

А.В. Іванюк, аспірант

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## РОЗРАХУНОК СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З АРМУВАННЯМ ЛИСТАМИ

*Розглянуто методику розрахунку міцності поперечних перерізів сталезалізобетонних конструкцій з армуванням сталевими листами з використанням діючих нормативних документів.*

**Ключові слова:** *напружено-деформований стан, несуча здатність, сталеві листи, сталезалізобетонні конструкції.*

**Постановка проблеми.** Сучасні завдання розвитку будівельної індустрії нашої країни вимагають здійснення інтенсифікації та ефективного виробництва будівельних конструкцій на основі науково-технічного прогресу, який полягає в економії матеріалів і трудовитрат при їх виготовленні та монтажі, а також надійності будівель і споруд. Унаслідок цього останнім часом у будівництві все частіше розпочали застосовувати сталезалізобетонні конструкції, що являють собою сполучення металевих профілів із залізобетоном зі стрижневим армуванням [1]. Великі труднощі під час проектування таких конструкцій вимагають використовувати наближені методи розрахунку, які приводять до зайвих витрат матеріалів, а в деяких випадках – і до недостатньої надійності конструкцій. Отже, виникає необхідність в удосконаленні методів розрахунку сталезалізобетонних конструкцій з армуванням листами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження та використання сталезалізобетону набуло надзвичайно широкого розповсюдження в багатьох країнах, зокрема в Україні [2]. Проводяться різноманітні експериментальні випробування, які дають змогу отримати більш точні дані порівняно з теоретичними розрахунками, для дослідження особливостей напружено-деформованого стану, несучої здатності та характеру руйнування сталезалізобетонних конструкцій з армуванням вертикальними листами [3, 4].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Вивчення та розробка нових конструктивних форм сталезалізобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням вимагає не тільки проведення експериментальних досліджень, але й пошуку нових методів їх розрахунку, які дадуть змогу отримати більш точні дані щодо несучої здатності, деформативності та характеру руйнування таких конструкцій.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є представлення методики визначення несучої здатності й особливостей напружено-деформованого стану сталезалізобетонних балкових конструкцій з армуванням вертикальними листами за допомогою діючих нормативних документів.

**Виклад основного матеріалу.** Несучу здатність сталезалізобетонних елементів на дію згинальних моментів визначають, виходячи з таких передумов [5, 6]:

- за розрахунковий приймається усереднений переріз, що відповідає середнім деформаціям бетону та арматури по довжині блока між тріщинами, якщо такі є;
- деформації у звичайній арматурі або приріст деформацій у попередньо напруженій арматурі однакові з оточуючим їх бетоном як при розтязі, так і при стиску;
- для розрахункового перерізу вважається справедливою гіпотеза про лінійний розподіл деформацій по його висоті.

За критерій вичерпання несучої здатності перерізу приймається:

– втрата рівноваги між внутрішніми та зовнішніми зусиллями;  
 – руйнування стиснутого бетону при досягненні фібровими деформаціями граничних значень або розрив усіх розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій.

Розрахунок виконується за нелінійною деформаційною методикою, сутність якої полягає у тому, що враховується приріст не зусиль (дій), а деформацій у перерізі.

Відповідно до прийнятих передумов при використанні формули (3.5) [5] напружено-деформований стан довільного моносиметричного перерізу при позадцентровому згині описується таким рівнянням [5]:

$$\hat{O}(\aleph, \varepsilon_{c(1)}) - \dot{I} = 0, \quad (1)$$

де  $\aleph = \frac{1}{\rho} = \frac{(\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)})}{h}$  – кривизна вигнутої осі в перерізі;

$\varepsilon_{c(1)}$  – деформації бетону стиснутої фібри;

$\varepsilon_{c(2)}$  – осереднені деформації розтягнутої фібри бетону;

$M$  – значення згинального моменту.

У загальному вигляді функція  $\Phi(\aleph, \varepsilon_{c(1)})$  набуває вигляду

$$\hat{O}(\aleph, \varepsilon_{c(1)}) = \int_{F_c} \sigma_c(x) x dF_c + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (x_l - z_{si}), \quad (2)$$

де  $x_l$  – висота стиснутої зони;

$z_{si}$  – відстань  $i$ -го стрижня або прошарку арматури від найбільш стиснутої грані перерізу.

При цьому може виникнути два випадки (дві форми рівноваги перерізу):

- весь переріз стиснутий;
- у перерізі є зона розтягу.

Для перерізу конкретної форми достатньо виконати інтегрування і підставити границі інтегрування, після чого одержимо систему нелінійних алгебраїчних рівнянь з відповідними невідомими.

