

УДК 624.03

## ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ЦЕНТРАЛЬНО-СТИСНУТОЇ МЕТАЛЕВОЇ СТІЙКИ З ПРОКАТНОГО СОРТАМЕНТА

Ю. С. Бікс

*В статті наведено алгоритм розрахунку центрально-стиснутої сталеві стійки складеного перерізу для різних форм прокатного сортаменту, з урахуванням вимог ДБН-у В.2.6-163:2010 «Сталеві конструкції» щодо визначення коефіцієнта повздожнього згину  $\varphi$ . Для різних типів складеного поперечного перерізу сталеві стійки, а саме двотаврового, швелерного, замкнутого прямокутного, трубчастого та перерізу з рівнобоких кутків наведено порівняння основних геометричних характеристик. Показано, що при рівній площі перерізу найефективнішим з точки зору використання матеріалу є трубчастий круглий. При цьому, з економічної точки зору, на даний момент найдешевшим є складений переріз з прокатних кутків.*

**Ключові слова:** сталеві конструкції, центральний стиск, металева стійка, складений переріз, коефіцієнт використання матеріалу.

## ОПТИМІЗАЦИЯ ВЫБОРА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТОЙКИ ИЗ ПРОКАТНОГО СОРТАМЕНТА

Ю. С. Бикс

*В статье приведен алгоритм расчета центрально-сжатой стальной стойки составного сечения для различных форм прокатного сортамента, с учетом требований ДБН-а В.2.6-163: 2010 «Стальные конструкции» по определению коэффициента продольного изгиба  $\varphi$ . Для разных типов составного поперечного сечения стальной стойки, а именно двутаврового, швеллерного, замкнутого прямоугольного, трубчатого и сечения с равнополочных уголков приведено сравнение основных геометрических характеристик. Показано, что при равной площади сечения эффективным с точки зрения использования материала является трубчатое круглое. При этом, с экономической точки зрения, на данный момент самым дешевым является составное сечение из прокатных уголков.*

**Ключевые слова:** стальные конструкции, центральное сжатие, металлическая стойка, составное сечение, коэффициент использования материала.

## CROSS-SECTION'S SELECTION OPTIMIZATION OF CENTRAL COMPRESSED METAL STAND FROM ROLLED ASSORTMENT

Y. Biks

*In this article an calculating algorithm for central compressed steel stand of complex section for various forms of rolling mix, by taking into account the building code DBN V.2.6-163: 2010 "Steel structures" requirements as defined by the buckling coefficient  $\varphi$  are shown. Comparison of the basic geometrical characteristics for different types of complex steel stand's cross-section, namely the double-T, channel iron, closed rectangular, tubular cross-section and equal-leg angles is shown. From the equal area material using point of view is shown, that tubular circular cross section is effective. At the same time, from an economic point of view, up to day the cheaper is comlex cross-section of equal-leg angles.*

**Keywords:** steel structures, central compression, metal stand, the composite section, material utilization ratio.

### Вступ

З наданням чинності ДБН В.2.6-163:2010 «Сталеві конструкції» в Україні та втратою своєї дії СНиП II-23-81\* був змінений підхід щодо визначення коефіцієнту повздожнього згину  $\varphi$ . За ДБН-ом [1] коефіцієнт повздожнього згину  $\varphi$  є функцією від форми кривої стійкості яка залежить від поперечного перерізу, основні з яких наведено у табл. 1.4.1[1]. Як і в СНиП II-23-81\*, у ДБН-і значення коефіцієнту повздожнього згину  $\varphi$  знаходяться за емпіричними формулами 1.4.4, 1.4.5

та наведені у табульованій формі в табл. К.1 [1]. Саме тому доцільним є розроблення алгоритму розрахунку центрально-стиснутої металевої стійки з урахуванням вимог ДБН-у для різних форм поперечного перерізу, який відрізняється від прийнятого в [2] та курсі опору матеріалів [3].

