

Л.І. Стороженко, О.В. Семко, О.І. Лапенко, С.О. Мурза, Ю.О. Авраменко  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,  
кафедра конструкцій із металу, дерева та пластмас

## МІСЦЕВА СТІЙКІСТЬ СТАЛЕВИХ СТІНОК СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

© Стороженко Л.І., Семко О.В., Лапенко О.І., Мурза С.О., Авраменко Ю.О., 2009.

**Проведено дослідження питання місцевої стійкості сталевих стінок сталезалізобетонних конструкцій з листовою арматурою. Стінки сталезалізобетонних конструкцій з листовим армуванням мають значну гнучкість, що може призвести до місцевої втрати стійкості, і, як наслідок, до втрати несучої здатності усієї конструкції.**

**In the article the research of question of local firmness of steel walls of steel-reinforced-concrete constructions is conducted with a sheet armature. The walls of steel-reinforced-concrete constructions with the sheet reinforcement have considerable flexibility, that can result in the local loss of firmness, and as a result to the loss of bearing strength of all construction.**

**Постановка проблеми.** Поряд із залізобетонними вже понад сто років застосовуються сталезалізобетонні конструкції, що поєднують у собі залізобетон та сталеві прокатні профілі. Ці конструкції надзвичайно різноманітні, вони застосовуються під час будівництва згинальних і стиснутих конструкцій, плит, їх застосовують під час зведення різноманітних споруд. Сталезалізобетонні конструкції мають багато переваг, основна з них – це можливість виробляти та будувати залізобетонні конструкції без використання опалубки, тому що її функції може успішно виконувати арматура зі сталевих профілів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сталезалізобетонні конструкції надзвичайно різноманітні: це стояки й колони, балки й ригелі, плити покриттів і перекриттів, просторові конструкції. Вони застосовуються під час будівництва згинальних і стиснутих конструкцій, їх використовують під час зведення різноманітних споруд.

Застосування листової арматури в стиснуто-зігнутих конструкціях дає змогу знизити витрати на опалубочні роботи, спростити процес зведення колон, монолітних та збірних покриттів будівель і споруд. Для сталезалізобетонних згинальних конструкцій питання тріщиностійкості (поява і розкриття тріщин) в розтягнутій зоні під час експлуатації менш актуальне або й зовсім відсутнє. Листове армування виключає застосування багаторядного розташування арматури, що уможливорює економити сталь та значно спрощує процес бетонування. Відкрита частина листової арматури дає змогу спростити конструктивні рішення з підсилення сталезалізобетонних конструкцій за збільшення корисного навантаження, а також використовувати листову арматуру як закладні деталі стиків, різних комунікацій і обладнання [2–5].

Однак під час виготовлення згинальних елементів із зовнішнім листовим армуванням необхідно забезпечити надійну роботу щодо зчеплення між сталевим листом та бетоном.

**Мета та завдання досліджень.** Зовнішня арматура у вигляді сталевих листів дає змогу ефективно використовувати залізобетонні конструкції з великим відсотком армування за обмежених розмірів перерізу. Ці конструкції мають істотні переваги під час проектування та будівництва різних будівель і споруд. Але до цього часу не вирішена проблема втрати місцевої стійкості сталевих стінок для таких елементів.

**Мета роботи** – дослідити питання місцевої стійкості сталевих стінок сталезалізобетонних конструкцій з листовою арматурою.

**Експериментальні дослідження.** На початку впровадження залізобетону смужкову і листову сталь не застосовували як зовнішню арматуру, тому що її зв'язки з бетоном по контакту ще не були

вирішені. Інженерна думка була скерована на пошук арматури самоанкеруючої в масі бетону: залізобетонні конструкції зі стрижневою і дротовою арматурою різного виду профілю, а також конструкції, армовані пучками канатів і так званою несучою жорсткою і трубчастою арматурою. Але в останні роки як арматуру залізобетонних конструкцій почали широко використовувати листову сталь. Основними напрямками використання є:

- армування огорожувальних і несучих конструкцій будівель і споруд, до яких пред'являються вимоги непроникності рідин, газів і різних випромінювань;
- опалубки під час виготовлення монолітних і збірно-монолітних залізобетонних конструкцій з використанням її після затвердіння бетону як несучої арматури;
- армування балочних лінійних елементів (ригелі, балки покриття і перекриття, підкранові балки, ферми, ребристі балочні плити тощо) і колон з метою зменшення маси, розмірів перерізу або отримання економії сталі;
- підсилення балочних і других елементів.

