

**Експериментальні дослідження гнучких стрижневих
сталезалізобетонних конструкцій**

С. О. Мурза, к.т.н., докторант

*Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, Україна*

Постановка проблеми. Сталезалізобетонні конструкції отримали широке розповсюдження в усьому світі. Уже доведено, що їх раціонально застосовувати для перекриття великих прольотів (плити, балки, ригелі, ферми і т.д.), стійок, які сприймають великі навантаження (колони промислових та цивільних будівель, стояки різного призначення, опори ЛЕП і т.д.), в інженерних спорудах. Поперечні перерізи таких конструкцій можуть бути найрізноманітніші. При використанні сталезалізобетонних конструкцій зменшується маса будівель, дуже часто можна обійтися без опалубки, закладних деталей. Такі конструкції мають багато переваг, основна з них – це відсутність опалубки, можливість виготовляти комплексні конструкції, в яких сумісно працюють залізобетон та сталеві профілі.

Аналіз останніх досліджень.

Використання у якості арматури в стиснуто-зігнутих конструкціях сталевих листів дозволяє 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 в процесі експлуатації менш актуальне, а то і зовсім відсутнє. Листове армування виключає застосування багаторядного розташування арматури, що дозволяє економити сталь та значно спрощує процес бетонування. Відкрита частина листової арматури дозволяє спростити конструктивні рішення по підсиленню сталезалізобетонних конструкцій при збільшенні корисного навантаження, а також використовувати листову арматуру в якості закладних деталей стиків, різних комунікацій і обладнання.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Зовнішня арматура у вигляді сталевих листів дозволяє ефективно використовувати залізобетонні конструкції з великим відсотком армування при обмежених розмірах перерізу. Ці конструкції мають суттєві

переваги при проектуванні та будівництві різних будівель і споруд. Результатами багатьох дослідів встановлено, що в момент вичерпання несучої здатності сталобетонні конструктивні елементи не руйнуються крихко, на відміну від залізобетонних. Конструктивна форма сталевих армувань по-різному впливає на механізм досягнення граничного стану несучим елементом який виконано зі сталобетону.

Формулювання цілей статті. Метою статті є проаналізувати експериментальні дослідження стрижневих сталезалізобетонних конструкцій з листовою арматурою в залежності від ексцентриситету прикладення навантаження.

Виклад основного матеріалу.

На підставі проведеного огляду праць та при розробці програми експериментів було поставлено завдання експериментально визначити міцність та особливості роботи під навантаженням стиснених стрижневих елементів з листовим армуванням, отримати характерні параметри напружено-деформованого стану для подальшого їх аналізу щодо стійкості даного класу конструкцій. Для експериментальних досліджень використані сталобетонні стійки висотою 1000 мм, а також з однаковим повздовжнім армуванням, заповнені важким бетоном.

Для виготовлення експериментальних зразків використовувався сталевий лист $t=4$ мм, поперечна арматура класу А-І $\varnothing 6$ мм, повздовжня арматура відсутня. Висота зразків складала 1000 мм, переріз 100×100 мм. Для виявлення ефективності роботи сталезалізобетонних елементів випробовувались зразки зі сталі без бетону таких же розмірів. Для визначення фізико-механічних властивостей бетонного заповнювача випробовувались стандартні бетонні куби $150 \times 150 \times 150$ мм і призми $150 \times 150 \times 600$ мм, виготовлені із того ж бетону, що і дослідні зразки.

Виходячи з поставленої задачі, для проведення експерименту були розроблені поперечні перерізи дослідних зразків та схема їх армування. Задачею експериментальних досліджень стало визначення особливостей роботи під навантаженням та характер втрати несучої здатності сталезалізобетонних зразків із зовнішнім армуванням сталевими листами залежно від ексцентриситету прикладання зусиль, а також порівняти особливості роботи центрально стиснутих елементів заповнених і незаповнених бетоном. Конструкції експериментальних зразків показано на рисунку 1.