**Постановка завдання**

На нашу думку при розрахунку будівельних конструкцій необхідно виконувати перевірку не тільки механічних, а й економічних показників. Тобто, окрім розрахунку центрально-стиснутої металевої стійки за ДБН-ом також виконати аналіз основних геометричних характеристик та умовної вартості 1 метра погонного різних форм поперечного перерізу (при розв’язанні цієї задачі не враховано витрати праці на зварювання, постановку проміжних елементів та інші витрати) які задовольняють умову стійкості та граничної гнучкості.

**Основний матеріал і результати**

Для чисельного моделювання з визначенням параметрів центрально-стиснутої металевої стійки прийнято відповідну розрахункову схему (рис. 1) та вихідні дані, що відповідають типовій стійці балочних клітин промислових будівель, що не піддаються впливу вітру, снігу, ожеледі і т.д. Розглядається плоска задача, вважається що в інших площинах умовами закріплення забезпечується менша розрахункова довжина аніж у розглядуваній площині:

- форма закріплення – шарнірне (прийнято в двох площинах XOZ та YOZ);
- довжина стійки  $l = 4$  м;
- матеріал – сталь 255 (розрахунковий опір  $R_y = 240$  МПа);
- зосереджене навантаження  $N = 250$  кН.
- Коефіцієнт умов закріплення для розрахункової схеми (рис. 1)  $\mu = 1$  [1].

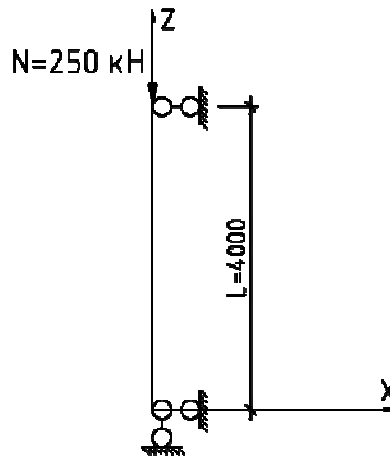


Рисунок 1 – Розрахункова схема центрально-стиснутої стійки

Розрахунок на стійкість елементів суцільного перерізу при центральному стиску слід виконувати за формулою (1.4.3) [1]

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1, \tag{1}$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт стійкості при центральному стиску, значення якого при  $\bar{\lambda} \geq 0,4$  необхідно обчислювати за формулою (1.4.4) [1]

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} (\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \bar{\lambda}^2}). \tag{2}$$

Значення коефіцієнта  $\delta$  у формулі (2) обчислюють за формулою (1.4.5) [1]

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2, \tag{3}$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – коефіцієнти, що характеризують початкові неправильності форми та залишкові напруження і визначаються за табл. 1.4.1 [1] залежно від типу поперечного перерізу стержня та типу кривої стійкості;

$\bar{\lambda}$  – умовна гнучкість стержня, яка визначається за формулою [1]

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}}. \quad (4)$$

З іншого боку гнучкість стійки  $\lambda$  не повинна перевищувати граничного значення  $\lambda_u$  за табл. 1.9.9 [1]. Для основних колон за табл. 1.9.9 [1] приймаємо  $\lambda_u = 180 - 60\alpha$ , де  $\alpha = \frac{N}{\varphi AR_y \gamma_c} \leq 1$ ,

– коефіцієнт використання перерізу який є похідною з формули (1). Оскільки при знаходженні оптимального перерізу з точки зору витрати матеріалу є невідомими коефіцієнт повздовжнього згину  $\varphi$ , то задача не може бути вирішена прямим способом, та потребує ітераційного підходу [2] для виконання умови стійкості (формула (1)) та гнучкості  $\lambda \leq \lambda_u$ .

Значення потрібного радіусу інерції першого наближення  $i_{номп}$  за умови роботи стійки без навантаження отримаємо при  $N = 0$ , та  $\alpha = \frac{N}{\varphi AR_y \gamma_c} = 0$ . Тоді гранична гнучкість

$\lambda_u = 180 - 60 \cdot 0 = 180$ . Виразимо потрібний радіус інерції  $i_{номп}$  через гнучкість та приведену

довжину стержня як  $i_{номп} = \frac{l_{ef}}{\lambda}$ . Оскільки за умовою задачі закріплення стійки прийнято

шарнірним, то розрахункова довжина  $l_{ef} = \mu l = 1 \cdot 4 = 4 \text{ м} = 400 \text{ (см)}$ ,  $i_{номп} = \frac{400}{180} = 2,22 \text{ (см)}$ .

