

- (spravochnoe posobie). Kiev: BudIvelnik, 1995. 104 s.
17. Venikov V.A., Venikov T.V. Teoriya podobiya i modelirovaniya. M.: Vysshaya shkola. 1994. 216 s.
 18. Guhman A.A. Vvedenie v teoriyu podobiya. M.: Vyssh. shkola, 1973. 295 s.
 19. Suponev V.N., Vivchar S.M., Konstantinenko V.V. Vliyanie osevoy silyi pri gruzu na krutyaschiy moment zavinchivaniya vintovyih svay. BudIvelne virobnitstvo. 2016. №61-1. S. 44-49.
 20. Khmil R.Ie., Bliakharskyi Ya.Z. Doslidzhennia zalizobetonnykh kolon pidsylenykh pry ekspluatatsiinomu navantazhennia rivni systemoiu CFRP. Budivelne vyrobnytstvo. 2014. №56. S. 115-118.

Panteleenko V.I., Karpushyn S.A., Chervonoshtan A.L., Ihnatov A.B. THE RESEARCH OF STRESS STATE OF METAL MARKS FOR FOUNDATIONS IN STRUCTURES OF DIFFERENT APPLICATION.

On the practical side of construction metal marks are used for stamping wells for building foundations of different application. While metal marks are penetrated near them and around them a compacted zone is formed, the tension that foundation can withstand depends on the size and density of a compacted zone. The use of metal marks allows to reduce the amount of excavation work, almost completely eliminate formworks, to reduce concrete and metal consumption, and work cost estimate of zero cycle work. The purpose of the scientific research is to study the stress state of metal marks under the action of a static load under maximum resistance, that resists their soil penetration. The research of penetrating process of metal marks of various design namely, conical, prismatic and cylindrical forms into soil was carried out during the biggest soil penetration at lateral and frontal surfaces. Such condition can be observed when the mark will be completely penetrated into foundation soil. At this moment, the stress in the material reaches its maximum values. The paper presents the diagrams of stress state in three types of metal marks under static load. The diagrams are with the use of computer program «SolidWorks». The initial data in this case were the following parameters: geometric parameters of marks, wall thickness, material and static load. The study of the stress state of marks with the help of «SolidWorks» program showed that under static load up to 60 tons for their soil penetration the material of marks and their design withstand the investigations to all criteria of «SolidWorks» program: for fatigue failure and deformations under the load. While examining a cone-shaped mark under the load at entire plane of transmitting plate, the stress in the upper part of structure will be bigger that in the lower one at the tip will be approximately at the same level that under the load in the center of transmitting plate. In the middle part of the structure the stress will increase, but not significantly. In this case, it is advisable to increase the thickness of the transmitting plate. The thickness of transmitting plate must be between 40 ... 50 mm. While manufacturing the marks it is advisable to use steel 3 with carbon content of 0,14 to 0,22% with the thickness of sidewalls of 20 mm. It is impractical to use high-grade steel or alloy-treated steel because their price is much higher. When replacing steel №3 into steel №5, the marks also stand the tests to all criteria. In this case the thickness of sidewalls can be less within 15 mm. But to use this steel for the manufacturing of marks is impractical from economic point of view.

Keywords: research, stress state, compacted zone, static load, penetrating process, foundation, «SolidWorks», metal marks.

doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-107-115

УДК 624.014

Портнов Г.Д., Пашинський В.А., Настоящий В.А., Скриннік І.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

(пр-т Університетський, 8, Кропивницький, 25006, Україна; e-mail: budkom999@gmail.com, pva.kntu@gmail.com, vanast52@ukr.net, ivanvskrunnik1980@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8040-6761, orcid.org/0000-0002-5474-6399, orcid.org/0000-0002-8931-5097, orcid.org/0000-0002-2659-894X)

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ СКЛАДЕНИХ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ

Розв'язана задача компоновки раціонального поперечного перерізу зварного двотавра з урахуванням комплексу архітектурно-планувальних, конструктивних і технологічних вимог та обмежень, а також стандартних розмірів листового прокату. Вибір раціональних перерізів здійснено шляхом перебору усіх можливих варіантів компоновки зварних двотаврів заданої висоти, параметри яких відповідають вказаним вимогам. Встановлено, що двотаври однієї висоти мають близькі показники ефективності перерізу, а помітні зміни показника ефективності можуть реалізуватися при зміні висоти двотавра. Сформовано скорочений сортамент зварних двотаврів, висота яких кратна будівельному модулю М100, значення моментів опору утворюють геометричну прогресію зі знаменником близько 1,05, а показники ефективності перерізів є найбільшими для прийнятих моментів опору. Перерізи з розробленого сортаменту відповідають стандартним розмірам

листового прокату, умовам місцевої стійкості стінки та стиснутої полиці та забезпечують можливість підбору перерізів балок з запасами міцності в межах 5%.