Експериментальні зразки сталезалізобетонних стрижневих конструкцій складаються із поздовжньої листової арматури, поперечних арматурних стержнів, торцевих металевих пластин, траверс і заповнювача (бетону). Торцеві пластини та поперечні стержні з'єднують між собою

поздовжню стрічкову арматуру, яка виконує одночасно функцію опалубки. Поперечна арматура із стержнів приварюється на відстані 100 мм одна від одної. Під час бетонування зварені у вигляді короба листи з'єднані між собою за допомогою стержнів, вкладались на підготовлену поверхню і заповнюються бетоном у горизонтальному положенні. Ущільнення бетонної суміші виконувалось за допомогою вібраторів. Приготування бетону проводилось на заводському бетонному вузлі. Зварні з'єднання виконувались напівавтоматичним електродуговим зварюванням.

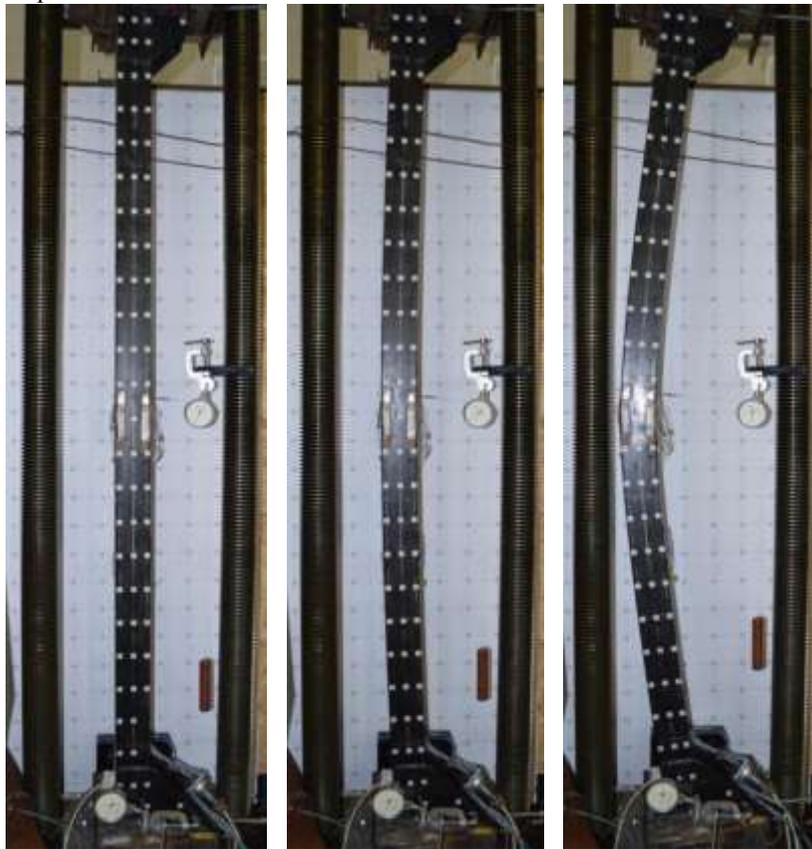


Рис. 1. Загальний вигляд зразків під дією навантаження

Стержні поперечної арматури були приварені перпендикулярно до листової арматури напівавтоматичним зварюванням. Поперечні стержні розміщувались паралельно двома рядами з мінімальним захисним

шаром. Елементи заповнювались бетоном в горизонтальному положенні на вібростолах. Час вібрування для сталезалізобетонних і бетонних зразків $T = 5-10$ секунд. Перші 5 – 28 діб відкриті поверхні бетону експериментальних зразків зволожувались та покривалися шаром тирси для утримання вологи, після чого зразки зберігались до випробування в лабораторних умовах. Температура в приміщенні, де виготовлялись і зберігались експериментальні зразки дорівнювала $T = 15 - 17$ $^{\circ}\text{C}$ та відносна вологість повітря 70 – 75 %. Після бетонування зразки були пофарбовані за два рази лакофарбовим покриттям для спостереження появи ліній Чернова.

Випробування зразків проводилось у віці 28 діб і більше. Завантаження ступінчасте (0,05 – 0,1) від N руйнуючого. Навантаження прикладалося через ножові шарніри. Поздовжні деформації вимірювались за допомогою електротензорезисторів на всіх ступенях завантаження. Витримка на кожній ступені складала 5 – 10 хв., необхідна для зняття відліків (рис. 1.).

