

## Розрахунок внутрішніх зусиль в нерозрізних сталезалізобетонних балках за допомогою кінематичного методу граничної рівноваги

Викладено методику розрахунку внутрішніх зусиль в нерозрізних сталезалізобетонних балках за допомогою кінематичного методу граничної рівноваги. Вказані межі використання даного методу.  
**сталезалізобетона балка, метод граничної рівноваги, внутрішні зусилля в балках**

Одним з найважливіших напрямків технічного прогресу в будівництві є застосування ефективних конструкцій, що дозволяють значно поліпшити показники матеріалоемності, вартості, трудомісткості [1, 2, 3]. До числа таких конструкцій належать сталезалізобетонні конструкції [4, 5]. Кінематичний метод граничної рівноваги ґрунтується на принципі можливих (віртуальних) переміщень Лагранжа, згідно з яким для системи, що перебуває в рівновазі, сума робіт усіх діючих на систему сил на можливих малих переміщеннях дорівнює нулю. При розрахунку потрібно забезпечувати, щоб наявна обмежена обертальна здатність поперечного перерізу завжди була більше обертальної здатності, потрібної для утворення шарніру пластичності, котра при нерозрізних балках залежить від виду навантаження, співвідношення прольотів і співвідношення моментів на опорі та в прольоті. Умови можна вважати виконаними, якщо в області пластичного шарніру наявні пластичні поперечні перерізи, а в інших – компактні поперечні перерізи, сталева балка має симетричний поперечний переріз і виключає відмову через втрату стійкості при згині та крученні.

Для методу граничної рівноваги існують певні межі застосування. Це обмеження для співвідношення прольотів і для зосередженого навантаження. Крайній проліт нерозрізної балки повинен бути меншим від збільшеного на 15 % середнього прольоту, а максимальний проліт балки не повинен перевищувати мінімальний більше ніж у півтора рази. Якщо на 1/5 прольоту балки сконцентровано більше половини розрахункового навантаження, то відстань від крайнього волокна бетонного поясу до пластичної нульової лінії повинна становити не більше 15 % загальної висоти поперечного перерізу.

Для відшукування пластичного моменту використовується умова рівності нулю суми елементарних можливих робіт внутрішніх і зовнішніх сил. Елементарна можлива робота внутрішніх сил для крайнього прольоту запишеться у вигляді:

$$\delta A_i = -M_{pl}^{np} \delta \varphi \left( 1 + \frac{a}{b} \right) - \alpha M_{pl}^{np} \delta \varphi \frac{a}{b} = -M_{pl}^{np} \delta \varphi \frac{1 + \alpha a}{1 - a}, \quad (1)$$

де  $M_{pl}^{np}$  – внутрішній пластичний момент (несуча здатність сталезалізобетонної балки) в прольоті;

$\alpha = M_{pl}^{on} / M_{pl}^{np}$  – коефіцієнт, який дорівнює співвідношенню внутрішніх згинальних моментів на опорі та в прольоті.

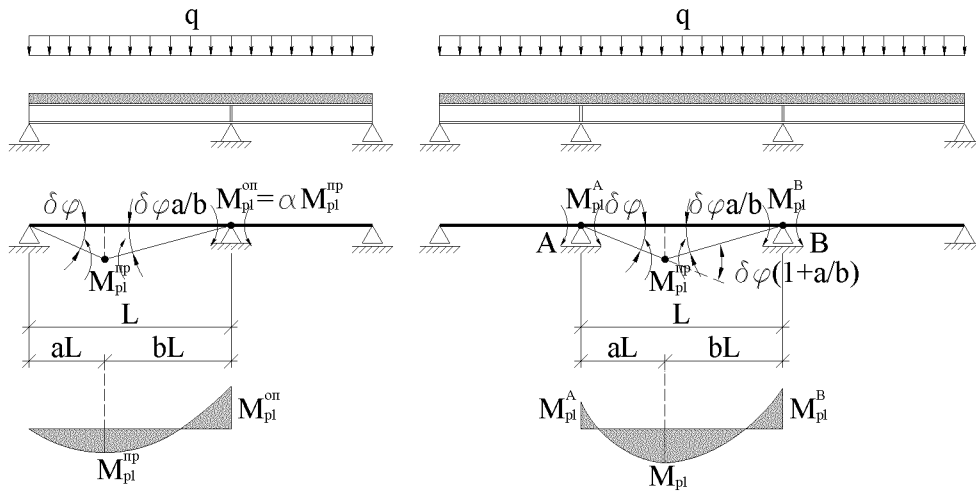


Рисунок 1 - Визначення внутрішніх зусиль у нерозрізних сталезалізобетонних балках за допомогою методу граничної рівноваги

Вираз для елементарної можливої роботи зовнішніх сил матиме вигляд:

$$\delta A_o = qaL \frac{1}{2} \delta \varphi aL + qbL \frac{1}{2} \delta \varphi \frac{a}{b} bL = q \delta \varphi \frac{1}{2} aL^2, \quad (2)$$

де  $q$  – рівномірне розподілене навантаження.

З умови рівності нулю суми елементарних можливих робіт внутрішніх і зовнішніх сил ( $\delta A_i + \delta A_o = 0$ ) знаходиться вираз для пластичного моменту, що діє в прольоті:

$$M_{pl,\delta}^{np} = qL^2 \frac{a - a^2}{2(1 + \alpha a)} = \frac{qL^2}{\mu}, \quad (3)$$

де  $\mu = \frac{2(1 + \alpha a)}{a - a^2}$  – умовний коефіцієнт.

