

УДК 624.046.2

*О.В. Семко, д. т. н., проф.  
О.П. Воскобійник, к. т. н., с.н.с.  
А.О. Пойда, асп.*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТА КУТА НАХИЛУ НЕЙТРАЛЬНОЇ ЛІНІЇ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ КОСОМУ ЗГИНІ**

*Розглянуто різні підходи до визначення положення та кута нахилу нейтральної лінії сталезалізобетонних балкових конструкцій, що працюють на косе згинання.*

**Ключові слова:** сталезалізобетонні балки, геометричні характеристики, приведений переріз, косий згин.

**Вступ.** Перспективним напрямом у будівництві сьогодні є проектування ефективних конструкцій з мінімальною затратою будівельних матеріалів, часу на їх виготовлення та монтаж, а також забезпечення їх надійної роботи протягом усього періоду експлуатації. До таких конструкцій можна віднести сталезалізобетонні балки різних форм перерізу із жорстким та листовим армуванням. Проте існує необхідність більш детального вивчення параметрів напружено-деформованого стану і характеру руйнування сталезалізобетонних конструкцій та створення нових, досконаліших методів їх розрахунку.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Проблемі розрахунку залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах косоного згину, присвячено численні наукові дослідження, започатковані М.С. Торяником та продовжені в роботах П.Ф. Вахненка, А.М. Павлікова, О.В. Семка, О.В. Зернюк та інших [1 – 5]. Над розв'язанням проблеми вдосконалення методів розрахунку сталезалізобетонних конструкцій також працює цілий ряд фахівців: Л.І. Стороженко, О.П. Воскобійник, В.Ф. Пенц [6 – 9].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Унаслідок широкого використання в будівництві сталезалізобетонних конструкцій, досить часто доводиться виконувати розрахунки різного роду конструкцій, що працюють на складні види деформацій. Урахування особливостей дійсної роботи та напружено-деформованого стану при проектуванні сталезалізобетонних будівельних конструкцій є актуальною проблемою, що потребує розв'язання.

**Постановка завдання.** Проведення аналізу теоретичних та експериментальних залежностей положення та кута нахилу нейтральної лінії.

**Основний матеріал і результати.** На сьогодні питання оцінювання напружено-деформованого стану, міцності, тріщиностійкості, деформативності навскісно зігнутих залізобетонних елементів досліджено досить глибоко, розроблено інженерні методи розрахунку таких елементів, що мають добру збіжність із численними експериментальними даними, а також упроваджено нові прогресивні теорії розрахунку залізобетонних конструкцій, які працюють в умовах косоного згину, з використанням повної та спрощеної діаграми фізичного стану бетону, що дозволяє повною мірою відобразити дійсну роботу таких елементів та гармонізує їх розрахунок з європейськими нормами. Для сталезалізобетону внаслідок наявності бетону та значної, як правило, кількості жорсткої сталевих арматури притаманні характерні риси як сталевих, так і залізобетонних конструкцій, а також має місце утворення нових властивостей, що зумовлено сумісною

роботою бетону та сталі: виникнення об'ємного напруженого стану в бетоні, підвищення місцевої стійкості сталевих листів тощо. Для врахування цих особливостей напружено-деформованого стану сталезалізобетонних елементів при розрахунку їх міцності й деформативності необхідне застосування відповідних передумов розрахунку.

Спрощені методи розрахунку міцності та деформативності сталезалізобетонних стиснутих і згинальних елементів з використанням приведеного перерізу набули в літературі широкого використання. Такий підхід також передбачає приведення площі бетону до сталі  $\alpha = E'_b / E_s = E_b \bar{v} / E_s$ , після чого виконується розрахунок приведеного нормального перерізу за залежностями, аналогічними до застосованих при розрахунку сталевих конструкцій. При цьому, згідно з різними методиками, використовується коефіцієнт приведення, що визначається через співвідношення міцнісних або деформативних характеристик бетону та сталі.

Розглянемо конкретний приклад розрахунку геометричних характеристик приведеного перерізу розповсюдженого типу сталезалізобетонних згинальних елементів, а саме сталезалізобетонних ригелів із зовнішнім листовим армуванням і сталезалізобетонних елементів із жорстким армуванням.

Застосовані для аналізу схеми приведення бетону до сталі для лабораторних моделей зразків сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим та жорстким армуванням наведено на рис. 1.