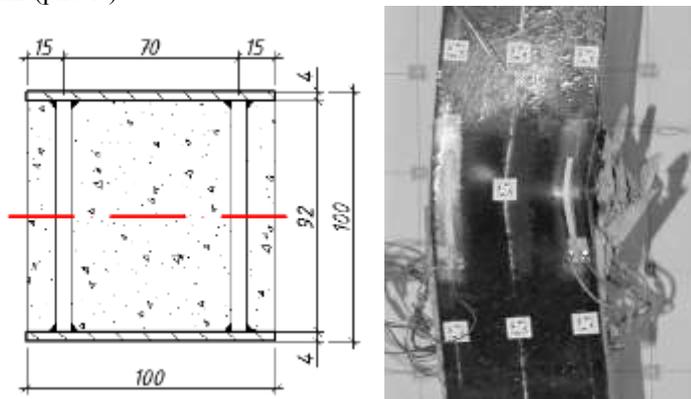


Рис. 2. Характер руйнування дослідних зразків

Для визначення даних щодо кутів повороту та положення деформованої осі елементів було використано фотограмметричний метод. При використанні фотограмметричного методу [3] на бокову поверхню дослідних конструкцій були наклеєні маркувальні знаки розмірами 1,5х1,5см [1] (рис. 1.2). Фотографування виконувалося на кожному ступеню навантаження камерою марки Nikon, модель D3200, спусковий затвор якої активувався автоматично з ПК. Такий спосіб дає можливість отримати точні дані переміщення маркувального знака, виключаючи випадкові переміщення камери та всіх складових фотограмметричної зйомки (рис.1.). Для можливості врахування елементів зовнішнього орієнтування було застосовано стенд з нанесеною контрольною

сіткою розташований за конструкцією. Координатні горизонтальні та вертикальні лінії сітки надруковані з кроком 10 см перетинались у точках на перехресті яких знаходилися контрольні маркувальні знаки розмірами 1,5x1,5 см.

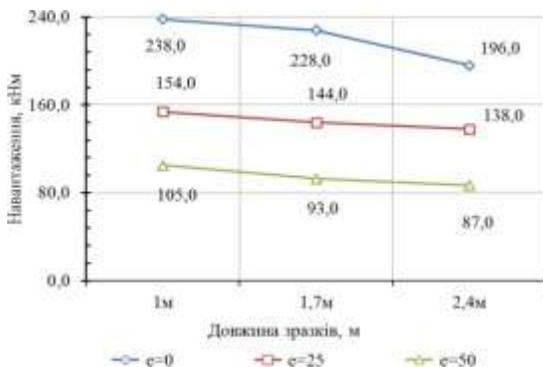


Рис. 3. Значення зусилля, що відповідає моменту досягнення найбільш напруженим волокном листового армування межі плинності сталі

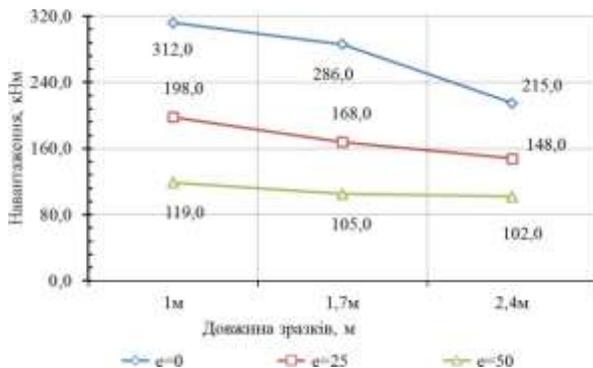


Рис. 4. Значення руйнуючого зусилля дослідних зразків в залежності від їх висоти і ексцентриситету

Характер руйнування сталебетонних елементів з листовим армуванням спостерігався, коли поздовжні деформації дорівнювали межі плинності металу ($\varepsilon=200..300$), на лакофарбовому покритті утворювалась сітка у вигляді ліній Чернова. На поверхні бетону, вільної від листового армування, мікротріщини об'єднувались у макротріщини. Напрямок цих тріщин збігається з поздовжньою віссю дослідного зразка.