Вираз для пластичного моменту, що діє в проміжному прольоті, отримується аналогічно. Елементарна можлива робота внутрішніх сил для проміжного прольоту запишеться у вигляді:

$$\delta A_i = -M_{pl}^{np} \delta \varphi \left( 1 + \frac{a}{b} + \alpha + \beta \frac{a}{b} \right), \quad (4)$$

де  $\alpha = M_{pl}^A / M_{pl}^{np}$ ,  $\beta = M_{pl}^B / M_{pl}^{np}$  – коефіцієнти, які дорівнюють співвідношенню внутрішніх згинальних моментів на відповідних опорах і в прольоті.

В такому випадку пластичний момент, що діє в проміжному прольоті, визначатиметься за формулою:

$$M_{pl,\delta}^{np} = qL^2 \frac{a}{2 \left( 1 + \alpha + \frac{a}{b} + \beta \frac{a}{b} \right)} = \frac{qL^2}{\mu}, \quad (5)$$

де  $\mu = \frac{2 \left( 1 + \alpha + \frac{a}{b} + \beta \frac{a}{b} \right)}{a}$  – умовний коефіцієнт.

Положення пластичного шарніра в прольоті отримується з умови рівності нулю першої похідної від функції пластичного моменту:

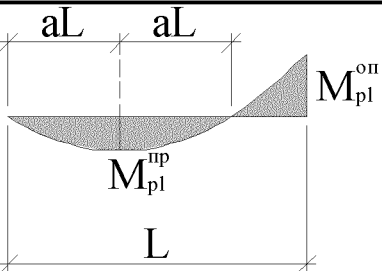
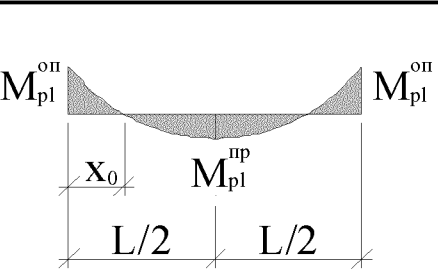
$$a = -k \pm \sqrt{k^2 + k} < 1,0, \quad (6)$$

де  $k = \frac{1}{\alpha}$  для крайнього прольоту;

$k = \frac{1+\alpha}{\beta-\alpha}$  для середнього, якщо  $\alpha = \beta$ , то  $a = 0,5$ .

Коефіцієнти у формулах (3), (4), (5), необхідні для визначення пластичних моментів, що діють у крайньому і проміжному прольотах нерозрізної сталезалізобетонної балки, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням, обраховані в залежності від співвідношення внутрішніх згинальних моментів на опорі та в прольоті, зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 - Визначення пластичних моментів, що діють у крайньому і проміжному прольотах нерозрізної балки, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням

				
	$\alpha = \frac{M_{pl}^{on}}{M_{pl}^{np}}$	$M_{pl,\delta}^{np} = \frac{qL^2}{\mu}$	$M_{pl,\delta}^{on} = \alpha \frac{qL^2}{\mu}$	
	$\mu$	a	$\mu$	$x_0/L$
1	2	3	4	5
0,00	8,000	0,500	8,0	0,000
0,05	8,199	0,494	8,4	0,012
0,10	8,395	0,488	8,8	0,023
0,15	8,590	0,483	9,2	0,034
0,20	8,782	0,477	9,6	0,044
0,25	8,972	0,472	10,0	0,053
0,30	9,161	0,467	10,4	0,061
0,35	9,348	0,463	10,8	0,070

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
0,40	9,533	0,458	11,2	0,077

0,45	9,717	0,454	11,6	0,085
0,50	9,899	0,449	12,0	0,092
0,55	10,080	0,445	12,4	0,098
0,60	10,260	0,442	12,8	0,105
0,65	10,438	0,438	13,2	0,111
0,70	10,615	0,434	13,6	0,117
0,75	10,792	0,431	14,0	0,122
0,80	10,967	0,427	14,4	0,127
0,85	11,141	0,424	14,8	0,132
0,90	11,314	0,420	15,2	0,137
0,95	11,486	0,417	15,6	0,142
1,00	11,657	0,414	16,0	0,146

Наведені теоретичні дослідження уточнюють методику розрахунку внутрішніх зусиль в перерізах нерозрізних сталезалізобетонних балок. Використання кінематичного методу граничної рівноваги можливе при певних передумовах з припущенням необмеженої обертальної здатності шарніру пластичності.

### Список літератури

1. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные строения мостов. – М.: Транспорт, 1981. – 360 с.
2. Семко О.В. Експериментальні дослідження несучої здатності гнучких анкерів в сталезалізобетонних конструкціях // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Випуск 15. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – С. 66-72.
3. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби: Правила проектування / Нац. трансп. ун-т, ін-т "Київсоюзшляхпроект". – Офіц. вид. – На заміну СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы; Чинні від 2007-02-01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 359 с.
4. prEN 1994-1-1: Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures – Part 1.1: General rules and rules for Buildings, 2004.
5. DIN 18800 : Stahlbauten – Teil 5: Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton, Nov. 2004.

Одержано 16.08.10