

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ СТАЛЕВИХ СТІЮК ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

У статті наведено результати експериментального дослідження позацентрово стиснутих сталевих стійок змінного за довжиною перерізу. Проведено порівняння із даними теоретичних досліджень.

**Ключові слова:** змінний переріз, експеримент, позацентровий стиск, сталіні колони, стійкість, несуча здатність.

**Вступ.** Одним із шляхів зменшення металомісткості конструкцій є застосування елементів змінного по довжині перерізу. Їх основні переваги – оптимальне використання несучої здатності матеріалу по довжині елемента, і відповідно зменшення маси конструкцій у порівнянні з елементами постійного перерізу. Такі конструкції добре себе зарекомендували в практиці зарубіжних проектувальників та вітчизняних інженерів, отримали значне розповсюдження та вважаються досить перспективними [1, 2].

Разом із тим у вітчизняних нормах відсутні рекомендації по проектуванню елементів змінного по довжині перерізу, які б враховували специфічні особливості їх конструктивних рішень та дійсну роботу під навантаженням.

Розрахунок та проектування конструкцій з елементів змінного по довжині перерізу є теоретично складною та малодослідженою задачею.

**Огляд останніх джерел досліджень та публікацій.** Відносно невелику кількість робіт у вітчизняній та зарубіжній літературі присвячено дослідженню несучої здатності позацентрово стиснутих стержнів змінного по довжині перерізу.

В Україні стиснутим елементам змінного перерізу присвячені, зокрема, дослідження С. І. Білика. У наукових роботах [3, 4] для дослідження стійкості рам з елементів змінного перерізу використано метод початкових параметрів та метод переміщень при розміщенні місцевих координат стержнів рами в центрі ваги найбільшого перерізу, розвинуто підхід щодо визначення коефіцієнтів розрахункової довжини стійок рам при змінній висоті перерізу на базі аналітичного визначення пружності защемлення стійки рами при втраті стійкості.

Стосовно стержнів змінного перерізу як елементів (стійок) рамних каркасів цікавість представляє монографія В. В. Катюшина [2]. Робота охоплює широке коло питань. Розглянуто проектування каркасів будівель та споруд із застосуванням сталевих рам із зварних двотаврів змінного перерізу. Наведені розрахунки елементів каркасу із врахуванням особливостей роботи конструкцій змінного перерізу.

Необхідно зазначити, що значна частина досліджень стержнів змінного перерізу виконується по спрощеній схемі, коли елемент умовно розбивається на окремі ділянки постійного перерізу, що дозволяє проводити розрахунок за допомогою стандартних програм для ЕОМ, які орієнтовані на використання метода скінченних елементів.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Для теоретичного дослідження роботи подібних елементів необхідно застосування чисельних методів, які дозволять врахувати дійсну форму згину осі елемента, фізичну нелінійність матеріалу, різні умови спирання кінців стержня тощо.

Автори розробили такий метод та провели чисельні дослідження позацентрово стиснутих стержнів змінного перерізу [5, 6, 7]. Необхідно експериментально підтвердити правильність розробленого метода та можливість його використання для розрахунку таких елементів.

**Постановка завдання.** Провести експериментальне дослідження позацентрово стиснутих сталевих стійок змінного перерізу та співставити результати із даними чисельних досліджень з метою оцінки достовірності теоретичних розробок.

**Основний матеріал і результати.** Експериментальна перевірка результатів теоретичного розрахунку позацентрово стиснутих стержнів проводилась у гідравлічному пресі із моделюванням відповідних граничних умов. Подібний вибір пояснюється тим, що поведінка стиснутого стержня при дослідженні його у пресі відповідає роботі окремого елемента у складі статично невизначної системи.

Метою експериментальних досліджень було визначення граничних навантажень позацентрово стиснутих стержнів із несиметричними умовами спирання кінців та вивчення поведінки елементів в області висхідної гілки кривої рівноважних станів.

У відповідності до поставленої мети розв'язувались наступні задачі:

– отримання діаграм стиску «навантаження – зближення опор», «навантаження – відносні фіброві деформації у перерізах» та діаграм прогинів у площині згину для шарнірно опертих стержнів, стиснутих із різними кінцевими ексцентриситетами;

– визначення граничних навантажень та перевірка достовірності теоретичних досліджень.

Для дослідження були виготовлені стержні зі зварних двотаврів № 15 зі змінною шириною полиць (рис. 1). Гнучкості у площині найменшої жорсткості перерізу приблизно 80, 100, 120, що практично охоплює діапазон найбільш поширених гнучкостей позацентрово стиснутих елементів сталевих конструкцій.