Далі відбувалося випучування листового армування внаслідок тиску бетону в поперечному напрямку з утворенням гофр перпендикулярно до поздовжньої осі, на ділянці між сусідніми рядами поперечних хомутів (рис.2.). Збільшення навантаження призводило до руйнування, шляхом розриву хомутів та порушення моноліту бетону. Бетон виколывався і випадав у бік, вільний від листового армування. Загальним для всіх зразків є те, що під дією навантаження відбувалося викривлення поздовжньої вісі елемента. Це призводило до нерівномірного розподілу поздовжніх деформацій у листовому армуванні, й відповідно, гофри утворювались із боку, протилежному напрямку вигину. Установлено, що характер руйнування коротких позцентрово стиснутих сталобетонних елементів із листовим армуванням залежить від величини ексцентриситету.

Висновок. Все вищезазначене свідчить про те, що руйнування сталобетонних елементів з листовим армуванням відбувається не крихко, як у залізобетонних елементах, а навпаки, коли навантаження досягає певного рівня, у листовому армуванні досягається межа плинності металу, починається пластичне руйнування без зменшення рівня завантаження. Результати дослідження показали, що для позцентрово стиснутих елементів в якості граничного приймаємо два зусилля (рис. 3, 4): перше граничне зусилля відповідає моменту досягнення найбільш напруженим волокном листового армування межі плинності сталі; друге – момент руйнування дослідного зразка, при якому спостерігається інтенсивне викривлення поздовжньої вісі.

Література

1. Єрмоленко Д.А. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів: Монографія // Д. А. Єрмоленко – Полтава: Видавець Шевченко Р.В., 2012. –316 с.
2. Gasii G. M. Study of behavior of flexible rods as a part of the steel and concrete composite cable space frame / G. M. Gasii // Construction, materials science, mechanical engineering. Series: Innovative lifecycle technology of housing and civil, industrial and transportation purposes. – Dnipro, 2017. – № 100. – Р. 64–69.
3. Клименко Ф.Е. Сталобетонные конструкции с внешним поперечным армированием. – К.: Будівельник, 1984. – 88 с.
4. Стороженко Л. І., Експериментальні дослідження деформацій

стиснутого трубобетону із застосуванням фотограмметричного методу [Текст] / Л. І. Стороженко, Д. А. Єрмоленко, Ю. В. Третякова // Ресурсоекономні матеріали, їх властивості та технології виготовлення : зб. наук. праць. . – Р. : НУВГП, 2011. – Вип. 22 – С. 499–504.

5. Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: Монографія.– Полтава: ПолтНТУ, 2008. –312с.

6. Стороженко Л.І., Семко О.В. Пенц В.Ф. Сталезалізобетонні конструкції. – Полтава:ПНТУ, 2005. – 182 с.

7. Gasii G. Constructive concept of composite structures for construction including geological specifics / G. Gasii, O. Zabolotskyi // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. – Czestochowa: Wydawnictwo Politechniki Czestochowskiej, 2017. – vol. 20. – № 2. – P. 37–42.

8. Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Магас Н.М. Експериментальні дослідження конструкцій, виготовлених в незнімній опалубці //Зб. «Коммунальное хозяйство городов». – Харків: «Техніка», 2009. – С.44-49.

9. M. Arnould , M. Virlogeux. – Le beton leger.– Presses de l Ecole Nationale des ponts et chacessees. Paris: – 1996, p. 43 –70.

10. Чихладзе Э. Д., Арсланханов А. Д. Расчет сталебетонных элементов на прочность при изгибе и внецентренном сжатии / Известия вузов. Строительство. Архитектура. – 1996. – № 1. – с. 6 – 11.

11. Gasii G. M. Connections systems of the composite cable space frame / G. M. Gasii // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – Т. 22. – № 1. – С. 5– 10.

12. Стороженко Л. І. Методика експериментального дослідження великогабаритного зразка просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2017. – № 2 (49). – С. 270–276.

13. Gasii G. M. The methodology and results of experimental investigations of steel and concrete composite cable space frame on effect short-term loading / G. M. Gasii / Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. – 2017. – № 877. – С. 241–246.