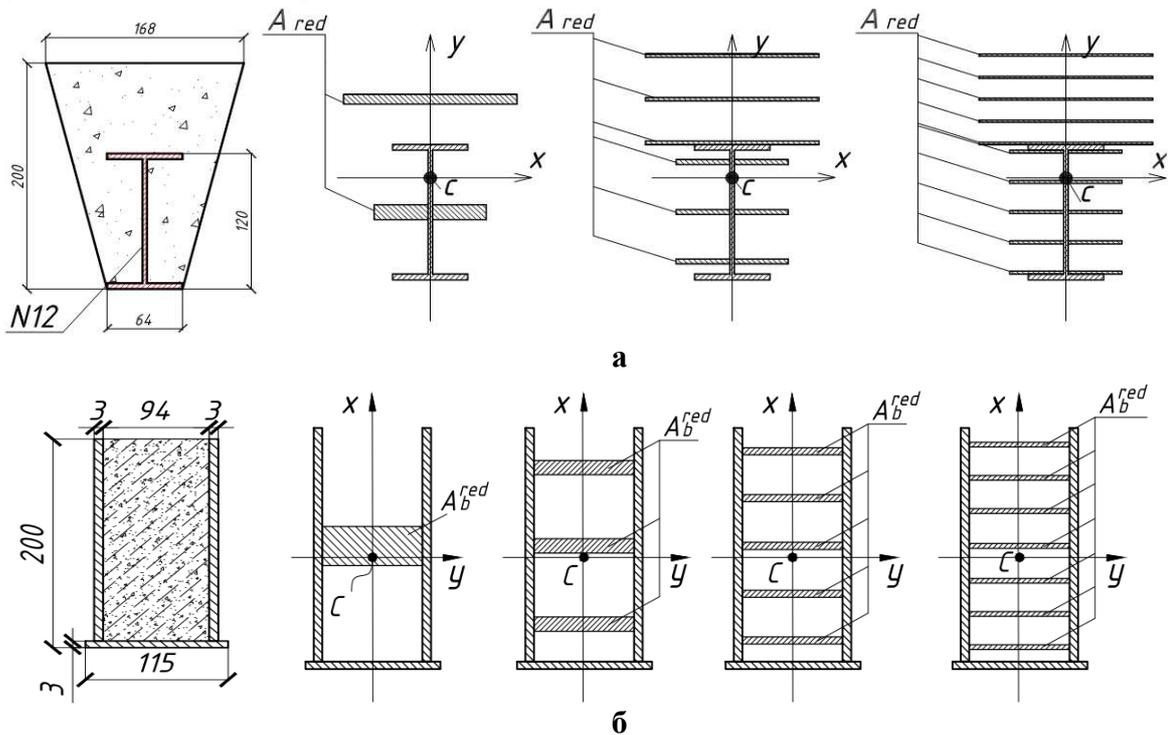


Рисунок 1 – Розрахункові схеми приведеного перерізу: а – трапецієвидний ригель із жорстким армуванням двотавром (серія зразків БТ); б – сталезалізобетонний ригель із зовнішнім листовим армуванням (серія зразків Б-І, Б-ІІ)

У нормах проектування залізобетонних конструкцій при розрахунку на косий згин для попереднього визначення кут  $\beta_{el}$  між віссю  $y$  та прямою, що обмежує стиснуту зону, приймається, як при розрахунку пружного тіла,

$$\operatorname{tg} \beta_{el} = \frac{M_y \cdot I_x}{M_x \cdot I_y}, \quad (1)$$

де  $I_x, I_y$  – моменти інерції перерізу без урахування арматури.

Обчислимо аналогічним чином кут нахилу нейтральної лінії сталезалізобетонного ригеля при косому згині, використовуючи при цьому відому залежність опору матеріалів,

$$tg \beta_{el} = (I_x^{red} / I_y^{red}) tg \alpha, \quad (2)$$

де  $I_x^{red}$ ,  $I_y^{red}$  – моменти інерції приведенного перерізу.

Для кожної схеми приведення було виконано розрахунок згідно з наведеними вище формулами. Проте виконання такого обсягу обчислень не завжди є раціональним, тому отримані результати порівнювалися між собою для визначення найбільш оптимальних форм приведення, при яких за невеликих затрат часу на розрахунки достовірність результатів була б достатньою і мала гарну збіжність із результатами експериментальних даних. Дані, одержані при розрахунках, наведено в таблиці 1

Таблиця 1

Кут нахилу нейтральної лінії  $\beta_{el}$  сталезалізобетонних балок із жорстким та листовим армуванням у пружній стадії роботи

