frac{8,55\xi^2 - 1,1\xi + 0,05}{16\xi - 1}$	$1 - \frac{8,55\xi^2 - 1,1\xi + 0,05}{16\xi - 1}$
2	$\frac{17}{21}\xi$	$1 - \frac{99}{238}\xi$	$\frac{17}{21}\xi - \frac{33}{98}\xi^2$
3	$\frac{17}{21}\xi$	$1 - \frac{99}{238}\xi$	$\frac{17}{21}\xi - \frac{33}{98}\xi^2$
4	$\beta_h(1 - p4/21)$	$1 - \frac{\beta_h}{2} \frac{1-p}{1-p} \frac{16}{4/21}$	$\beta_h \left(1 - \frac{\beta_h}{2} - p(4/21 - \beta_h 8/21)\right)$

В табл. 3 слід приймати $\beta_h = h/d$, а $p = \left(\frac{4\beta_h}{7\xi - 3\beta_h} \right)^2$.

Коефіцієнти k_{s1} і k_{s2} являються функцією відношення фактичних деформацій в перерізі на рівні цетра ваги відповідної арматури до $\varepsilon_{s0} = f_{yd} / E_s$, тобто $k_{s1} = \varepsilon_{s1} / \varepsilon_{s0}$, а $k_{s2} = \varepsilon_{s2} / \varepsilon_{s0}$.

В [5,6] наведені допоміжні таблиці в яких в залежності від $\xi = x/d$ наведені величини параметрів таблиці 3 та величин ε_{s1} та ε_{s2} для всіх можливих зон деформування нормального перерізу при згині та позацентровому стиску.

Описаний вище метод розрахунків нормальних перерізів визнаний в Єврокод 2 основним при розрахунку конструкцій довільної форми перерізу, зрозумілий за логікою дій і, що особливо важливо, табульований, що дозволяє використовувати його студентами будівельних вузів при виконанні розрахункових робіт. В [7] даний метод використано для порівняльних розрахунків по різних методиках. Бажано, щоб деформаційний метод з лінійно-параболічною діаграмою деформування бетону був включений в перелік рекомендованих, при подальшій розробці нормативних документів.

Література

1. EN 1992-1:2004; Eurocod 2: Design of concrete structures/-Part 1-1: General rules and rules for buildings.
2. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT). Київ, Мінрегіонбуд України, 2012.
3. ДБН В.2.6.-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ, Мінрегіонбуд України, 2011.
4. ДСТУ Б В.2.6.-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Київ, Мінрегіонбуд України, 2011.
5. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования. Учебное пособие. Под редакцией проф. Т.М. Пецольда и проф. В.В. Тура. - Брест, БГТУ. 2003.
6. Larko A. Projektowanie konstrukcji zelbetowych wg Wurocodu 2 i PN-B-03264:1999.- Arkady, Warszawa, 2000.
7. В.М. Бабаєв, А.М. Бамбура, О.М. Пустовойтова, П.А. Резнік, Є.Г. Стоянов, В.С. Шмуклер. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84 і EN 1992-1-1. –Харків, 2015.