**Рисунок 1 – Загальний вигляд випробуваного стержня у пресі**



**Рисунок 2 – Погини стержнів після випробування**

На кінцях стержнів приварювались опорні плити товщиною 11.5 мм. Для рівномірної передачі тиску торці стержнів фрезерувались, а плити, які до них примикають були зістругані.

Для кожного стержня встановлювались механічні характеристики шляхом випробування на розтяг коротких струганих зразків довжиною 200 мм.

Всього було випробувано шість стержнів двотаврового перерізу.

Для забезпечення шарнірного спирання у площині згину стержня використовувались ножові опори; у перпендикулярному напрямку стержні мали жорстке спирання. Ножові опори, оснащені призмами із загартованої сталі, встановлювались по центру плунжера та рухомої траверси преса. Розрахункова довжина приймалась як відстань між «ножами» опорних пристроїв. Опорні плити закріплювались у спеціальних опорних башмаках, обладнаних встановлювальними гвинтами, за допомогою яких встановлювались необхідні значення кінцевого ексцентриситету.

Поздовжнє навантаження прикладувалось у площині найменшої жорсткості перерізу, що забезпечувало плоску форму згину стержня у ході випробування.

З метою оцінки надійності розробленої методики чисельного дослідження стійкості позацентрово стиснутих колон змінного за висотою перерізу було проведено співставлення результатів теоретичних досліджень з даними експерименту.

На рис. 3 представлені експериментальні та теоретичні діаграми рівноважних станів «навантаження – зближення опор» та «навантаження – кут повороту», відповідно, для деяких стержнів.

Експериментальні криві побудовані у безрозмірних параметрах за результатами обробки даних експерименту на ЕОМ. За базові величини приймалися висота перерізу стержня, межа текучості та модуль пружності двотавра. При цьому враховувались дійсні механічні характеристики та геометричні параметри кожного стержня.

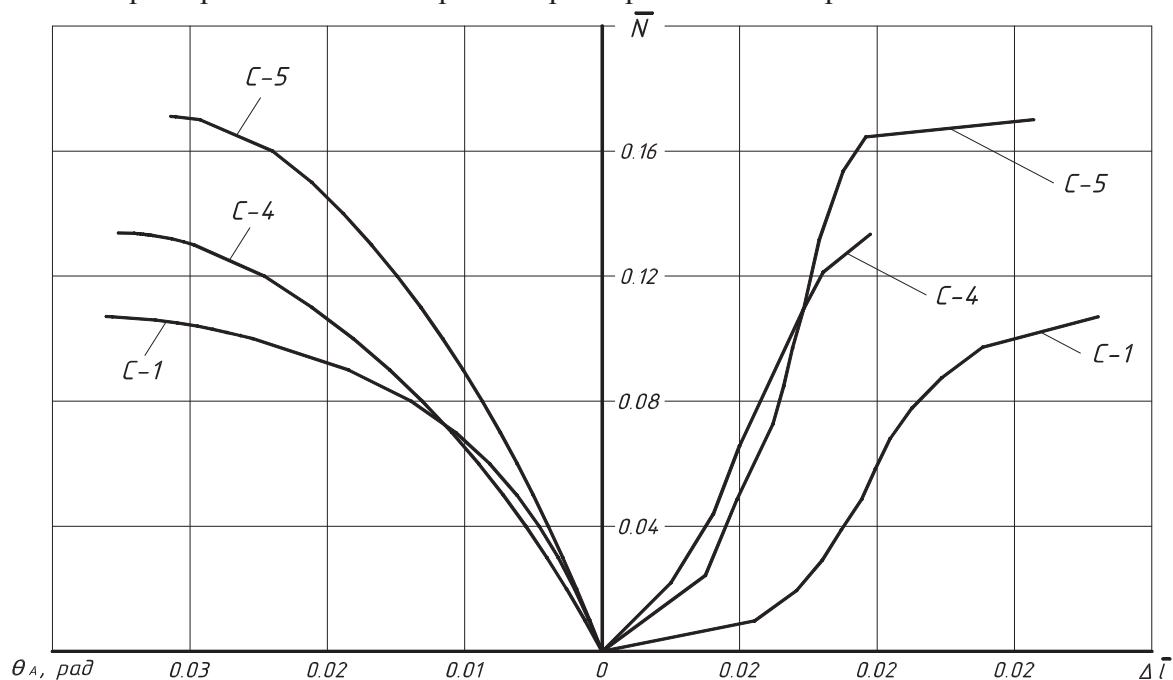


Рисунок 3 – Діаграми позацентрового стиску стержнів

Теоретичні діаграми рівноважних станів були отримані за допомогою програми чисельного дослідження несучої здатності позацентрово стиснутих стержнів змінного за довжиною перерізу, складеної за допомогою розробленої вище методики. У програмі враховувалась дійсна форма згину осі стержня, фактична діаграма роботи матеріалу тощо.