У загальному випадку можлива реалізація трьох випадків напружено-деформованого стану сталезалізобетонного таврового перерізу.

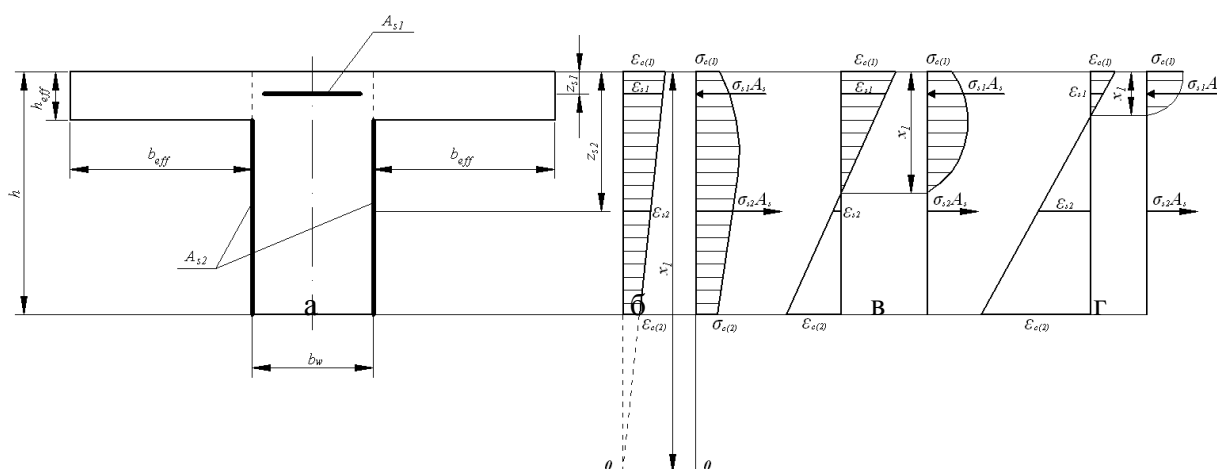


Рисунок 1 – До оцінки напружено-деформованого стану таврового перерізу:  
 а – поперечний переріз; б, в, г – епюри деформацій і напружень відповідно при 1-й, 2-й та 3-й формах рівноваги

Перший випадок напружено-деформованого стану (перша форма рівноваги) – весь переріз стиснуто, нейтральна вісь поза межами перерізу, область існування –  $x_l \geq h$ . Другий випадок (друга форма рівноваги таврового перерізу) – нейтральна вісь у межах стінки, область існування –  $h - h_{ef} > x_l > h_{eff}$ . Третій (третя форма рівноваги) – нейтральна вісь знаходиться в межах полиці, область існування –  $x_l < h_{eff}$ .

У цьому випадку при розрахунку перерізів запропонованих конструкцій будуть розглядатися лише друга і третя форми рівноваги для відповідних серій сталезалізобетонних згинальних елементів із зовнішнім листовим армуванням.

Переріз можна розглядати як такий, що складається з прямокутного елемента на всю його висоту і має ширину, яка дорівнює ширині стінки тавра та приєднаних до нього звисів верхньої полиці.

Відповідно до прийнятих передумов під час використання діаграми деформування бетону за нормами [5, рис. 3.1] для таврового перерізу після заміни змінних інтегрування, функція  $\Phi(\xi, \varepsilon_{c(1)})$  набуває такого вигляду:

- для другої форми рівноваги

$$\frac{f_{cd}}{\xi^2} \left[ b_w \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left( \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c1}} \right)^{k+2} + 2b_{eff1} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left( \frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+2} - \varepsilon_{eff(2)}^{k+2}}{\varepsilon_{c1}^{k+2}} \right) \right] + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} \frac{\varepsilon_{c(1)} - \xi z_{si}}{\xi} - M = 0; \quad (3)$$

- для третьої форми рівноваги

$$\frac{f_{cd}}{\xi^2} \left[ (b_w + b_{eff1}) \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left( \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c1}} \right)^{k+2} \right] + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} \frac{\varepsilon_{c(1)} - \xi z_{si}}{\xi} - M = 0, \quad (4)$$

де  $f_{cd}$  – розрахункове значення міцності бетону на стиск. За нормами [5, табл. 3.1]  $f_{cd} = 17 \dot{I} \ddot{a}$  (для бетону класу C25/30);

$\xi = \xi / \varepsilon_{c1}$  – відносна кривизна;

$\varepsilon_{c1}$  – значення відносних деформацій стиску бетону при максимальних напруженнях  $f_c$ ;

$b_w$  – ширина стінки тавра;

$a_k$  – коефіцієнт, береться згідно з нормами [5, табл. Д.1];

$b_{eff1}$  – менша розрахункова величина звису полиці;

$\varepsilon_{eff(2)} = \xi(x_l - h_{eff})$  – деформації на нижній грані перерізу верхньої полиці;

$A_{si}$  – площа арматури і-го стрижня;

$\sigma_{si}$  – напруження розтягу і-го арматурного стрижня.