Ключові слова: зварні двотаврові балки, показник ефективності перерізу, скорочений сортамент.

Вступ. Широке використання зварних балок в несучих будівельних конструкціях обумовлює необхідність оптимізації їх поперечних перерізів. Традиційний підхід до компоновки широко вживаних симетричних двотаврових перерізів базується на виборі висоти двотавра з урахуванням оптимальної, мінімальної та максимально допустимої конструктивної висоти. Після цього визначаються розміри стінки й полиць, виходячи з вимог до міцності та жорсткості балки, а також місцевої стійкості стінки та стиснутої полиці. При реальному проектуванні необхідно також урахувати конструктивні та технологічні обмеження, встановлені наявним сортаментом прокату, чинними нормами та усталеною практикою проектування. У такому випадку краще не округлювати розміри перерізу до стандартних значень після отримання оптимального рішення, а з самого початку виконувати оптимізацію перерізу з урахуванням усього комплексу конструктивних і технологічних вимог та обмежень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційні методики підбору перерізів зварних балок, регламентовані нормами [1] та детально описані в численних посібниках, зокрема [2, 3], передбачають попередню оцінку оптимальної та мінімальної висоти балки з подальшим визначенням товщини стінки, ширини й товщини поясних листів при дотриманні певних вимог оптимальності вибраного перерізу. Класична задача оптимізації параметрів складеного двотавра розв'язувалася у другій половині ХХ століття [4...7]. Основним результатом цих досліджень стало поняття оптимальної висоти балки, яка забезпечує мінімальну площу перерізу при умові рівності площі стінки сумарній площі двох полиць двотавра. В останні роки задача оптимізації перерізів балок розв'язувалася на основі різних критеріїв оптимальності з використанням як аналітичних, так і чисельних методів пошуку оптимального рішення [8...11].

Основним недоліком проаналізованих досліджень є чисто теоретичний підхід, який полягає в оптимізації ідеалізованого перерізу без урахування реальних конструктивних, технологічних та експлуатаційних обмежень на його параметри. Те саме можна віднести й до досліджень, у яких згинальні елементи з двотаврів розглядаються як елементи поперечних рам, наприклад [12, 13]. В роботах [14, 15] показано, що в задачах оптимального проектування сталевих будівельних конструкцій необхідно враховувати цілий комплекс параметрів, які включають: вимоги нормативних документів до міцності, стійкості та деформативності; габаритні обмеження для параметрів конструкції; обмеження на марки сталі та сортамент прокату; умови виготовлення, монтажу та експлуатації конструкції, естетичні міркування тощо.

Більш раціональним підходом може бути вибір оптимального рішення з сукупності усіх можливих варіантів компоновки поперечного перерізу з листового прокату стандартних розмірів, які відповідають поставленим вимогам та обмеженням. При виборі оптимального рішення слід орієнтуватися на описані в [3, 4, 7, 9] показники ефективності поперечного перерізу елементів при згині, суть яких в основному зводиться до забезпечення найбільших можливих значень моменту інерції чи моменту опору при мінімальній площі поперечного перерізу.

Мета роботи: запропонувати методику компоновки ефективних перерізів зварних двотаврів, які відповідають модульній висоті, конструктивним і технологічним обмеженням та стандартним розмірам листового прокату, та розробити сортамент зварних двотаврів з високими показниками ефективності.

