

УДК 624.01

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.1.10>

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПІДБОРУ ПОЗАЦЕНТРОВО-СТИСНУТИХ СУЦІЛЬНИХ СТАЛЕВИХ КОЛОН ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ СТАЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ

**Чеканович М.Г.** – кандидат технічних наук, професор кафедри будівництва Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-9110-4109

Scopus-Author ID: 57192938389

**Янін О.Є.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0003-0230-8669

Scopus-Author ID: 57219482395

У статті наведені результати теоретичного дослідження, присвяченого вдосконаленню підбору розмірів поперечного перерізу позацентрово-стиснутої сталеві колони у вигляді зварного симетричного двотавру виходячи із забезпечення загальної та місцевої стійкості при дотриманні вимог будівельних норм і мінімізації витрат сталі. Проведений аналіз нормативних умов стійкості колони показав, що оптимізованими розмірами поперечного перерізу доцільно прийняти ширину і товщину полиць. Припускається, що розміри стінки є відомими і визначаються при компонуванні будівлі у цілому. Розглянута можливість проектування колони з нестійкою стінкою. Умови місцевої і загальної стійкості у двох головних площинах розглядаються як функціональні залежності товщини полиці від її ширини, задані у неявному вигляді. Показано, що графіки таких неявних функцій на координатній площині обмежують певні області, у яких забезпечується відповідна умова загальної або місцевої стійкості. Задачу запропоновано вирішувати за допомогою комп'ютерної програми у середовищі MathCAD, оскільки отримання аналітичних формул, які б виражали явно функцію через аргумент пов'язано зі значними математичними труднощами. Розроблена методика встановлення відповідності між словесими значеннями товщини і ширини полиць шляхом застосування інструментарію середовища MathCAD. На підставі аналізу побудованих графіків функціональних залежностей товщини полиці від її ширини розроблена методика оптимізації поперечного перерізу колони за критерієм мінімальних витрат сталі. Ця методика обґрунтована теоретичним аналізом отриманих залежностей, який мав на меті довести ефективність запропонованого рішення задачі підбору раціонального поперечного перерізу колони.

**Ключові слова:** сталева суцільна колона, числовий експеримент, оптимізація, критерій мінімізації, загальна та місцева стійкість.

**Chekanovych M.G., Yanin O.Ye. Optimization of selection of eccentrically compressed continuous steel columns according to the criterion of minimizing steel consumption using computer programs**

The article presents the results of a theoretical study devoted to improving the selection of the cross-sectional dimensions of an eccentrically compressed steel column in the form of a welded symmetric I-beam based on ensuring general and local stability while meeting the requirements of building codes and minimizing steel consumption. The analysis of the standard conditions for the stability of the column showed that it is advisable to take the width and thickness of the shelves as unknown cross-sectional dimensions. It is assumed that the dimensions of the wall are known and are determined during the layout of the building as a whole. The possibility of designing a column with an unstable wall is considered. The conditions of local and general stability in two main planes are considered as functional dependences of the shelf thickness on its width, given implicitly. It is shown that the graphs of such implicit functions on the coordinate plane limit certain areas in which the corresponding condition of general or local stability is ensured. It is proposed to solve the problem using a computer program in the MathCAD environment, since obtaining analytical formulas that would explicitly express a function through an argument is associated with significant mathematical difficulties. The

method has been developed for establishing a correspondence between the numerical values of the thickness and width of the shelves by using the tools of the MathCAD environment. Based on the analysis of the constructed graphs of the functional dependences of the shelf thickness on its width, a method for optimizing the cross section of the column was developed according to the criterion of minimum steel costs. This technique is substantiated by a theoretical analysis of the obtained dependencies, which was aimed at proving the effectiveness of the proposed solution to the problem of selecting a rational column cross-section.

**Key words:** solid steel column, numerical experiment, optimization, criterion of minimization, general and local stability.

**Постановка завдання.** На сучасному етапі економічного розвитку України представляється важливим завданням будівельної галузі відновлення, реконструкція не тільки житлових будівників, а й виробничих будівель і інженерних споруд, де проблема підбору поперечного перерізу позацентрово-стиснутої сталевий колони за критеріями загальної та місцевої стійкості з точки зору економії витрат є актуальною.

