

УДК 624.074:[624.012.4+624.014.2]

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ЗОВНІШНІМ АРМУВАННЯМ

*д.т.н, проф. Стороженко Л.І., к.т.н. Мурза С.О.,
к.т.н., доц. Муравльов В.В., Школяр Ф.С.*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
м. Полтава, Україна*

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 при будівництві згинальних і стиснутих конструкцій, плит, їх застосовують при зведенні різноманітних споруд.

Сталезалізобетонні конструкції мають багато переваг, основна з них – це відсутність опалубки, можливість виготовляти комплексні конструкції, в яких сумісно працюють залізобетон та сталеві профілі. При дослідженні та будівництві таких конструкцій важливим стає фактор стійкості. Значення розрахунку на стійкість для вказаних конструкцій в загальному циклі розрахунків на міцність та жорсткість істотно зросло, оскільки руйнування сталезалізобетонних конструкцій часто пов'язане з втратою загальної стійкості або їх окремих конструктивних елементів.

Аналіз останніх досліджень. Сталезалізобетонні конструкції надзвичайно різноманітні: це колони, балки й ригелі, плити покриттів і перекриттів, просторові конструкції. Вони застосовуються при будівництві згинальних і стиснутих конструкцій, їх використовують при зведенні різноманітних споруд [4]. Застосування сталевих профілів, листової арматури як винесеного армування, в стиснуто-зігнутих конструкціях дозволяє знизити витрати на опалубочні роботи, зменшити вагу конструкції спростити процес зведення колон, монолітних та збірних покриттів будівель і споруд [2].

При виготовленні конструкцій з зовнішнім армуванням необхідно забезпечити стійкість окремих елементів. Втрата стійкості окремих елементів може призвести до зміни розрахункової схеми, що в свою чергу може призвести до руйнування конструкції в цілому.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Використання арматури у вигляді сталевих листів та прокатних профілів, для комплексних конструкцій, дозволяє ефективно їх використовувати при обмежених розмірах перерізу. Ці конструкції мають суттєві переваги при проектуванні та будівництві різних будівель і споруд [2]. Недостатньо дослідженою є проблема втрати як місцевої стійкості сталевих листів або прокатного профілю, що входить до конструкції так і загальної стійкості стрижневих конструкцій.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є дослідження питання впливу фактора стійкості на роботу сталезалізобетонних конструкцій з зовнішнім армуванням.

Виклад основного матеріалу. Сталезалізобетонні конструкції мають суттєві переваги при проектуванні й будівництві різних будівель та споруд. Але при їх проектуванні виникають питання щодо розмірів поперечного перерізу та способів армування. Невирішені питання стійкості окремих елементів при проектуванні 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 більш широкого розповсюдження конструкцій із винесеним зовнішнім армуванням необхідна розробка відповідної теорії і методів розрахунку на стійкість.

Сталезалізобетонні несучі елементи, і зокрема сталобетонні і трубобетонні, завдяки включенню бетону в сталеву трубу будь-якого поперечного перерізу являють собою особливу сполуку бетону і сталі. У такому комплексному елементі при дії зовнішнього навантаження труба відіграє роль оболонки, завдяки чому в елементі виникає складний напружено-деформований стан і тим самим створюються сприятливі умови для підвищення несучої здатності сталезалізобетонного елемента.

Уже давно відомо, що спільна робота бетонного ядра і труби-оболонки, яка сприяє виникненню так званого ефекту обійми, дає змогу підвищити несучу здатність сталезалізобетонних елементів у 1,5-2 рази порівняно із залізобетонними. На сьогоднішній день у багатьох країнах світу проведені значні експериментальні й теоретичні дослідження несучої здатності і напружено-деформованого стану сталезалізобетонних елементів з урахуванням експлуатаційних та граничних навантажень, а також тривалих процесів, що відбуваються під час експлуатації конструкцій [3].

Застосування трубобетону в несучих конструкціях, як показують результати експериментальних досліджень та практика впровадження, дуже ефективне і відповідає всім вимогам економічності.

У результаті експериментальних досліджень виявлено, що робота трубобетонного елемента в зоні оголовка, яка залежить від ряду факторів (різних способів підсилення і різних схем прикладення навантаження), значно відрізняється від роботи елемента в середній частині. Встановлено, що при передачі навантаження на комплексний переріз у зразках без підсилення розвиток деформацій інтенсивніше протікає в зоні оголовка, першочергова поява ліній Чернова і втрата несучої здатності зразка також проходить у ділянці оголовка [4].