Передумови та вихідні дані. Виходячи з характеристик поперечних перерізів прокатних двотаврів, потреба в балках складеного перерізу виникає при необхідних моментах опору понад 5000...12000 см². Таким значенням відповідають тонкостінні зварні двотаври

висотою понад 1200...1400 мм. При висоті двотавра більшій за 2200 мм на балки зазвичай необхідно встановлювати поздовжні ребра жорсткості, що робить їх унікальними конструкціями індивідуального проектування [2, 3]. Тому в даній роботі аналізувалися зварні двотаври висотою 1400...2200 мм, стінки яких виконані з гарячекатаного листового прокату за ГОСТ 19903-74*, а полиці – з широкосмугової універсальної сталі за ГОСТ 82-70*. Розрахунки проведені для сталі С255, характеристики якої враховувалися при аналізі місцевої стійкості стінки та полиць. При компоновці перерізів забезпечується дотримання таких вимог:

- модульність генеральних розмірів, яка означає кратність висоти балки будівельному модулю М100 і необхідність дотримання максимально допустимої будівельної висоти;
- товщина стінки приймається мінімальною за умови місцевої стійкості, але не меншою за 8 мм з умов корозійної стійкості;
- товщина й ширина полиць відповідає чинному сортаменту листового прокату;
- співвідношення розмірів стінки й полиць відповідають умовам рівномірного розподілення напружень, зварювання поясних швів, транспортування та монтажу;
- запас міцності за нормальними напруженнями в межах 5%, місцева стійкість елементів забезпечується згідно з вимогами норм [1] без установки поздовжніх ребер жорсткості на стінці та без обрамлення стиснутої полиці.

Виконання вказаних вимог забезпечує можливість вибору ефективних перерізів, які відповідають вимогам норм проектування сталевих конструкцій, принципу модульності та чинним сортаментам листового прокату.

Компонування перерізів зварних двотаврів. Конструктивні й технологічні вимоги норм [1] та рекомендовані [2, 3] обмеження щодо компонування перерізів зварних двотаврових балок наведені в таблиці 1. Позначення величин у формулах (1)...(5) відповідають прийнятим у нормах [1]. Окрім того, при компонуванні перерізів враховані вимоги модульності та розміри листового прокату за чинними стандартами, зокрема розглядалися:

- 9 значень висоти балки від 1400 мм до 2200 мм з модульним кроком зміни 100 мм;
- 13 значень товщини полиць і стінки в межах від 8 мм до 30 мм;
- 33 значення ширини полиць у межах від 200 мм до 1050 мм.

Таблиця 1 – Вимоги до компонування перерізів зварних двотаврових балок

№	Пояснення	Формула
1	Можливість забезпечення місцевої стійкості стінки без установки поздовжніх ребер жорсткості.	$t_w \geq \frac{h_w}{5,5} \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ (1)
2	Умови збереження форми при транспортуванні й монтажі.	$t_w \approx 3h + 7$ (2)
3	Умова забезпечення корозійної стійкості.	$t_w \geq 8\text{мм}$
4	Можливість забезпечення місцевої стійкості стиснутої полиці без обрамлення.	$\frac{b_f - t_w}{t_f} \leq 0,5 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}}$ (3)
5	Забезпечення жорсткості з площини балки. Рівномірне розподілення напружень в полицях. Можливість улаштування опорного вузла.	$b_f \approx \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{5}\right) h \geq 180\text{мм}$ (4)
6	Технологічна можливість зварювання поясних швів.	$t_w \leq t_f \leq 3t_w$ (5)

Висота стінки визначалася як різниця модульної висоти балки та двох товщин полиць, але при оцінюванні показника ефективності перерізу враховувалася найближча більша стандартна ширина заготовки, з якої можна виготовити стінку. Товщина стінки

завжди приймалася мінімально необхідною для забезпечення місцевої стійкості згідно з вимогами [1]. Таке рішення є очевидною вимогою при компонованні ефективного перерізу двотавра для роботи на згин.

Для кожного скомпонованого двотавра визначалася площа перерізу A , момент опору W та несуча здатність стінки за умовою зрізу

$$Q_{max} \leq 0,387 h_w \cdot R_y \cdot t_w \cdot \gamma_c, \quad (6)$$

де коефіцієнт 0,387 враховує максимальні напруження зрізу в прямокутному перерізі стінки та співвідношення між розрахунковими опорами розтягу та зрізу.

Перебір усіх можливих комбінацій висоти двотавра, товщини стінки, ширини й товщини полицок, які відповідають вимогам таблиці 1, дав 676 варіантів зварних двотаврів з площами поперечного перерізу $A = 180 \dots 720 \text{ см}^2$ та моментами опору $W = 6680 \dots 55345 \text{ см}^3$. Кожному значенню висоти двотавра відповідає досить широкий діапазон зміни моментів опору, тому в більшості випадків можна підібрати декілька перерізів різної висоти з необхідним моментом опору. Це дозволяє врахувати архітектурно-компоновальні вимоги, а також забезпечити жорсткість балки та несучу здатність за умовою зрізу стінки.