Тип балок	Б-I-1	Б-I-2	Б-II-1	Б-II-2	БТ-1	БТ-2	БТ-4
$\beta_{el}$	17,61°	34,71°	20,56°	42,19°	29,36°	29,36°	47,49°

Для наведених вище сталезалізобетонних ригелів також було виконано ряд експериментальних досліджень [9], у ході яких було проаналізовано дійсну роботу та напружено-деформований стан при дії експлуатаційних рівнів завантаження. Одними з головних параметрів, котрі ставилося за мету одержати, – положення та кут нахилу нейтральної лінії при різних рівнях завантаження. Дані, отримані в ході експериментальних досліджень наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення кута нахилу нейтральної лінії  $\beta_{pl}$  сталезалізобетонних балок із жорстким та листовим армуванням залежно від рівня завантаження

$M / M_u$	Б-I-1	Б-I-2	Б-II-1	Б-II-2	БТ-1	БТ-2	БТ-4
0,3	21,7°	30,8°	20,3°	39,9°	31,1°	30,3°	45,2°
0,5	16°	28,7°	15,8°	43,9°	37,2°	36,2°	48,2°
0,7	17°	30,6°	14°	47,1°	41,1°	42,4°	51°
0,9	18,4°	35,3°	16,7°	48,8°	43°	43,4°	53,4°

Як показує аналіз проведених досліджень, кута нахилу нейтральної лінії  $\beta_{pl}$  залежить від великої кількості факторів: кута нахилу площини дії зовнішніх зусиль, розмірів та форми поперечного перерізу елемента, армування, рівня завантаження й ін. На рис. 2, зокрема, відображено залежність експериментального кута нахилу нейтральної лінії, отриманого при лабораторних дослідженнях  $tg \beta_{pl}$ , до кута нахилу нейтральної лінії в пружній стадії роботи  $tg \beta_{el}$  залежно від рівня завантаження.

Із графіка видно, що для сталезалізобетонних конструкцій зі збільшенням навантаження від 0,3 до 0,7  $M_u$  кут дещо збільшується, а при рівнях завантаження від 0,7 до 0,9  $M_u$  практично не змінюється.

Проаналізувавши експериментальні та теоретичні дані, можна прийти до висновку, що при кутах нахилу 0..15° як таких, які найчастіше зустрічаються, та відношенні  $I_x / I_y$  у межах 1,5..3 можна отримати формулу, що найбільш точно відображає залежність  $tg \beta_{pl}$  від  $tg \beta_{el}$  для сталезалізобетонних елементів із жорстким та листовим армуванням,

$$tg \beta_{pl} = 1,12 tg \beta_{el}, \quad (3)$$

де  $\beta_{el}$  – кут нахилу нейтральної лінії в пружній стадії роботи елемента.

Як показують результати теоретичних досліджень та результати порівняння їх з експериментальними даними, отриману середньоквадратичну залежність досить раціонально використовувати для відображення залежності  $tg \beta_{pl}$  від  $tg \beta_{el}$

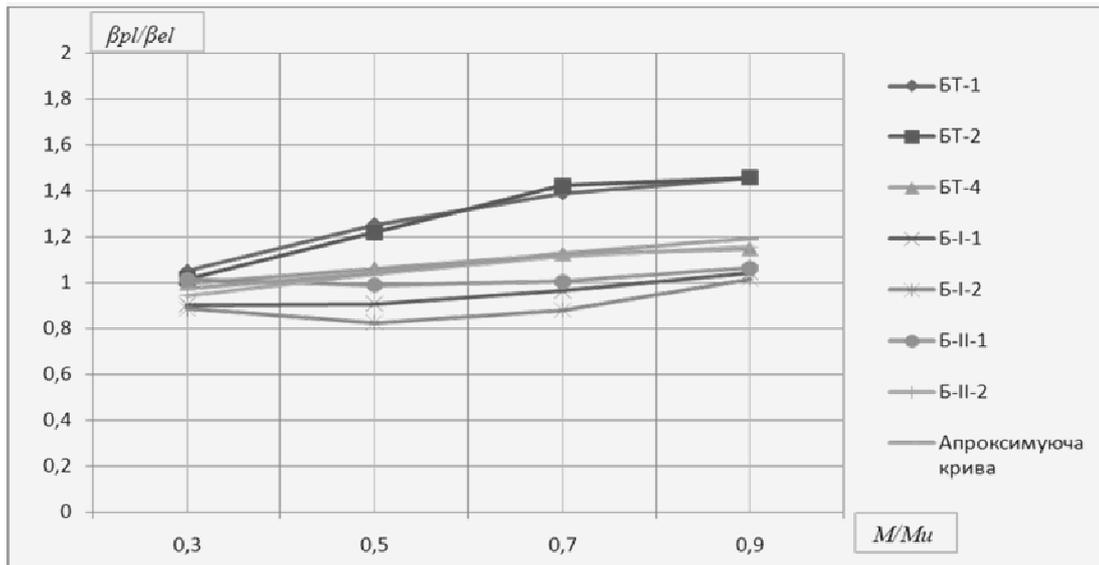


Рисунок 2 – Експериментальна залежність  $tg \beta_{pl} / tg \beta_{el}$  від рівня навантаження