За формулами (5) – (6) виконуємо розрахунок запропонованих серій сталезалізобетонних балкових конструкцій з армуванням вертикальними листами. Результати порівнюємо зі значеннями несучої здатності, отриманими експериментальним шляхом.

### Випадок 1

Для сталезалізобетонних таврових балок серій БТ-1, БТ-2, БТ-3 [4] виконуємо розрахунок за формулою (3) для третьої форми рівноваги

$$M = 25,86 \dot{e} \ddot{I} \dot{a}.$$

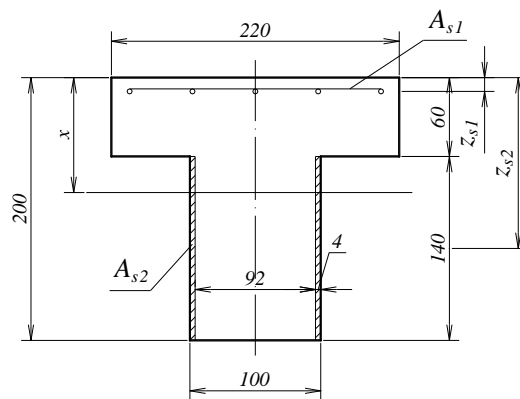


Рисунок 2 – Розрахункова схема таврової сталезалізобетонної балки серій БТ-1, 2, 3

### Випадок 2

Для сталезалізобетонних таврових балок із розвинутим верхнім поясом серій БТ-1-1, БТ-1-2, БТ-1-3 виконуємо розрахунок за формулою (3) для третьої форми рівноваги:

$$M_1 = 31,35 \text{ êÍ ì ; } \quad M_2 = 33,54 \text{ êÍ ì ; } \quad M_3 = 38,80 \text{ êÍ ì .}$$

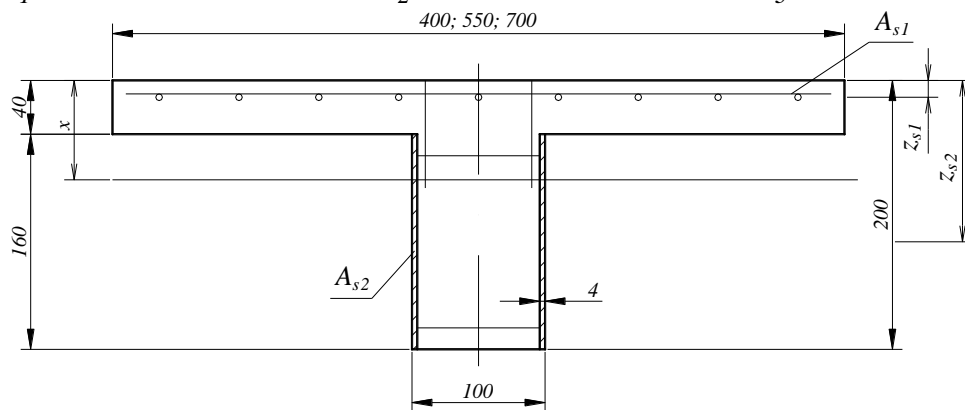


Рисунок 3 – Розрахункова схема таврової сталезалізобетонної балки серій БТ-1-1, 2, 3

### Випадок 3

Для залізобетонних плит, підкріплених сталезалізобетонними ребрами, серій БТ-2-1, БТ-2-2, БТ-2-3 виконуємо розрахунок за формулою (5) для четвертої форми рівноваги:

$$M_1 = 62,02 \text{ êÍ ì ; } \quad M_2 = 61,90 \text{ êÍ ì ; } \quad M_3 = 61,88 \text{ êÍ ì .}$$