На рис. 4, 5 показані теоретичні значення прогинів осі стержнів С-1 та С-5 по перерізах для порівняння їх із результатами експериментальних досліджень.

З аналізу результатів випробування випливає, що в основному різниця між експериментальними та теоретичними даними складає не більше 5 %.

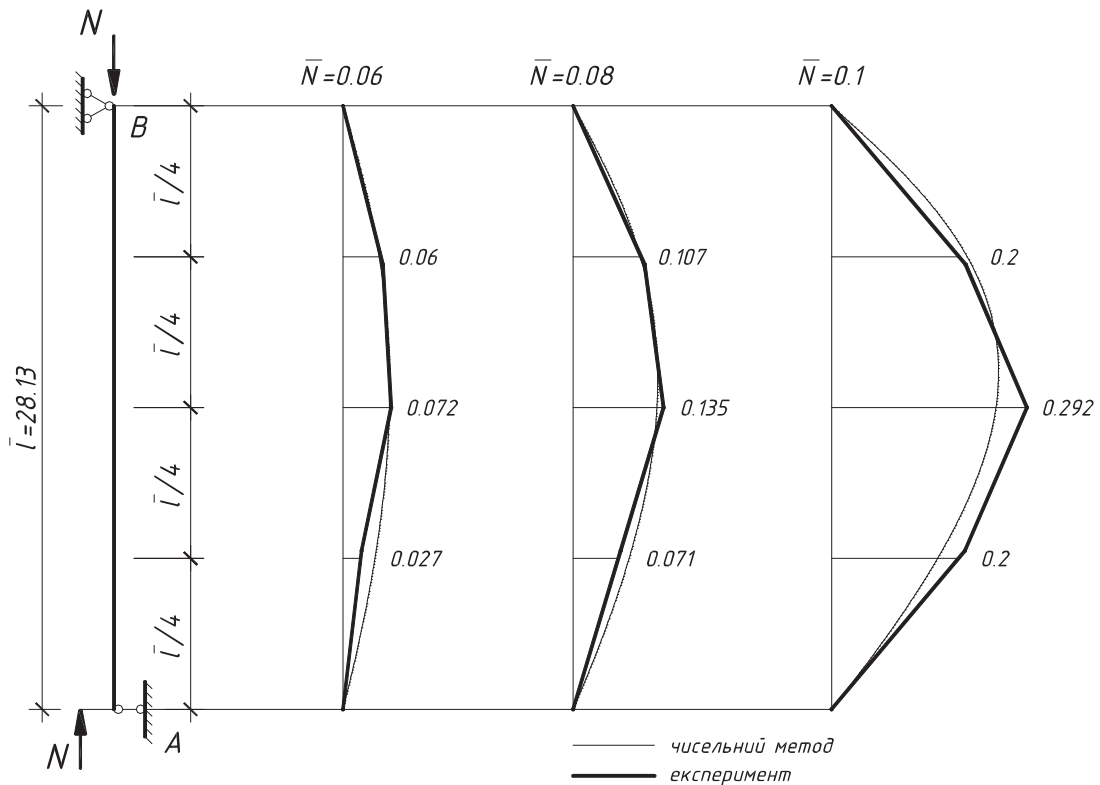


Рисунок 4 – Графіки переміщення зігнутої осі стержня С-1

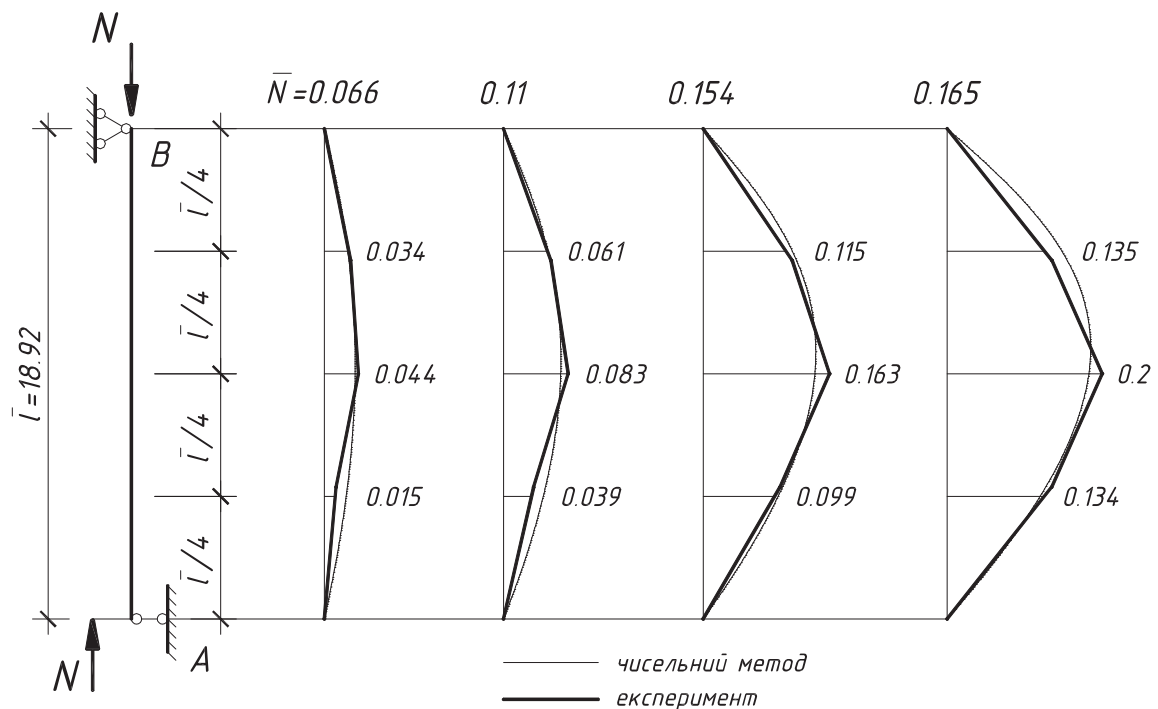


Рисунок 5 – Графіки переміщення зігнутої осі стержня С-5

Таким чином отримані результати експериментальних та теоретичних досліджень узгоджуються між собою.

**Висновок.** Розроблена методика чисельного дослідження достатньо точно описує дійсну роботу позациентрово стиснутих стержнів змінного за довжиною перерізу.

#### Література

1. Білик С. І. Раціональні сталеві двотаврові балки зі змінною висотою стінки / С. І. Білик // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : сб. наук. праць / МОН України, НУВГП. — Рівне, 2008. — Вип. 17. — С. 73–78.

2. Катюшин В. В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство). — М.: ОАО «Издательство „Стройиздат“», 2005. — 656 с.: ил.
3. Білик С. І. Методика розрахунку на стійкість сталевих рам із двотаврів зі змінною висотою стінки // Будівельні конструкції. Міжвід. наук. зб. Вип. 61, Т. 1. — К.: ДНДІ БК, 2004. — С. 244–249.
4. Білик С. І. Вплив пружної основи на стійкість сталевих колон рам із параболічним законом зміни жорсткості перерізу // Будівельні конструкції. Міжвід. наук. зб. Вип. 75. — К.: ДНДІ БК, 2005. — С. 173–178.
5. Трусов Г. М., Рубан В. П. Методика чисельного дослідження несучої здатності позацентрово стиснутих елементів металевих конструкцій змінного по довжині перерізу // Зб. наук. ст. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. Вип. 9. — Кривий Ріг: КТУ, 2011. — С. 214–218.