**Висновки.** У статті було проаналізовано теоретичні та експериментальні залежності кута нахилу нейтральної лінії сталезалізобетонних елементів. Було визначено, що існує певна теоретична залежність між дійсним кутом нахилу елемента й кутом нахилу в пружній стадії роботи елемента, який для сталезалізобетонних елементів з різними формами перерізу та армуванням найбільш доцільно визначати за приведеними перерізами. Оскільки сталезалізобетонні конструкції мають досить значний відсоток армування, то, проаналізувавши отриману формулу (3), можна відзначити майже лінійну залежність із незначним збільшенням дійсного кута нахилу нейтральної лінії порівняно з кутом нахилу в пружній стадії, що можна пояснити особливостями армування сталезалізобетонних конструкцій, у яких робоча арматура розташована майже по всій висоті перерізу.

#### Література

1. Торьяник, М.С. Косое внецентренное сжатие и кривой изгиб в железобетоне / М.С. Торьяник / 2-е изд. перераб. и доп.. – К.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре УССР, 1961.– 156 с.
2. Павліков, А. М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косоівантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії [Текст] / А. М. Павліков. – Полтава, 2007. – 258 с.
3. Вахненко, П.Ф. Сучасні методи розрахунку залізобетонних конструкцій на складні види деформацій / П.Ф. Вахненко. – К.: Будівельник, 1992.– 112 с.
4. Семко, А.В. Образование и раскрытие трещин, нормальных к продольной оси косоизгибаемых железобетонных элементов таврового и Г-образного сечения: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Семко Александр Владимирович. – Полтава, 1988. – 181 с.
5. Зернюк, Е.В. Напряженно-деформированное состояние косоизгибаемых железобетонных элементов таврового профиля при действии эксплуатационных уровней загрузки: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Зернюк Елена Вячеславовна. – Полтава, 1997. – 181 с.

6. Семко, О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст]: монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 514 с.
7. Стороженко, Л. І. Згинальні залізобетонні елементи, армовані сталевими листами [Текст] / Л. І. Стороженко, О. В. Семко, О.В. Сколибод // Будівельні конструкції. – Вип. 59, кн. 2. – К.: НДІБК, 2003. – С. 31 – 39.
8. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні конструкції: навч. посібник / Л.І. Стороженко, О.В. Семко, В.Ф. Пенц . – Полтава, 2005. – 181 с.
9. Воскобійник, О.П. Експериментальні дослідження косозігнутих залізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням [Текст] / О.П. Воскобійник, А.О. Пойда, Є.О. Мирошниченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Вип. 22. – Рівне:НУВГП, 2011. – С. 226 – 234.
10. ДБН В.2.6-98-2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.– К.: Мінрегіонбуд України, 2009.–101 с.

*А.В. Семко, д. т. н., проф., Е.П. Воскобойник, к. т. н., с.н.с., А.А. Пойда, асп.  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И УГЛА НАКЛОНА НЕЙТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ КОСОМ ИЗГИБЕ**

*Рассмотрены различные подходы к определению положения и угла наклона нейтральной линии сталежелезобетонных балочных конструкций, работающих на косою изгиб.*

**Ключевые слова:** *сталежелезобетонные балки, геометрические характеристики, приведенное сечение, косою изгиб.*

*A.V. Semko, Dr. Tech. Sc., Prof., E. Voskobiinyk, Ph.D., Senior Researcher., A.O. Poida, Post graduate st.  
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

## **DETERMINATION OF THE POSITION AND ANGLE OF THE NEUTRAL AXIS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS IN OBLIQUE BENDING**

*The different approaches to determining the position and angle of the neutral axis of the steel-concrete composite beam structures in oblique bending are considered in this article.*

**Keywords:** *steel-concrete composite beams, geometric characteristics, the reduced section, oblique bending.*

*Надійшла до редакції 4.09.2012*

*© О.В. Семко, О.П. Воскобійник, А.О. Пойда*