Сталезалізобетонні конструкції мають істотні переваги під час проектування й будівництва різних будівель та споруд. Але під час їх проектування виникають питання щодо визначення кількості арматури, розмірів поперечного перерізу та способів армування. Невирішені питання під час проектування таких конструкцій змушують використовувати наближені методи розрахунку, які призводять до зайвих витрат матеріалів, а в деяких випадках і до недостатньої надійності конструкцій. Для підвищення ефективності й ширшого розповсюдження конструкцій із зовнішнім листовим армуванням необхідна розробка відповідної теорії і методів розрахунку.

Наявність доволі досконалих і добре обумовлених теоретичних моделей дасть змогу підвищити рівень розрахунково-теоретичного обґрунтування під час проектування сталезалізобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням, призначених для масового застосування.

Стінки сталезалізобетонних конструкцій з листовим армуванням мають значну гнучкість, що може призвести до місцевої втрати стійкості, і, як наслідок, до втрати несучої здатності усєї конструкції. Тому економічне проектування таких конструкцій неможливе без застосування ребер жорсткості, що дають змогу істотно знизити критичне навантаження. Отже, поздовжні або поперечні ребра жорсткості або їх комбінація відіграють важливу роль під час проектування стінок, які є у цьому випадку підкріпленими пластинками. Ця обставина викликала необхідність проведення доволі складних теоретичних та експериментальних досліджень підкріплених пластинок за дії різних контурних навантажень [4]. Характер руйнування таких конструкцій показано на рисунку.



*Характер руйнування сталезалізобетонних конструкцій із листовим армуванням*

У тонкостінних балках стінка або полиця можуть втратити стійкість раніше, ніж відбудеться втрата стійкості балки загалом. Втрата стійкості одним із елементів перерізу балки (місцева втрата стійкості) та вихід його з роботи різко послаблюють балку, часто роблячи недеформовану частину перерізу несиметричною, оскільки центр згину при цьому зміщується, балка починає закручуватись та швидко втрачає стійкість.

Для того, щоб одержати надійніший висновок із погляду стійкості стінки, повинна бути розглянута теорія стійкості (випучування) тонкої пластинки, яка завантажена нормальними напруженнями в її площині. Для того, щоб отримати раціональну основу для проектування, необхідно провести вивчення пружної стійкості тонких стінок.

Під час розв'язання задач місцевої стійкості вважають, що окремі елементи, з яких складається переріз балки, працюють як пластинки, що з'єднані між собою шарнірно, пружно або жорстко [1].

Критичну силу втрати стійкості за методикою Б.М. Броуде знаходять, використовуючи два методи:

1. Інтегрування диференціального рівняння рівноваги пластинки, що має вигляд

$$D \left( \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} \right) + \sigma t \left( 1 - \alpha \frac{y}{b} \right) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + p(x, y) t \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} - 2 \tau t \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} = 0, \quad (1)$$

де  $p(x, y)$  вказує на те, що місцеві напруження є функцією обох координат.

2. Відшукування максимуму потенціальної енергії за допомогою наближеного виду викривленої поверхні (метод Ритца–Тимошенко).

Критична сила залежить від пружних властивостей матеріалу, розмірів пластинки, товщини та умов закріплення її по краях:

$$N_{cr} = \frac{k \pi^2 D}{b^2}, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який залежить тільки від  $\alpha$  тавідношення довжини сторін пластинки  $\mu = \frac{a}{b}$ ;

$D$  – циліндрична жорсткість пластинки;

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона;

$a$  та  $b$  – довжина та ширина пластинки.

Відповідно критичні напруження дорівнюватимуть

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{bt} = \frac{k \pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2. \quad (3)$$

Для того, щоб місцева стійкість не обмежувала несучої здатності елемента, напруження, що діють в пластинці, не повинні перевищувати  $\sigma_{cr}$ .