Шляхом покрокового наближення та перевірки виконання умови стійкості та гнучкості підібрані перерізи для основних форм прокатного сортаменту (рис. 2). При чому для замкнутих профілів прийнято електрозварні труби.

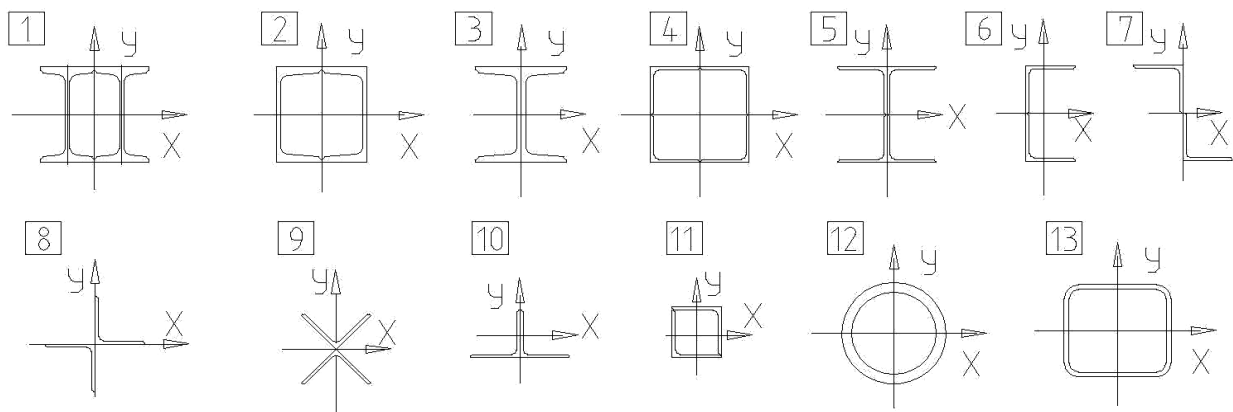


Рисунок 2 – Форми поперечного перерізу з прокатного сортаменту  
 (1 – двотавр за ГОСТ 8239-89; 2, 3 – швелер за ГОСТ 8240-97; 4-10 – кутік рівнобокий за ДСТУ 2251-93; 12 – труба електрозварна прямошовна за ГОСТ 10704-91; 13 – труба прямокутна за ГОСТ 8645-78)

Основні характеристики використаного прокатного сортаменту за формою перерізу (див. рис. 1) за умови досягнення умови стійкості та гнучкості наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Аналіз геометричних, фізико-механічних та економічних характеристик для різних форм поперечного перерізу

Характеристика	Схема форми поперечного перерізу стійки (за рис. 1)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Фактична площа перерізу $A$ , $\text{см}^2$	29,4	26,6	44,4	17,5	42,7	38,58	24,6	24,6	24,6	38,5	24,6	16,5	28,0
Коефіцієнт повздожнього згину $\varphi$	0,467	0,554	0,382	0,626	0,358	0,342	0,448	0,509	0,468	0,342	0,457	0,635	0,439
Коефіцієнт використання перерізу $\alpha$	0,76	0,71	0,61	0,95	0,68	0,79	0,95	0,83	0,91	0,79	0,93	1,00	0,85
Фактична гнучкість $\lambda$	114,8	100,8	131,2	90,3	136,6	131,1	107,8	107,8	114,6	131,1	116,5	97,0	125,9
Гранична гнучкість $\lambda_{\text{г}}$	134,5	137,6	143,1	123,0	139,1	132,5	123,2	130,0	125,6	132,5	124,3	120,3	129,2
Умова стійкості	виконується												
Умова гнучкості	виконується												
Вага 1 м погонного стійки, кг	23,08	20,88	34,85	13,75	33,50	30,21	19,28	19,28	19,28	30,21	19,28	12,93	21,98
Вартість 1 м погонного стійки*, грн.[4, 5]	207,7	166,3	277,6	109,5	266,9	240,6	153,6	153,6	153,6	240,6	153,6	181,0	255,0
Вартість 1 м погонного при порівнянні з трубчастим, %	114,7	91,9	153,4	60,54	147,4	132,9	84,8	84,8	84,8	132,9	84,8	100,0	140,8

Примітка: \* – вартість 1 м погонного стійки, як однієї з складових при обчисленні економічної характеристики прийнята виключно з вартості прокату (грн/т), яку взято з сайтів мережі Інтернет станом на листопад 2014 р.