Відомо, що стержень суцільних сталевих колон, утворюється з одного або декількох елементів (прокатних профілів, листів), які з'єднані зварюванням або болтами. Типи перерізів суцільних колон можуть бути відкритими або замкненими. Колони замкненого перерізу мають близьку чи рівну загальну стійкість у всіх напрямках, кращий зовнішній вигляд та є більш економічними за витратами сталі порівняно з відкритими. Але вузли обпирання конструкцій, що примикають до таких колон складніші, їхні внутрішні поверхні недоступні для огляду і захисту від корозії. Тому для запобігання корозії необхідно герметизувати внутрішній об'єм таких колон, що потребує додаткових витрат [1–3].

Найбільшого поширення набули двотаврові перерізи з прокатних профілів, що пояснюється високою технологічністю виготовлення таких колон і простотою утворення вузлів з'єднання конструкцій. Але через обмеженість сортаменту вони мають відносно невелику несучу здатність. Сталеві колони виконують зі спеціальних двотаврів колонного типу, висота яких практично дорівнює ширини полиці. При великих навантаженнях і малих розрахункових довжинах, для збільшення площі перерізу застосовують складені перерізи з прокатних профілів та хрестові, з окремих листів, зварених між собою [1–5].

Найпростішими та більш економічними є зварні двотаври, які виготовляють на потокових високомеханізованих та автоматизованих лініях (рис. 1).

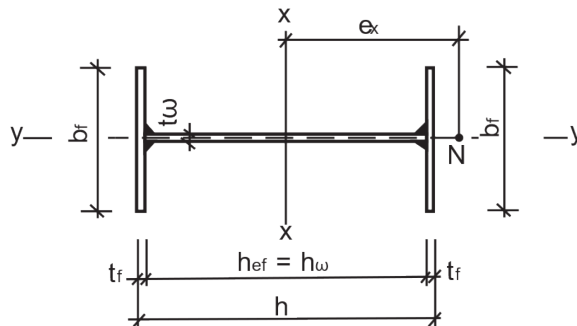


Рис. 1. Поперечний переріз колони

Згідно з діючими нормами [1] визначення розмірів поперечного перерізу позацентрово-стиснутої суцільної колони виконують виходячи із умов

- загальної стійкості у площині дії згинального моменту;
- загальної стійкості з площини дії згинального моменту;
- місцевої стійкості стінки та полиць.

Умови загальної стійкості колони у площині та з площини дії згинаючого моменту та місцевої стійкості полиць відповідно мають вигляд [1]:

$$\frac{N}{\phi_e A R_y \gamma_c} \leq 1; \quad (1)$$

$$\frac{N}{c \phi_y A R_y \gamma_c} \leq 1; \quad (2)$$

$$\frac{b_f - t_w}{2t_f} \leq \lambda_{fu}, \quad (3)$$

де  $N$  – розрахункова стискаюча сила;

$\phi_e$  – коефіцієнт зниження розрахункового опору сталі  $R_y$  при позакентровому стиску (коефіцієнт стійкості при позакентровому стиску);

$\gamma_c$  – коефіцієнт умов роботи;

$A$  – площа перерізу колони;

$c$  – коефіцієнт, що враховує вплив згинального моменту  $M_x$  у площині стінки;

$t_w$ ,  $b_f$  і  $t_f$  – геометричні розміри поперечного перерізу колони (див рис.1);

$\lambda_{fu}$  – граничне відношення розрахункової ширини звису полиці до її товщини.

Відношення розрахункової висоти стінки  $h_{ef} = h_w$  до її товщини  $t_w$  може перевищувати встановлене граничне значення. Тобто, місцева стійкість стінки може бути не забезпечена. Це означає, що середня за висотою перерізу нестійка частина стінки не приймає участі у роботі, але колона як стержень не втрачає несучої здатності. У цьому випадку, в умову стійкості (1) треба підставляти площу працюючої частини перерізу  $A_{red}$  [1-5]. Вона складається з полиць та двох крайніх стійких ділянок стінки, що примикають до них. Колона може мати як стійку так і нестійку стінку.

