

УДК 624.015.5

**РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ
СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК**

**РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ
СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК**

**ESTIMATION ON THE STRENGTH OF COMPOSITE IRON-STEEL
BEAMS AT NORMAL SECTION**

Крупченко О.А., к.т.н., доц. (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

Крупченко А.А., к.т.н., доц. (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

Krupchenko A.A. candidate of technical sciences, assistant professor (Poltava National Technical University named in honour of Yuri Kondratyuk, Poltava)

В статті наведені відомості про методику розрахунку міцності залізобетонних конструкцій в нормальних перерізах, адаптовану до розрахунків сталезалізобетонних балок. Продемонстрована задовільна збіжність експериментальних даних із теоретичними.

В статье приведены сведения о методике расчета прочности железобетонных конструкций в нормальных сечениях, адаптированной к расчетам сталежелезобетонных балок. Продемонстрирована удовлетворительная сходимость экспериментальных данных с теоретическими.

The paper deals with the techniques on estimation of the strength of reinforced concrete structures at normal section, adapted for the estimation of composite iron-steel beams. The tolerable equivalence of experimental to theoretical data has been demonstrated.

Ключові слова:

сталезалізобетон, балки, конструкції, міцність, жорсткість.
сталежелезобетон, балки, конструкции, прочность, жесткость.
composite iron-steel, beams, structures, durability, rigidity.

Вступ. При розрахунках залізобетонних конструкцій часто використовуються емпіричні залежності та різні коефіцієнти, що приводить

до викривлення дійсної картини роботи цих конструкцій та їх елементів в реальних умовах. Одним із шляхів усунення існуючої проблеми є розроблення і використання методик розрахунку, які б враховували увесь спектр як фізико-механічних властивостей бетону та арматури, так і їх вплив один на одного в складі залізобетонного елемента як композитного матеріалу.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Останнім часом поряд з існуючими методиками розрахунку залізобетонних конструкцій широкого розповсюдження набувають методики, котрі ґрунтуються на реальних діаграмах деформування матеріалів з урахуванням характеру і тривалості дії навантаження [1,2]. Такий підхід дозволяє більш точно описувати не тільки граничний стан елемента, а й отримувати залежність розвитку деформацій зі збільшенням навантаження. Використання цих методик дозволяє об'єктивніше враховувати фізичні особливості роботи матеріалів, а також точніше оцінювати напружено-деформований стан та міцність залізобетонних елементів. Основи такої моделі широко застосовуються в закордонній практиці, включені в міжнародні нормативні документи, впроваджуються в державні норми проектування залізобетонних і бетонних конструкцій.

Огляд останніх досліджень і публікацій показує, що методики, в основу яких покладена деформаційна модель, також можна використовувати для розрахунку сталезалізобетонних конструкцій, зокрема для сталезалізобетонних двотаврових балок із залізобетонним верхнім поясом та сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням (рис. 1) [3 – 6]. При застосуванні деформаційної моделі суттєвими є значення граничних фібрових деформацій бетону ϵ_{cu} , які різними дослідниками визначаються по різному і коливаються в широкому діапазоні, що значно впливає на кінцеві результати розрахунків.

Формулювання цілей статті. В даній статті поставлено за мету розрахувати сталезалізобетонні балки із зовнішнім листовим армуванням (рис. 1 б) за методикою наведеною в [1], де східна гілка діаграми деформування обмежується величиною h_u – рівнем відносних фібрових деформацій бетону, що обчислюється аналітично. Порівняти результати розрахунків із даними експериментів. Раніше такі конструкції були експериментально досліджені (балки серій Б-III-1, Б-III-2, Б-III-3) [6] і розраховані за методикою [2], в якій значення критичних деформацій бетону ϵ_{cu} , що відповідають граничному стану при неоднорідному деформуванні перерізу, визначаються в процесі ітераційного пошуку. Задача, якого полягає в підборі значення висоти стиснутої зони бетону і визначенні відповідної деформації ϵ_{cu} , при якій рівнодіючі в стиснутій і розтягнутій частинах перерізу урівноважуються. Для цього обчислюються відповідні зусилля.