Характеристики отриманих 676 перерізів зведені в таблицю, яка представляє собою повний сортамент зварних двотаврів висотою 1400...2200 мм та дозволяє проаналізувати несучу здатність та ефективність цих перерізів.

Аналіз ефективності перерізів зварних двотаврів. Мета оптимізації перерізу двотавра полягає у тому, щоб отримати балку з максимальною несучою здатністю при мінімальній площі перерізу. У якості критерію відбору оптимальних перерізів зі сформованого повного сортаменту використано безрозмірний показник ефективності, рекомендований [3]:

$$\alpha_{zag} = \frac{W}{\sqrt{A_{zag}^3}}, \quad (7)$$

де W – момент опору перерізу; A_{zag} – площа перерізу заготовок, з яких виготовляється балка.

При визначенні показника ефективності (7) враховується не фактичний переріз стінки, а найменший можливий переріз заготовки стандартної ширини, з якої буде виготовлена стінка. Включення до показника (7) відходів, отриманих при доведенні висоти стінки до заданого розміру, обумовлює урахування повних заводських витрат сталі на виготовлення балок модульної висоти.

У якості прикладу на рис. 1 наведена залежність показника ефективності α_{zag} від моменту опору для двотаврів висотою 1800 мм з товщиною стінки 12 мм. Ця залежність має вигляд серії кривих, кожна з яких відображає балки з певною товщиною полиці t_f . Наприклад, при товщині полиці 14 мм можна скомпонувати лише три перерізи, які відповідають обмеженням з таблиці 1 і мають ширину полиць 360 мм, 380 мм і 400 мм. З ростом товщини полиці кількість можливих варіантів перерізів зростає до 12.

Зв'язок між параметрами перерізу та показником ефективності відображено в табл. 2, де для декількох перерізів наведені розміри полиць, моменти опору W , площі перерізу стінки A_w та двох полиць $2 \times A_f$, а також значення показника ефективності перерізу α_{zag} .

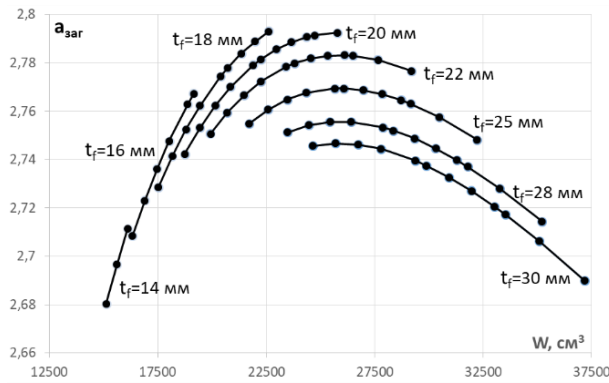


Рис. 1. Залежність показника ефективності α_{zag} перерізів висотою 1800 мм від моменту опору W

Таблиця 2 – Розміри, геометричні характеристики та показники ефективності двотаврових перерізів

№	Переріз стінки	Переріз полиць	W, cm^3	A, cm^2	A_w, cm^2	$2 \times A_f, \text{cm}^2$	α_{zag}
1	1722×12	360×14	15114	313,4	212,6	100,8	2,68
2	1740×12	600×30	37185	568,8	208,8	360,0	2,69
3	1762×12	520×18	22612	398,9	211,7	187,2	2,79
4	1750×12	380×25	22584	400,0	208,8	190,0	2,76
5	1440×10	450×30	22769	414,0	144,0	270,0	2,61

Дані таблиці показують, що при висоті двотавра 1800 мм переріз № 1 з найменшим моментом опору $W = 15114 \text{ cm}^3$ має мінімальний показник ефективності $\alpha_{zag} = 2,68$ та площу полиць, удвічі меншу від площі стінки. Переріз № 2 з найбільшим моментом опору також має малий показник ефективності $\alpha_{zag} = 2,69$ та площу полиць, набагато більшу від площі стінки. Найвищий показник ефективності має переріз № 3, площа двох полиць якого близька до площі стінки, що відповідає визначенню оптимальної висоти балки [2, 3]. Перерізи № 4 і № 5 мають моменти опору, близькі до найбільш ефективного перерізу № 3. При показнику ефективності $\alpha_{zag} = 2,76$ площа перерізу № 4 з висотою 1800 мм лише на 0,3% перевищує площу максимально ефективного двотавра № 3. Площа перерізу № 5 з висотою 1500 мм та показником ефективності $\alpha_{за} = 2,61$ на 3,8% більша від площі перерізу № 3. Такі співвідношення вказують на близьку реальну ефективність запроєктованих перерізів в межах однієї висоти та на помітні відмінності при зміні висоти двотавра.