Зазвичай підбір розмірів поперечного перерізу колони вирішується методом послідовних наближень [2-8]. В умові стійкості у площині згинального моменту (1) від розмірів перерізу залежать площа  $A$  і коефіцієнт  $\phi_e$ . Задавшись приблизним значенням  $\phi_e$ , з цієї умови знаходять

$$A = \frac{N}{\phi_e R_y \gamma_c}. \quad (4)$$

При відомих висоті поперечного перерізу  $h_b$  (див.рис.1) і площі  $A$  визначають решту розмірів перерізу ( $b_f$ ;  $t_f$ ;  $t_w$ ). Після цього виконують перевірку загальної стійкості колони у обох площинах а також місцевої стійкості полиць. У випадку необхідності розміри корегують [9-12].

Описаний вище шлях рішення задачі може виявитись достатньо трудомістким і переріз колони може бути економічно невигідним. Тому виникає необхідність використання комп'ютерної програми для оптимізації конструктивного рішення колони, та скорочення часу на розрахунки.

**Постановка проблеми.** Мета дослідження – вдосконалення підбору раціональних розмірів поперечного перерізу позакентрово-стиснутої сталеві колони за критеріями загальної та місцевої стійкості та, як наслідок, отримання оптимального економічно вигідного поперечного перерізу сталеві колони відповідно до вимог будівельних норм з врахуванням специфіки їх виготовлення та монтажу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У кожному нормативну умову (див формули (1)-(3)), входять величини, що залежать від розмірів поперечного перерізу колони  $h_b$ ,  $t_\omega$ ,  $b_f$  і  $t_f$ . Розмір  $h_b$  визначається при загальному компонуванні поперечної рами будівлі або споруди, у склад якої входить колона. Це означає, що він є відомою величиною. Товщину стінки  $t_\omega$  треба задати на початку розрахунку. Її можна прийняти, традиційно, у межах від 6 до 12 мм, і якщо місцева стійкість стінки не забезпечена, колона буде розрахована з нестійкою стінкою.

Невідомими розмірами поперечного перерізу залишаються тільки  $b_f$  і  $t_f$ .

Умови загальної і місцевої стійкості (1)-(3) у випадку знаку рівності у них мають вигляд:

$$\frac{N}{\phi_e AR_y \gamma_c} = 1; \quad (5)$$

$$\frac{N}{c\phi_y AR_y \gamma_c} = 1; \quad (6)$$

$$\frac{b_f - t_\omega}{2t_f} = \lambda_{fu}. \quad (7)$$

Усі рівняння мають дві невідомі величини:  $b_f$  і  $t_f$ . З цього випливає, що їх можна розглядати як функції товщини полиці  $t_f$  від її ширини  $b_f$ , задані у неявній формі. Графіки таких неявних функцій на координатній площині обмежать певні області, у яких забезпечується відповідна умова загальної або місцевої стійкості. Отримання аналітичних формул, які б виражали явно  $t_f$  через  $b_f$  у відповідності з рівностями (5) – (7), пов'язано зі значними математичними труднощами. Тому задачу можна вирішувати за допомогою комп'ютерної програми у середовищі *MathCAD*. Для цього доцільно задати ряд значень аргументу  $b_f$  у визначеному діапазоні. Для кожного значення  $b_f$  треба розв'язати відповідне рівняння ((5), (6) або (7)) та визначити  $t_f$ . Таким чином можна сформувати функцію  $t_f(b_f)$  при певних значеннях аргументу.

Позначимо через  $t_{f1}(b_f)$ ;  $t_{f2}(b_f)$ ;  $t_{f3}(b_f)$  функції, які сформовані відповідно із рівностей (5), (6) і (7). При заданому  $b_f$  якщо прийняте значення товщини полиці  $t_f > t_{fi}(b_f)$  ( $i=1;2$  або 3), то відповідна умова стійкості ((1), (2) або (3)) буде виконана. Тому області, у яких виконується умова загальної або місцевої стійкості знаходяться вище відповідних графіків (рис. 2). Область координатної площини, що лежить вище усіх трьох графіків функцій, відповідає парам значень  $b_f$  і  $t_f$  для яких виконані відповідні умови (1) – (3).