Графічну інтерпретацію даних табл. 1, а саме порівняльну гістограму проранжованих відносно круглого трубчастого прокату характеристик, а саме площі поперечного перерізу, мінімального радіусу інерції та вартості 1 м погонного довжини прокату для металевої стійки наведено на рис. 3.

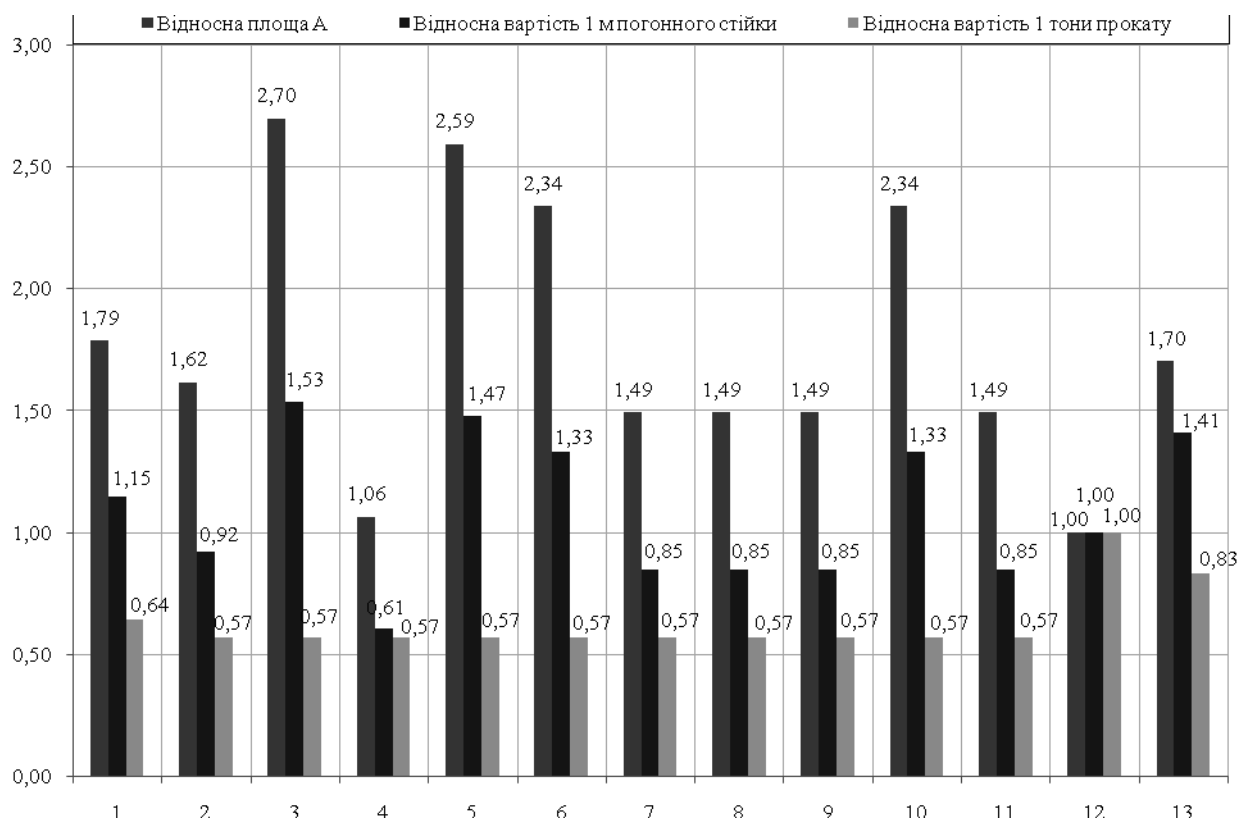


Рисунок 3 – Інтегральні показники для форм поперечного перерізу стійки за рис. 1

Аналізуючи дані табл. 1 та рис. 3 можна зробити висновок про те, що з всього переліку форм поперечного перерізу, які було розглянуто на рис. 1 найефективнішими формами є ті, в яких матеріал стійки максимально рознесений від центра ваги перерізу. Тобто форми, які володіють максимальним значенням моменту інерції. До них в першу чергу слід віднести коробчастий переріз №4 з парних кутиків та переріз №12 трубчастої форми.

Позитивний ефект від мінімальної площі поперечного перерізу для круглої труби нівелюється її високою вартістю. Попри найефективніше використання матеріалу в формі №12 з усіх розглянутих, з точки зору виключно вартості прокату, перевагу слід віддати насамперед формі №4 (коробчастий з кутиків), вартість прокату якого більш ніж у півтора рази нижча від форми №12, відкритим перерізам №7...9 з кутиків, а також коробчастому перерізу №2 з швелерів. Якщо прийняти вартість круглої труби за 100%, то вартість перерізу №4 становить 60,52%, перерізу №7...9 – 84,84%, перерізу №2 – 91,89%.

Аналіз геометричних характеристик складених перерізів з прокатного двотавра, швелера, рівнобокого кутика, прямокутної та круглої труби показав, що найефективнішими формами для центрально-стиснутої металевої стійки є коробчастий з парних кутиків (враховуючи лише вартість прокату) та круглої труби.

### Висновки

- Враховуючи різноманітність форм поперечного перерізу, які можна утворити з рівнобоких кутиків (див. рис. 1), та найпоширенішим на даний момент на ринку металопрокату України сортаментом з рівнобокого кутика, очевидно, що економічна складова та розповсюдженість прокату відіграє одну з ключових ролей при остаточному виборі конструктивного вирішення центрально-стиснутої металевої стійки.