На рис. 2 зображені залежності показника ефективності від моменту опору для усіх запроєктованих перерізів. Показник ефективності (7) для проаналізованих перерізів загалом може змінюватися в межах від 2,60 до 2,88. Як і на рисунку 1, кожна крива відповідає певній висоті балки та товщині полиці, а зміни моменту опору в межах однієї кривої відбуваються за рахунок зміни ширини полиць. Сукупності близько розміщених кривих описують балки певної висоти при різній товщині полиць. Кожна з таких сукупностей загалом має випуклий характер, що дозволяє виділити декілька найбільш ефективних балок даної висоти.

Рекомендації щодо вибору перерізів зварних балок. При проектуванні зварних балок необхідно вибрати максимально ефективний переріз, який задовольняє вимоги ДБН [1] до міцності та місцевої стійкості, відповідає вимогам до модульності та будівельної висоти, а також конструктивним і технологічним обмеженням, вказаним в таблиці 1.

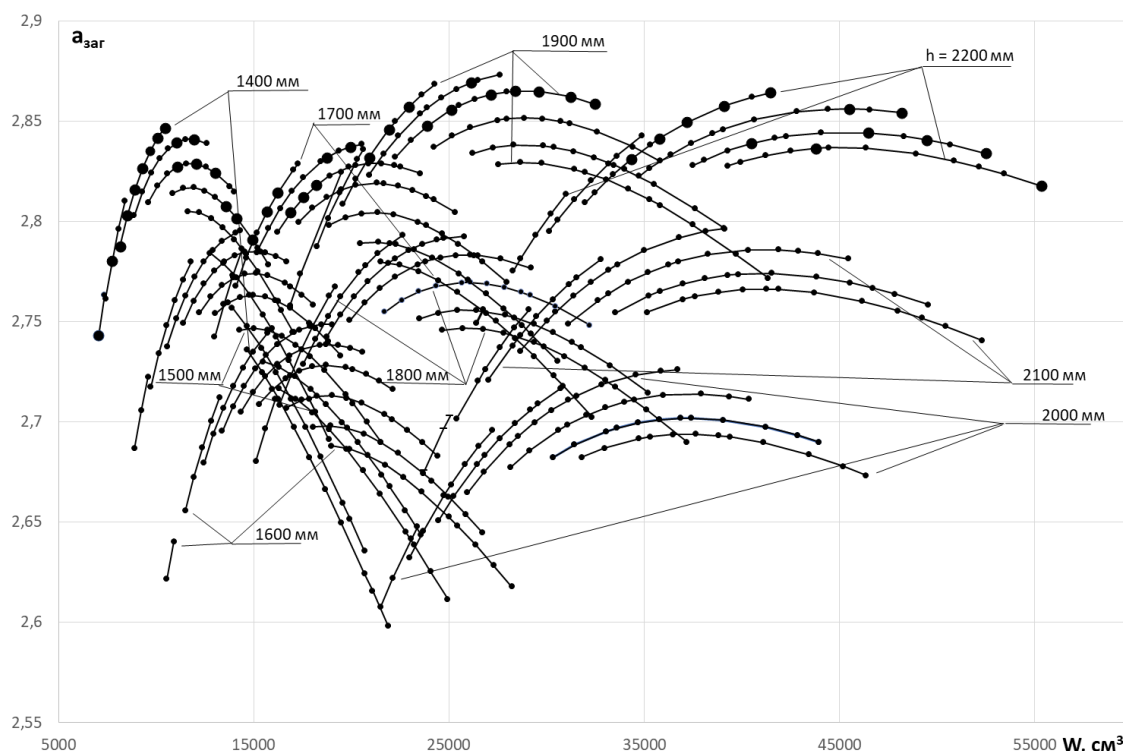


Рис. 2. Залежності показника ефективності $\alpha_{заг}$ від моменту опору W перерізів двотаврів

Графічне вирішення цієї задачі можливе з використанням рис. 2, на якому можна обрати переріз з необхідним значенням моменту опору при заданій висоті та з найбільшим при цих параметрах показником ефективності перерізу. Незручність такого рішення полягає в неможливості позначити усі 676 перерізів на графіках рис. 2. Заміною графіку може слугувати зведена таблиця (повний сортамент), яка містить дані усіх проаналізованих перерізів, відсортовані в такому порядку:

- висота двотавра;
- момент опору;
- площа поперечного перерізу;
- показник ефективності $\alpha_{заг}$ за (7);
- несуча здатність стінки з умови зрізу;
- розміри полиць та стінки;
- інші геометричні характеристики перерізу.