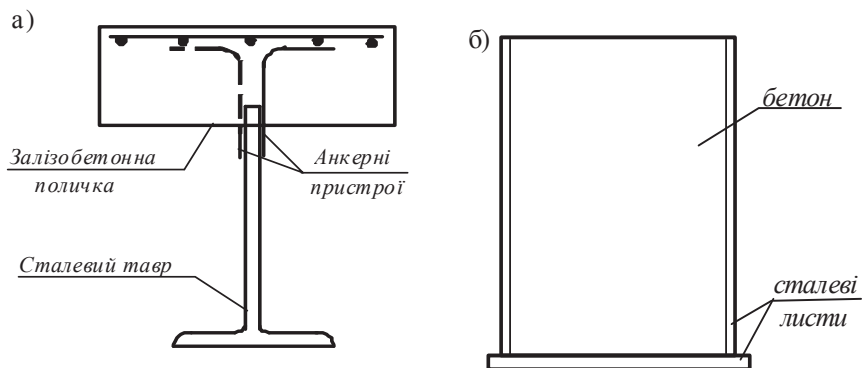


Рис. 1. Поперечні перерізи сталезалізобетонних балок: а) двотаврові із залізобетонним верхнім поясом; б) із зовнішнім листовим армуванням

Виклад основного матеріалу. У розробленій методиці розрахунку міцності сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням використано діаграму стану бетону на стиск $\sigma_c - \epsilon_c$ в такому вигляді

$$\frac{\sigma_{\bar{n}}}{f_{cd}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}, \quad (1)$$

де $\eta = \epsilon_{\bar{n}} / \epsilon_{\bar{n}1}$, – рівень деформації крайньої фібри; $k = \frac{E_c \epsilon_{cr}}{f_{cd}}$ – коефіцієнт пружно-пластичних властивостей бетону; $\epsilon_{cr} = 0,0007 f_{cd}^{0,31}$ – деформації у вершині діаграми.

Для балок серії Б-Ш-1 поперечного перерізу, зображеного на рис. 1 б, до складу, яких входить бетон, у якого $f_{cd} = 11,75$ МПа та $E_{cd} = 16500$ МПа, k становить 2,11. Використовуючи залежність $h_u - k$, наведену в [7]

$$\eta_u = -0,024k^2 + 0,189k + 0,986 \quad (2)$$

відповідно матимемо, що $h_u = 1,278$. А максимальне значення фібрових деформацій стиснутого бетону $\epsilon_{cm} = \epsilon_{cr} \eta_u$.

Використовуючи гіпотезу плоских перерізів в досліджуваних конструкціях відповідно до рис. 2, деформації на нижній грані горизонтального листа

$$\epsilon_{sf}(X) = \frac{\epsilon_{cm}(h-X)}{X}, \quad (3)$$

де h – висота поперечного перерізу;
 X – висота стиснутої зони.

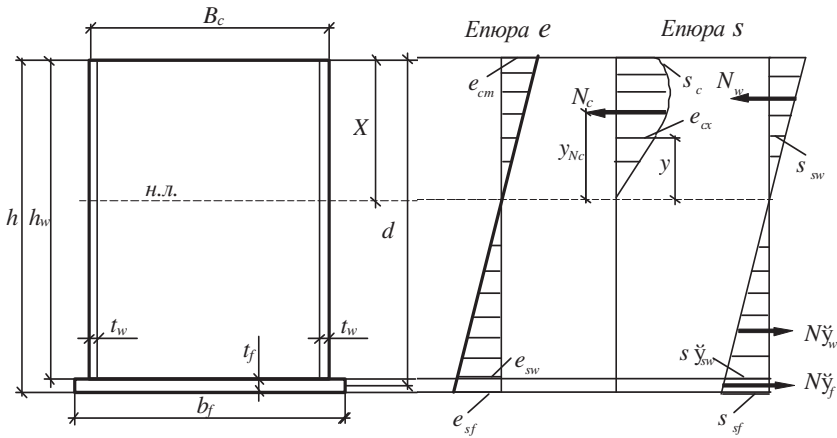


Рис. 2. До розрахунку міцності сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням у нормальних перерізах

Деформації на межі вертикальних та горизонтального листів

$$\varepsilon_{sw}(X) = \frac{\varepsilon_{cm}(h_w - X)}{X}, \quad (4)$$

де h_w – висота вертикальних сталевих листів.

Маючи значення деформацій в характерних точках поперечного перерізу, можна визначити зусилля, які виникають в кожній із його складових. Відповідно до [1], зусилля в стиснутій частині бетону (рис. 2)

$$N_c(X, h_{cm}) = f_{cd} X B_c w, \quad (5)$$

де B_c ширина бетону;

w – коефіцієнт повноти епюри напружень в бетоні:

$$w = \frac{(K - 1)^2 (c - \ln c - 1)}{2(K - 2)^3 h_m} - \frac{h_m}{2(K - 2)}. \quad (6)$$

$$c = 1 + (K - 2) h_m \quad (7)$$

Зусилля в стиснутих волокнах вертикальних листів

$$N_w(X, h_{bm}) = 2 \int_0^X s_{sw}(X) t_w \frac{\sigma}{\sigma_s} e_{cm} E_s t_w X, \quad (8)$$

де s_{sw} – напруження в стиснутих волокнах вертикальних листів;

E_s – модуль пружності сталі;

t_w – товщина вертикальних сталевих листів.