Після вибору будь якої пари значень  $b_f$  і  $t_f$  з цієї області при дотриманні вимог уніфікації, технології зварювання і конструктивних вимог, задача підбору розмірів перерізу колони буде розв'язана. При обраних значеннях  $b_f$  і  $t_f$  загальна стійкість колони у двох площинах, а також місцева стійкість полиць будуть забезпечені.

Графіки функцій (5) і (6) є низхідними, оскільки при збільшенні ширини  $b_f$  потрібна товщина полиці  $t_f$  із умови забезпечення загальної стійкості у двох площинах повинна зменшуватись. Графік функції (7) є зростаючим, оскільки при збільшенні  $b_f$  потрібна товщина полиці  $t_f$  для забезпечення її місцевої стійкості повинна збільшуватись (рис.2).

Це означає, що при певному заданому значенні  $t_f$ , ширина полиці  $b_f$  повинна бути:

1) не менше мінімального значення ( $b_{f,min}$ ) з умови загальної стійкості колони у площині або з площини дії згинального моменту;

2) не більше максимального значення ( $b_{f,max}$ ) з умови місцевої стійкості полиць.

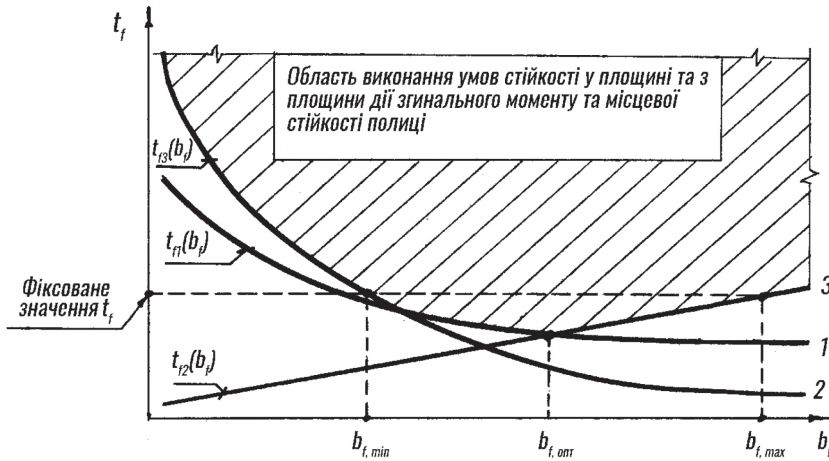


Рис. 2. Графіки функцій, побудовані згідно з формулами (5)-(7)

- 1 – графік загальної стійкості у площині дії згинального моменту  $M_x$  згідно з формулою (5);  
 2 – графік загальної стійкості з площини дії згинального моменту  $M_x$  згідно з формулою (6);  
 3 – графік місцевої стійкості полиці згідно з формулою (7)

При зростанні ширини  $b_f$  загальна стійкість колони з площини дії згинального моменту збільшується швидше, ніж у площині дії згинального моменту. Отже, потрібна товщина полиці  $t_f$  при великих  $b_f$  буде менше виходячи із умови загальної стійкості з площини дії згинального моменту. З цього випливає, що графік функції (6) буде більш крутий, ніж графік функції (5).

З графічного зображення на рис. 2 можна зробити висновок, що є такі значення товщини полиці  $t_f$  при яких умови (1) – (3) одночасно не можуть бути забезпечені. Отже, при таких  $t_f$  колону спроектувати не можна.

Два значення  $b_f$  і  $t_f$  доцільно прийняти таким чином, щоб при забезпеченні несучої здатності, витрати сталі на колону були зведені до мінімуму. Для цього у заштрихованій на рис.2 області необхідно обрати точку зі значеннями  $b_f$  і  $t_f$  для яких площа перерізу колони

$$A = 2b_f t_f + h_w t_w = 2b_f t_f + (h_b - 2t_f) t_w \quad (8)$$

була б мінімальною. Це пов'язано з тим, що витрати сталі на колону прямо пропорційні величині її площі  $A$ .