Обраний порядок сортування характеристик дозволяє досить швидко підібрати з розробленого повного сортаменту зварних двотаврів переріз балки, який відповідає усім вказаним вище вимогам при найвищому можливому значенні показника ефективності $\alpha_{заг}$.

Отримані дані дозволили також сформулювати скорочений сортамент зварних двотаврів з модульними розмірами. Виходячи з традиційної вимоги забезпечення запасів міцності у межах 5%, послідовність моментів опору перерізів з розробленого сортаменту утворює геометричну прогресію зі знаменником, близьким до 1,05. Ефективність розробленого сортаменту забезпечується тим, що до нього включалися перерізи з найбільшими значеннями показника ефективності (7). До скороченого сортаменту увійшли двотаври висотою 1400 мм, 1700 мм, 1900 мм і 2200 мм, які відображені на рис. 2 маркерами більшого розміру.

Сортамент містить усі необхідні геометричні характеристики поперечних перерізів 48 складених двотаврів з моментами опору 7048...55346 см². Разом з чинним сортаментом прокатних двотаврів він забезпечує можливість проектування балок для широкого діапазону прольотів та навантажень.

При практичному проектуванні балок з найбільш популярних сталей С245 та С255 рекомендується такий порядок підбору перерізів з розробленого скороченого сортаменту:

- розробляється розрахункова схема, визначаються навантаження та внутрішні зусилля в балці, обирається клас сталі та обчислюється необхідне значення моменту опору;
- за моментом опору вибирається переріз із скороченого сортаменту, розробленого авторами для сталі С255;
- з урахуванням архітектурно-планувального вирішення об'єкта перевіряється можливість використання балки отриманої висоти;
- виконується перевірка несучої здатності стінки з умови зрізу;
- виконується перевірка жорсткості балки, постановка поперечних ребер жорсткості та перевірка місцевої стійкості стінки.

Якщо балка, вибрана із скороченого сортаменту, є недопустимо високою, слід перейти до використання повного сортаменту з 676 профілів. При недостатній несучій здатності стінки слід збільшити її товщину поблизу опор, або вибрати з повного сортаменту вищу балку з більшою площею перерізу стінки. Слід відмітити, що дослідження виконане з урахуванням характеристик сталі С255, яка найчастіше використовується для виготовлення зварних балок. При використанні сталей з вищими характеристиками міцності слід додатково перевірити виконання умов місцевої стійкості стінки та стиснутої полиці.

Висновки за результатами дослідження:

1. Представлена методика вибору перерізів з сукупності усіх можливих рішень, попередньо утворених з урахуванням модульної висоти, конструктивних і технологічних обмежень та стандартних розмірів листового прокату, дозволила сформулювати сортамент зварних двотаврів з високими показниками ефективності.

2. У межах однієї висоти перерізи двотаврів з близькими значеннями моменту опору мають приблизно однакову реальну ефективність, а зміна висоти профілю викликає помітні відмінності площі та показника ефективності перерізу.

3. Розроблений скорочений сортамент із 48 найбільш ефективних профілів забезпечує можливість проектування балок для широкого діапазону прольотів та навантажень і може бути використаний у якості бібліотеки для автоматизованого проектування.