- У порівнянні на 1 м погонний довжини, вартість прокату коробчастого перерізу з рівнобоких кутиків більш ніж у 1,6 рази дешевше круглого з труби при майже рівних площах поперечного перерізу та радіусів інерції за умови виключно критерію матеріаломісткості. А саме: площа круглої труби на 6,4% менша площі коробчастого перерізу з кутиків, радіус інерції круглої труби на 7,5% менше радіусу інерції перерізу з кутиків.
- Для перерізів з відносно низьким значенням коефіцієнту використання перерізу  $\alpha$ , а саме для типів 1,2,3,5,6,8,10,13 є потреба в уточненні їх оптимального перерізу при збільшенні розрахункового навантаження на стійку.

### Використана література

1. Конструкції будинків та споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу: ДБН В.2.6-163:2010 – ДБН В.2.6-163:2010. – [Чинний від 2011-8-22]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011 – 216 с. – (Національний стандарт України).
2. Металеві конструкції: підруч.[ для студ. вищ. навч. закл.] / [Нілов О. О., Пермяков В. О., Шимановський О. В. та ін.]. – К.: Вид-во “Сталь”, 2010. – 869 с. – ISBN 978-966-1555-41-8.
3. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов: учеб. пособие для ВТУЗов / [И. Н. Миролюбов, С. А. Егалычев, Ф. З. Алмаметов и др.]. – М.: Высшая школа, 1974. – 392 с.
4. Первый интернет-супермаркет металла [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ugmk.ua/ru/prices/sumy-65-1.html>.
5. Укрбудстандарт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrbudstandart.com.ua/price\\_22.html](http://www.ukrbudstandart.com.ua/price_22.html).

**Бікс Юрій Семенович** – к.т.н., старший викладач кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

**Бикс Юрий Семенович** – к.т.н., старший преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства Винницкого национального технического университета.

**Biks Yuriy** – ph. d., senior lecturer, department of industrial and civil engineering, Vinnytsia national technical university.