Для згинальних елементів відповідно критичний згинальний момент буде:

$$M_{cr} = \sigma_{cr} W, \quad (4)$$

де  $W$  – момент опору зведеного перерізу.

Найефективніше рішення для розглянутого класу задач дає енергетичний метод. У цьому методі припускається, що пластинка, яка завантажена силами, які діють в її серединній площині, має невеликий поперечний згин. Такий згин може виникнути без поздовжніх деформацій серединної площини, при цьому потрібно розглядати тільки енергію згину та відповідну роботу, яка виконується силами, що діють у серединній площині [1].

Отже, якщо  $V$  означає роботу внутрішніх сил при викривленні пластинки, а  $T\chi$  – роботу зовнішніх сил на переміщеннях ( $\chi$  – власне значення параметра критичного навантаження), що відповідає викривленню, то умова екстремуму має такий вигляд:

$$V - \chi T = 0. \quad (5)$$

Величина  $V-T$  являє собою приріст потенційної енергії системи за відхилення від початкової площини. За стійкої потенційної енергії має мінімум, тобто  $V-T > 0$ ; за нестійкої рівноваги досягається максимум потенційної енергії, тобто  $V-T < 0$ ; критичне положення знаходиться на межі обох нерівностей.

Звідси

$$V - T = 0.$$

Для прямокутної пластинки роботу внутрішніх сил можна записати у вигляді

$$V = \iint_{\Omega} \left\{ \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\varepsilon) \left[ \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} - \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy, \quad (6)$$

де  $\Omega$  – область інтегрування (прямокутник із сторонами  $a$  і  $b$ ).

Робота зовнішніх сил за дії трьох чинників дорівнює

$$T = \iint_{\Omega} t \left[ \frac{\sigma}{2} \left( 1 - \frac{\alpha y}{b} \right) \left( \frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + \frac{p(x, y)}{2} \left( \frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + \tau \frac{\partial \omega}{\partial x} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} \right] dx dy. \quad (7)$$

Для сталезалізобетонних конструкцій загалом та із зовнішнім листовим армуванням зокрема проблема місцевої стійкості сталевих стінок є доволі актуальною. Методики щодо її розрахунку в нашій країні не існує, тому були розглянуті існуючі методики розрахунку сталевих стінок загалом. У розрахунках на стійкість сталевих листів прийнято представляти його як пластинку, що розташована між поясами і сусідніми поперечними основними ребрами жорсткості.

1. Броуде Б.М. Устойчивость пластинок в элементах стальных конструкций. – М.: Издательство и типография Машиностроиздата в Ленинграде, 1949. – 240 с. 2. Клименко Ф.Е. Сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием. – К.: Будівельник, 1984. – 88 с. 3. Сколибод О.В. Сталезалізобетонні балки із зовнішнім листовим армуванням // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее: Сборник докладов VIII Украинской научно-технической конференции. – Часть 2. – К.: Изд-во „Сталь”, 2004. – С. 21–28. 4. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: Монографія / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко. – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 312 с. 5. Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Проектування й будівництво сталезалізобетонних конструкцій в незнімній опалубці // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону». – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 750–758.

УДК 666.972

Б.В. Федунь, Н.І. Топилко, О.Р. Позняк, Я.В. Топилко\*

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автомобільних шляхів,

\*ВАТ “Львівський завод залізобетонних виробів №2”,  
відділ технічного контролю

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНИХ ДОДАТКІВ-МОДИФІКАТОРІВ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ

© Федунь Б.В., Топилко Н. І., Позняк О.Р., Топилко Я.В., 2009

**Встановлено кількісний технологічний і економічний позитивний ефект від використання комплексного додатка-модифікатора у промисловому виробництві тонкостінних залізобетонних виробів.**

**The quantitative technological and economic positive effect from making use of the complex modifying admixture in the industrial manufacture of thin ferroconcrete products is determined.**

**Вступ.** У сучасних умовах виникає гостра необхідність у раціональному використанні компонентів бетонної суміші, особливо в'язучої речовини – портландцементу. Ефективним методом економії цементу, покращання властивостей бетонної суміші та бетону є застосування хімічних додатків. Сьогодні у багатьох промислово розвинених країнах частка бетону, який укладається із застосуванням хімічних додатків, досягає 90–100 % [1].