За допомогою комп'ютерної програми у середовищі *MathCAD* можна побудувати графіки залежності  $A$  від  $b_f$ , що відповідають рівностям (5) – (7). Для цього в формулу (8) замість  $t_f$  треба підставити відповідну функціональну залежність  $t_{fi}(b_f)$ . Графіки функцій

$$A_{1(b_f)} = 2b_f t_{f1(b_f)} + (h_b - 2t_{f1(b_f)}) t_w \quad (9)$$

$$A_{3(b_f)} = 2b_f t_{f3(b_f)} + (h_b - 2t_{f3(b_f)}) t_w \quad (10)$$

$$A_{2(b_f)} = 2b_f t_{f2(b_f)} + (h_b - 2t_{f2(b_f)}) t_w, \quad (11)$$

які відповідають формулам (5), (6) і (7), наведені на рис. 3.

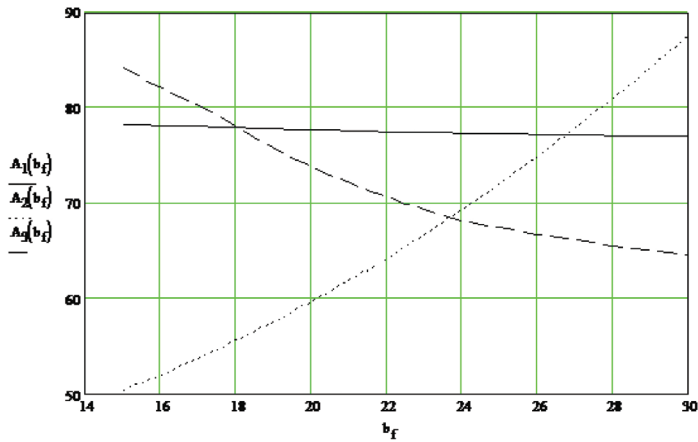


Рис. 3. Графіки залежності площі поперечного перерізу колони  $A$  (см<sup>2</sup>) від ширини полиці  $b_f$  (см) при контрольних вихідних даних

Якщо точка на координатній площині, що відповідає площі  $A$  знаходиться не нижче певного  $i$ -того графіка функції, то для нього при певному значенні  $b_f$  буде виконана умова

$$\begin{aligned} A &= 2b_f t_f + h_b t_\omega = 2b_f t_f + (h_b - 2t_f) t_\omega \geq \\ &\geq A_{i(b_f)} = 2b_f t_{fi(b_f)} + (h_b - 2t_{fi(b_f)}) t_\omega, \end{aligned} \quad (12)$$

де  $i=1; 2; 3$ .

Якщо прийняти, що висота перерізу колони  $h_b$  набагато більше ніж  $2t_f$ , то можна записати таку наближену рівність:

$$h_b - 2t_f \approx h_b. \quad (13)$$

У цьому випадку з умови (12) випливає:

$$\begin{aligned} 2b_f t_f + h_b t_\omega &\geq 2b_f t_{fi(b_f)} + h_b t_\omega; \\ t_f &\geq t_{fi(b_f)}. \end{aligned} \quad (14)$$

Тоді, відповідна значенню “ $t$ ” умова (1),(2) або (3) буде забезпечена.

Отже, задача оптимізації за критерієм мінімуму витрат сталі зводиться до пошуку точки на координатній площині (див. рис.3), яка має найменшу координату по вертикальній осі та знаходиться не нижче усіх трьох графіків функцій (9) – (11).

На підставі аналізу графічного зображення на рис.3 можна дійти висновку, що така точка знаходиться на перетині графіка функцій  $A_2(b_f)$  з графіком функцій  $A_3(b_f)$  або  $A_1(b_f)$ . Абсциса цієї точки відповідає значенню  $b_f = b_{f, \text{opt}}$ , при якому витрати сталі на колону будуть мінімальними при забезпеченні несучої здатності.