Характерним для трубобетонних конструкцій є можливість зведення комплексного поперечного перерізу до односкладового – сталевого. При цьому виникає можливість використовувати при розрахунках табличні значення коефіцієнта поздовжнього згину φ_e , які містяться у СНиП II-23-81*. У такому випадку розрахункова формула для визначення несучої здатності позациентрово стиснутого сталезалізобетонного елемента з листовим армуванням має вигляд:

$$N = \frac{R_S}{\frac{1}{A_{звед}} + e_0 * \frac{y_{max}}{I_{x(y),звед}}} \quad (1)$$

де $A_{звед}$ – зведена площа поперечного перерізу до площі металу листового армування;

y_{max} – відстань від центру ваги зведеного поперечного перерізу до найбільш розтягнутого волокна;

$I_{x(y),звед}$ – зведений момент інерції поперечного перерізу відносно центральних осей,

$$I_{x(y),звед} = I_{x(y),B} \frac{R_B^*}{R_S} + I_{x(y),S} + I_{x(y),SS} \frac{R_{SS}}{R_S}, \quad (2)$$

де $I_{x(y),B}$, $I_{x(y),S}$, $I_{x(y),SS}$ – моменти інерції бетону, металу листового армування та металу стрижневого армування відповідно до осей центру ваги (X_0 та Y_0) приведеного поперечного перерізу.

При розрахунку на стійкість позацентрово стиснутих сталобетонних конструкцій із листовим армуванням вводиться коефіцієнт поздовжнього згину. Тоді розрахункова формула для визначення несучої здатності гнучких сталобетонних конструкцій із листовим армуванням при позацентровому стисненні буде мати вигляд:

$$\frac{N}{\varphi_e A_{звед}} \leq R_y * \gamma_c \quad (3)$$

Величина коефіцієнта поздовжнього згину φ_e визначається відповідно до СНиП II-23-81* у залежно від розрахункового опору сталі листового армування R_y та приведені гнучкості $\lambda_{звед}$.

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

При вирішенні задач місцевої стійкості вважають, що окремі елементи, з яких складається переріз балки, працюють, як пластинки, що з'єднані між собою шарнірно, пружно або жорстко [5].

Критичну силу втрати стійкості пластини за методикою Б.М. Броуде знаходять використовуючи метод інтегрування диференціального рівняння рівноваги пластинки, що має вигляд:

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

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

Також критичну силу можливо обчислювати за допомогою відшукування максимуму потенціальної енергії за допомогою наближеного виду викривленої поверхні (метод Ритца-Тимошенка).

Паралельно з теоретичними, на даний момент, є методи розрахунково-теоретичного аналізу міцності й стійкості будівельних конструкцій. На сьогодні поширеним є метод кінцевих елементів (МКЕ). Більшість сучасних програм, що використовують МКЕ, вирішують завдання стійкості в припущенні про лінійно пружну роботу матеріалу системи, у той час як у реальних конструкціях у критичному стані по тим або інших причинах, як правило, виникають фізично-нелінійні процеси [1]. Тому такий підхід у багатьох випадках може привести до істотних помилок. При цьому критичне навантаження завищується, що приводить до неправильної оцінки надійності конструкції. Рішення фізично нелінійних завдань із урахуванням геометричної нелінійності за допомогою спеціальних алгоритмів дозволяє одержати результат, що досить адекватно відбиває процес витріщання. Однак такий підхід є досить емним за машинним часом й у ряді випадків приводить до погано обумовлених систем.

Питання стійкості сталезалізобетонних конструкцій є ще більш складною задачею, оскільки до складу таких конструкцій, окрім бетону, входять і листові арматура і прокатні профілі. Таким чином задача вирішення стійкості сталезалізобетонних конструкцій є неоднозначною. В ряді випадків такі конструкції можуть втрачати місцеву стійкість, що призводить до втрати загальної стійкості.

Аналіз дослідження стійкості сталезалізобетонних конструкцій з зовнішнім армуванням показав, що сталеві листи можуть втратити стійкість раніше, ніж відбувається втрата стійкості конструкції в цілому. Втрата стійкості одним із елементів перерізу конструкції (місцева втрата стійкості) та вихід його з роботи різко послаблюють конструкцію, часто роблячи переріз несиметричною, оскільки центр згину при цьому зміщується, елемент починає закручуватись та швидко втрачає стійкість.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Грудев И.Д. Устойчивость стержневых элементов в составе стальных конструкций. – М.: МИК, 2005. – 320 с.
2. Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: Монографія.– Полтава: ПолтНТУ, 2008. –312с.
3. Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Проектування й будівництво сталезалізобетонних конструкцій в незнімній опалубці //Міжвідомчий науково-технічний збірник «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» – вип. 67. – Київ, НДІБК, 2007. – С. 750 -758.5.
4. Стороженко Л.І., Сурдін В.М. Розрахунок трубобетонних конструкцій при короткочасній і тривалій дії навантаження. – К.: Будівельник, 1972. – 132с.
5. Улитин В.В. Физически нелинейный анализ устойчивости конструкций. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 96 с.