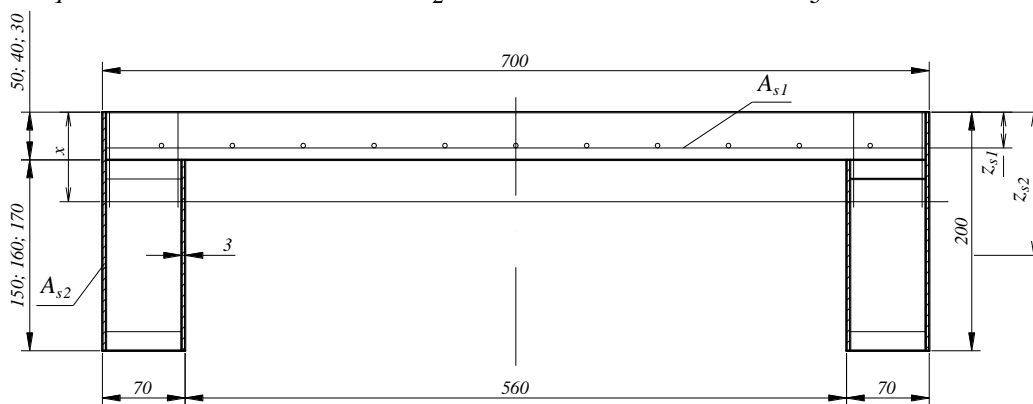


Рисунок 4 – Розрахункова схема залізобетонної плити, підкріпленої сталезалізобетонними ребрами, серій БТ-2-1, 2, 3

**Таблиця 1 – Порівняння значень несучої здатності дослідних зразків  
(М, кНм), визначених різними методами**

Сталезалізобетонні конструкції з армуванням сталевими листами			
№ зразка	Методика ДБН-ДСТУ	Експериментальні дослідження	Розбіжність Δ, %
БТ-1,2,3	25,86	27	4,41
БТ-1-1	31,35	32	2,07
БТ-1-2	33,54	35	4,35
БТ-1-3	38,80	37	4,86
БТ-2-1	62,02	65	4,80
БТ-2-2	61,90	63	1,78
БТ-2-3	61,88	61	1,44

**Висновок.** Запропонована методика розрахунку міцності поперечних перерізів сталезалізобетонних елементів з армуванням сталевими листами з використанням діючих нормативних документів.

Як показали попередні дослідження сталезалізобетонних конструкцій з армуванням листами, руйнування таких конструкцій відбувається пластично, що характерно для сталевих конструкцій. Це дає змогу зробити висновок про значну надійність досліджуваних конструктивних елементів. На всіх етапах завантаження була забезпечена сумісна робота залізобетонної складової зі сталевими листами, що свідчить про надійність використання таких анкерних засобів.

Тому можна говорити про можливість розвитку цих конструкцій, проведення відповідних експериментів, що дозволить поліпшити функціональні якості будівель при їх застосуванні й стати конкурентоспроможними порівняно із залізобетонними та сталевими конструкціями під час використання їх у процесі спорудження промислових і цивільних будівель.

#### *Література*

1. Стороженко, Л. І. Сталезалізобетонні конструкції: навч. посіб. / Л. І. Стороженко, О. В. Семко. – Полтава, 2001. – 55 с.
2. Стороженко, Л. І. Сталезалізобетон: збірник наукових праць / Л. І. Стороженко. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 386 с.
3. Сколибод, О. В. Експериментальні дослідження похилих перерізів сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням / О. В. Сколибод // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб. наук. ст. – Вип. 6. – Кривий Ріг: КТУ, 2004. – С. 55 – 64.
4. Стороженко, Л. І. Експериментальні дослідження таврових сталезалізобетонних балок з армуванням листами / Л. І. Стороженко, О. В. Нижник, А. В. Іванюк // Збірник наукових праць ДДНДІ імені М.П. Шульгіна. – Вип. 11. – К., 2009. – С. 325 – 330.
5. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – С. 44 – 45.
6. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – С. 32 – 35.

*Надійшла до редакції 12.12. 2011*

© А.В. Іванюк

**А.В. Иванюк, аспирант**

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **РАСЧЕТ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С АРМИРОВАНИЕМ ЛИСТАМИ**

*Рассмотрена методика расчета прочности поперечных сечений сталежелезобетонных конструкций с армированием стальными листами с использованием действующих нормативных документов.*

**Ключевые слова:** *напряженно-деформированное состояние, несущая способность, стальные листы, сталежелезобетонные конструкции.*

**A.V. Ivanyuk, the postgraduate st.**

*Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

## **CALCULATION OF COMPOSITE STEEL AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH REINFORCING STEEL SHEETS**

*The article describes method of calculation of the strength of cross sections of composite steel and reinforced concrete structures with reinforcing steel sheets using the current regulatory documents.*

**Keywords:** *stress-strain state, carrying capacity, steel sheets, composite steel and reinforced concrete structures.*