6. Трусов Г. М., Рубан В. П. Численное исследование несущей способности стоек рам переменного по длине сечения // Новые идеи нового века — 2013: материалы Тринадцатой Международной научной конференции: в 3 т. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. — т. 2, с. 457–462.
7. Трусов Г. М., Рубан В. П. Розрахунок позацентрово стиснутих сталевих елементів змінного по довжині перерізу // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) — «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону». — Випуск 78: в 2-х кн.: книга 2. — К., ДП НДІБК, 2013, с. 10–14.

Г. Н. Трусов, к. т. н., доцент  
В. П. Рубан, аспирант

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ СТАЛЬНЫХ СТОЕК ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

В статье приведены результаты экспериментального исследования внецентренно сжатых стальных стоек переменного сечения. Проведено сравнение данных теоретического (численного) и экспериментального исследований.

**Ключевые слова:** переменное сечение, эксперимент, стальные колонны, внецентренное сжатие, устойчивость, несущая способность.

G. Trusov, PhD  
V. Ruban, postgraduate student  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE STABILITY OF THE ECCENTRICALLY LOADED STEEL COLUMNS WITH VARIABLE CROSS-SECTION

*Abstract.* The article provides experimental research of bearing ability of eccentrically loaded steel columns with variable cross-section. There is shown the comparison between the results of experimental and numerical research.

**Keywords:** variable cross-section, beam-column, stability, eccentrically loaded steel columns, experiment, bearing ability.

Надійшла до редакції 03.10.2014  
© Г. М. Трусов, В. П. Рубан