Абсциса точки перетину двох графіків  $A_i(b_f)$  та  $A_k(b_f)$  визначається з рішення наступного рівняння

$$A_{i(b_f)} = A_{k(b_f)}. \quad (15)$$

Отже (див. формули (9)-(11))

$$2b_f t_{fi(b_f)} + (h_b - 2t_{fi(b_f)}) t_\omega = 2b_f t_{fk(b_f)} + (h_b - 2t_{fk(b_f)}) t_\omega.$$



З урахуванням наближеної формули (13) будемо мати

$$2b_f t_{fj(b_f)} + h_b t_{\omega} = 2b_f t_{fk(b_f)} + h_b t_{\omega};$$

$$t_{fj(b_f)} = t_{fk(b_f)}. \quad (16)$$

На підставі рішення останнього рівняння можна визначити точку перетину графіків  $t_{fj}(b_f)$  та  $t_{fk}(b_f)$  на рис.2. Це означає, що абсциса точки перетину графіків  $A_j(b_f)$  і  $A_k(b_f)$  практично співпадає з абсцисою точки перетину графіків  $t_{fj}(b_f)$  і  $t_{fk}(b_f)$ . Отже, абсциса точки перетину графіка  $t_{fj}(b_f)$  з графіком  $t_{fj}(b_f)$  або  $t_{fk}(b_f)$  відповідає значенню  $b_{f,form}$ .

Такий висновок впливає із наступних загальних міркувань. При збільшенні  $b_f$  гнучкість колони стає меншою при фіксованій  $A$ . Тоді при діючому навантаженні на колону, потрібна площа поперечного перерізу  $A$  із умови загальної стійкості зменшується. З іншого боку значення  $b_f$  можна збільшувати з метою зменшення витрат сталі (тобто  $A$ ) до тих пір, поки виконана умова місцевої стійкості полиці. Отже, переміщуватись уздовж графіка функції  $t_{fj}(b_f)$  або  $t_{fk}(b_f)$  (див. рис.2) у бік збільшення аргументу  $b_f$  треба до перетину з графіком функції  $t_{fj}(b_f)$ . Точка перетину відповідає значенню  $b_f = b_{f,form}$  (при відповідному  $t_f$ ), для якого витрати сталі будуть найменшими. При подальшому переміщенні уздовж графіка функції  $t_{fj}(b_f)$ , то  $b_f$ ,  $t_f$  витрати сталі будуть зростати.

#### Висновки і пропозиції:

1. Розроблено методику підбору розмірів поперечного перерізу сталеві колони, що відкрила можливість проаналізувати критерії оптимізації на основі побудови графічного зображення результатів та, як наслідок, автоматизувати проектування конструкції.

2. Використання комп'ютерного середовища Mathcad дозволило виконати оптимізацію позакентрово-стиснутої сталеві колони за критерієм мінімізації витрат сталі і, при цьому, значно скоротити витрати часу на розрахунок.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДБН В.2.6-163:2010. Сталеві конструкції / Норми проектування, виготовлення і монтажу / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. Київ, 2011. 202 с.
2. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций: Учеб пособие для техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Стройиздат, 1991. 431 с.
3. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Ведеников и др. ; Под. общ. ред. Е.И. Беленя. 6-е изд., перераб. и доп. Москва : Стройиздат, 1986. 560 с., ил.
4. Зорин З.Я. Стальные конструкции. Проектирование на стадии КМД / З.Я. Зорин, А.А. Новицкий. Киев : Сталь, 2015. 268 с.
5. ДСТУ Б В.2.6-199-2014 Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2015. 59 с.
6. Будівельні конструкції, будівлі та споруди третього тисячоліття»: Збірник матеріалів Науково-практичної інтернет-конференції. Херсон : ДВНЗ ХДАУ, 2017. 132 с.
7. Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського / Під загальною редакцією заслуженого діяча науки і техніки України, члена-кореспондента НАН України, д.т.н., професора О. В. Шимановського. Київ : Вид-во «Сталь», 2014. Вип. 14. 152 с.
8. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції: Підручник. Львів : Світ, 2002. 312 с.
9. Лугченко О.І. Конспект лекцій з курсів «Будівельні конструкції» та «Будівельні конструкції. Металеві конструкції» / О. І. Лугченко; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. Харків : ХНУМГ, 2013. 158 с.