Зусилля в розтягнутих волокнах вертикальних листів

$$N_{sw}(X, h_{cm}) = 2 \int_0^X s_{sw}(X) (h_w - X) t_w \frac{\sigma}{\sigma_s} e_{sw}(X) E_s t_w (h_w - X), \quad (9)$$

де $s_{\check{y}_{sw}}$ – напруження в розтягнутих волокнах вертикальних листів.

Зусилля в розтягнутому горизонтальному листі

$$N_{\check{y}_f}(X, h_{cm}) = s_{sf}(X)t_f b_f = e_{sf}(X)E_s t_f b_f, \quad (10)$$

де s_{sf} – напруження в найбільш розтягнутому горизонтальному листі;

t_f – товщина сталевого горизонтального листа;

b_f – ширина сталевого горизонтального листа.

Тут для спрощення прийнято, що форма епюри напружень прямокутна, а не трапецієподібна.

Використовуючи умову

$$N_c(X) + N_w(X) - N_{\check{y}_w}(X) - N_{\check{y}_f}(X) = 0, \quad (11)$$

визначено значення висоти стиснутої зони X . Остаточо максимальний згинальний момент опору балки дії зовнішнього навантаження

$$M_u = N_c(d - X - y_{Nc}) + N_w(d - \frac{1}{3}X) - N_{\check{y}_w}(d - \frac{1}{3}X - \frac{2}{3}h_w) \quad (12)$$

де d – відстань від центра ваги сталевого горизонтального листа до верхньої грані поперечного перерізу.

У формулі (12) момент визначається відносно центра ваги горизонтального листа (рис. 2). Положення рівнодіючої стиснутого бетону визначається використовуючи формули (4.72), (4.77) [1]

$$y_{Nc} = \frac{S_c}{N_c} = X \frac{j}{w}, \quad (13)$$

$$j = \frac{(K - 1)^2 \frac{\check{y}_c}{H} c - 2)^2 + 2 \ln c - \frac{1 \check{y}_c}{H}}{2(K - 2)^4 h_m^2} \cdot \frac{h_m}{3(K - 2)}. \quad (14)$$

За наведеною методикою були розраховані сталезалізобетонні балки серій Б-III-1 ($f_{cd} = 11,75$ МПа, $E_{cd} = 16500$ МПа), Б-III-2 ($f_{cd} = 30,01$ МПа, $E_{cd} = 27800$ МПа), Б-III-3 ($f_{cd} = 36,02$ МПа, $E_{cd} = 47700$ МПа), дані наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Несуча здатність досліджуваних сталезалізобетонних балок

Дослідні зразки	Згинальний момент, кНм		
	$M_{екс}$	$M_{теор}$, за існуючою методикою	$M_{теор}$, за наведеною методикою
Б-III-1	32,71	30,8	30,0
Б-III-2	45,8	46,8	47,2
Б-III-3	50,04	54,87	56,1

Висновок. Аналіз результатів проведених розрахунків за наведеною методикою підтвердив можливість її використання для розрахунку сталезалізобетонних конструкцій і зокрема для балок із зовнішнім листовим армуванням, оскільки досить точно описує напружено деформований стан таких елементів, та дає достатньо задовільну збіжність теоретичних розрахунків з експериментом.

1. Павліков, А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косо завантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії: [монографія] / А.М. Павліков. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – 259 с. 2. Роговой, С.И. Нелинейное деформирование в теории железобетона и расчет прочности нормальных сечений / С.И. Роговой. – Полтава, 2002. – 183 с. 3. Стороженко Л.І. Розрахунок згинальних сталезалізобетонних двотаврових елементів із залізобетонним верхнім поясом / Л.І. Стороженко, В.А. Кириченко, О.А. Крупченко // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб. наук. пр. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 70. – С. 43 – 51. 4. Крупченко, О.А. Напружено-деформований стан та міцність сталезалізобетонних двотаврових балок із залізобетонним верхнім поясом: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О.А. Крупченко. – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 197 с. 5. Сколибог О.В. Розрахунок згинальних сталезалізобетонних елементів деформаційним методом. / О.В. Сколибог // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ. – 2005. – Вип. 16. – С. 153 – 159. 6. Сколибог О.В. Сталезалізобетонні балки із зовнішнім листовим армуванням: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О.В. Сколибог. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 193 с. 7. Павліков, А. М. Розв'язання задач міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів у нормальному перерізі на основі нелінійної діаграми стану бетону /А. М. Павліков, П. А. Юрко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип.1 (29). – С. 61 – 65.