4. Для застосування при проектуванні сталевих конструкцій доцільно розробити за представленою методикою сортаменти зварних двотаврів зі сталей підвищеної міцності з утворенням рекомендованого сортаменту найбільш ефективних профілів для застосування в будівництві.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. К.: Мінрегіон України, 2014.
2. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції: підручник / за ред. Ф.Є. Клименка: 2-ге видання, випр. і доп. Львів: Світ, 2002. 312 с.
3. Муханов К. К. Металлические конструкции: Учебник для вузов. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Стройиздат, 1978. 572 с.
4. Вахуркин В.М. Наиболее выгодная форма двутавровых балок. Бюллетень строительной техники. 1949. № 21. С. 3-8.
5. Окрайнец Г.А. Обобщенная методика выбора оптимальной высоты металлических конструкций балок. Труды ХИСИ, 1962. вып. 19.
6. Васильков Ф.В., Туманов В.А. Подбор оптимальных сечений и характеристики веса стальных двутавровых балок. Изв. вузов: Стр-во и архитектура, 1975. №3. С. 7-11.
7. Бельский Г.Е. Методика определения размеров сечений стальных балок минимальной массы. Новые формы и прочность металлических конструкций: Сб. науч. тр. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1989. С. 116- 129.
8. Пермяков В.А., Перельмутер А.В., Юрченко В.В. Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций. Киев: Сталь, 2008. 538 с.
9. Ведяков И.И., Конин Д.В., Еремеев П.Г. Разработка нового стандарта (ГОСТ Р) для выпуска двутавров с широкими полками. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2017. № 3-4. С. 40–43.

10. Гордеев В.Н. Элементарные задачи оптимизации двутавра. Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. К.: Вид-во «Сталь», 2009. вип. 3. С. 27-47.
11. Tusnin A., Prokic M. Selection of parameters for I-beam experimental model subjected to bending and torsion. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 111. –pp. 789-796.
12. Перетяцько Ю.Г., Агеєнко С.Б., Ляшенко І.Ю., Мамметгулієв М., Доан Ван Х., Текепалванов А. Об исходных параметрах расчетной схемы поперечной рамы стального каркаса одноэтажного производственного здания. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2016. 2(84). С. 148-154.
13. Перетяцько Ю.Г., Чередник Д.Л., Агеєнко С.Б., Ляшенко І.Ю., Коюнджу А., Менлієв О. Расчет поперечной рамы стального каркаса по второму предельному состоянию. *Науковий вісник будівництва*. 2017. Т. 88. № 2. С. 98-104.
14. Лихтарников Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. 319 с.
15. Путеева Л.Е., Тухфатуллин Б.А. Оптимальное проектирование тонкостенных стержней при ограничениях по прочности, жесткости и устойчивости. *Труды НГАСУ*. Новосибирск: НГАСУ. 2000. Т. 3. № 1 (8). С. 26-30.
6. Vasil'kov F.V., Tumanov V.A. Podbor optimal'nyh sechenij i harakteristiki vesa stal'nyh dvutavrovyyh balok. *Izv.vuzov. Str-vo i arhitektura*. 1975. №3. S.7-11.
7. Bel'skij G.E. Metodika opredeleniya razmerov sechenij stal'nyh balok minimal'noj massy. *Novye formy i prochnost' metallicheskih konstrukcij*: Sb. nauch. tr. M.: CNIISK im. V.A.Kucherenko, 1989. S. 116-129.
8. Permyakov V.A., Perel'muter A.V., YUrchenko V.V. Optimal'noe proektirovanie stal'nyh stержnevyyh konstrukcij. Kiev: Stal', 2008. 538 s.
9. Vedyakov I.I., Konin D.V., Ereemeev P.G. Razrabotka novogo standarta (GOST R) dlya vypuska dvutavrov s shirokimi polkami. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii HKHI veka*. 2017. № 3-4. S. 40-43.
10. Gordeev V.N. Elementarnye zadachi optimizacii dvutavra. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho naukovo-doslidnoho ta proektnoho instytutu stalevykh konstruksii imeni V.M. Shymanovskoho*. K.: Vyd-vo «Stal», 2009. vyp. 3. S. 27-47.
11. Tusnin A., Prokic M. Selection of parameters for I-beam experimental model subjected to bending and torsion. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 111. pp. 789-796.
12. Peretyat'ko Yu.G., Ageenko S.B, Lyashenko I.YU., Mammetguliev M., Doan Van H., Tekepalvanov A. Ob iskhodnyh parametrah raschetnoj skhemy poperechnoj ramy stal'nogo karkasa jednoetazhnogo proizvodstvennogo zdaniya. *Naukovij visnik budivnictva*. Harkiv: HNUBA, 2016. №2(84). S. 148-154.
13. Peretyat'ko Yu. G., Cherednik D. L., Ageenko S. B., Lyashenko I. Yu., Koyundzhu A., Menliev O. Raschet poperechnoj ramy stal'nogo karkasa po vtoromu predel'nomu sostoyaniyu. *Naukovij visnik budivnictva*. 2017. Т. 88. № 2. S. 98-104.
14. Lihtarnikov YA. M. Variantnoe proektirovanie i optimizaciya stal'nyh konstrukcij. M.: Strojizdat, 1979. 319 s.
15. Puteeva L.E., Tuhfatullin B.A. Optimal'noe proektirovanie tonkostennyh stержnej pri ogranicheniyah po prochnosti, zhestkosti i ustojchivosti. *Trudy NGASU*. Novosibirsk: NGASU. 2000. Т. 3. № 1 (8). S. 26-30.