10. Марк Лоусон, Артем Билык. Стальные конструкции в архитектуре. К. : ООО «НПП «Интерсервис», 2014. 135 с.
11. Металлические конструкции: Общий курс: Учебник для студентов высших учебных заведений / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнат'ева и др. / под ред. Ю.И. Кудишина. Москва : Изд. центр Академия», 2008. 688 с.
12. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Белов І.Д., Володимирський В.О. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. Видання 2-е, перероблене і доповнене / Під загальною редакцією О.О. Нілова та О.В. Шимановського. Київ : Видавництво «Сталь», 2010. 869 с.

#### REFERENCES:

1. DBN V.2.6-163:2010. Staleví konstruksíi / Normi proyektuvannya, vigotovlennya í montazhu / Mínistertvo regional'nogo rozvitku ta budívnitstva Ukraíni. Kiíiv, 2011. 202s.
2. Mandrikov A.P. Primery rascheta metallicheskih konstruksiy: Ucheb posobiye dlya tekhnikumov. 2-ye izd., pererab. i dop. Moscow : Stroyizdat, 1991. 431s.
3. Metallicheskiye konstruksii. Obshchiy kurs: Uchebnik dlya vuzov / Ye.I. Belenya, V.A. Baldin, G.S. Vedenikov i dr.; Pod. obshch. red. Ye.I. Belenya. 6-ye izd., pererab. i dop. M.: Stroyizdat, 1986. 560 s., il.
4. Zorin Z.YA. Stal'nyye konstruksii. Proyektirovaniye na stadii KMD / Z.YA. Zorin, A.A. Novitskiy. Kiyev: Stal', 2015. 268 s.
5. DSTUB V.2.6-199-2014 Konstruksíi staleví budível'ní. Vimogi do vigotovlennya. Kyiv : DP "Ukrarkhbuildinform", 2015. 59 s.
6. Budível'ní konstruksíi, budívlí ta sporudi tret'ogo tisyacholíttya»: Zbírnik materialív Naukovo-praktichnoí ínternet-konferentsíi. Kherson : DVNZ KHDAU, 2017. 132 s.
7. Zbírnik naukovikh prats' Ukraíns'kogo ínstitutu stalevikh konstruksiy ímení V. M. Shimanov'skogo / Pid zagal'noyu redaktsíeyu zasluženogo diyacha nauki í tekhníki Ukraíni, chlena-korespondenta NAN Ukraíni, d.t.n., profesora O. V. Shimanov'skogo. Kyiv : Vid-vo «Stal'», 2014. Vip. 14. 152 s.
8. Klimenko F.É., Barabash V. M., Storozhenko L.Í. Metaleví konstruksíi: Pídruchnik. L'viv : Svít, 2002. 312 s.
9. Lugchenko O.Í. Konspekt lektsiy z kursív «Budível'ní konstruksíi» ta «Budível'ní konstruksíi. Metaleví konstruksíi» / O. Í. Lugchenko; Khark. nats. un-t mís'k. gosp-va ím. O.M. Beketova. KH. : KHNUMG, 2013. 158 s.
10. Mark Louson, Artem Bilyk. Stal'nyye konstruksii v arkhitekture. K. ООО «NPP «Interservis», 2014. 135 s.
11. Metallicheskiye konstruksii: Obshchiy kurs: Uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy / YU.I. Kudishin, Ye.I. Belenya, V.S. Ignat'yeva i dr. / pod red. YU.I. Kudishina Moscow : Izd. tsentr Akademiya», 2008. 688 s.
12. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Бєлов І.Д., Володимирський В.О. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. Видання 2-е, перероблене і доповнене / Під загальною редакцією О.О. Нілова та О.В. Шимановського. Київ: Видавництво «Сталь», 2010. 869 с.