REFERENCES:

Portnov G., Pashynskiy V., Nastoyashchiy V., Skrynnik I. SELECTING A RATIONAL CROSS-SECTION OF COMPOUND I-BEAMS CONSIDERING CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL RESTRICTIONS. The classic method of configuring a compound I-beam for bending moment resistance is based on determining the optimal beam height that corresponds to the minimum steel consumption. The disadvantage of this approach is that it does not take into account the real dimensions of sheet metal, as well as design and technological restrictions on the ratio of the flanges and the web dimensions. The purpose of the article is to develop a method for determining the rational cross-section of a welded I-beam of modular height, taking into account a complex of architectural, design and technological requirements and limitations, as well as standard dimensions of sheet metal. The choice of rational cross-sections was carried out by enumerating all possible layout options for the welded I-beams of a given height, the parameters of which correspond to the specified requirements. As a selection criterion,

an efficiency indicator was used, which allows to identify I-beams with the maximum possible elastic section modulus with a minimum cross-sectional area. It has been found that I-beams of the same height have similar cross-section efficiency indicators. Changing the height of the I-beam can significantly change the cross-section efficiency. A shortened assortment of welded I-beams has been formed, the height of which is a multiple of 100 mm, the values of the elastic section modulus form a geometric progression with a denominator of about 1.05, and the efficiency indicator of the cross-section are the highest for the accepted elastic section modulus. Cross-sections from the developed assortment correspond to standard dimensions of sheet metal, conditions of local stability of the web and compressed flange, other structural and technological requirements and provide the possibility to select cross-sections of beams with safety margins within 5%.

Keywords: welded I-beams, cross-section efficiency indicator, shortened assortment.

doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-115-121

УДК 65.05; 628.23

Солодовник Ю.Ю., Рюмін В.В., Рюміна Є.А.

Харківський національний університет будівництва і архітектури

(вул. Сумська, 40, Харків, 6102, Україна; e-mail: solladesig@gmail.com, luger09par@yahoo.com,

e.a.perepelica@gmail.com; orcid.org/0000-0002-5243-9993, orcid.org/0000-0001-8884-589X,

orcid.org/0000-0002-0574-0038)

РОЗРАХУНОК РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ФАКТИЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ ВУЗЛОВИХ ЗЄДНАНЬ

Прийнятий підхід до розглядання вузлового з'єднання елементів сталевих конструкцій як абсолютно жорсткого або як шарнірного не дозволяє адекватно оцінити розподілення внутрішніх зусиль при статичному розрахунку. На підставі діючих в Україні норм проектування сталевих конструкцій неможливо надати класифікацію вузлового з'єднання, а також оцінити його несучу здатність. Проведені дослідження показують необхідність урахування такого параметра як початкова оберտальна жорсткість $S_{j,ini}$ при аналізі розрахункових схем сталевих конструкцій.

Ключові слова: початкова оберտальна жорсткість, вузол, колона, балка.

Вступ. Як відзначається в [1-5] традиційний підхід до представлення в розрахунковій схемі вузлового з'єднання у вигляді шарніра або у вигляді жорсткого з'єднання не може привести до адекватних результатів її статичного розрахунків. Діючі в Україні норми проектування сталевих конструкцій [6] ніяк не класифікують вузлові з'єднання сталевих конструкцій, і не надають ніяких вказівок відносно їх розрахунків. Норми ЄСЗ оперують двома поняттями «вузол» і «з'єднання». Поняття «вузол» містить у собі не тільки зону з'єднання елементів які стикуються, але також і ділянки елементів, що прилягають до цієї зони. «З'єднання», у свою чергу, це набір компонентів, що з'єднують елементи які його утворюють. У нормах ЄСЗ дані вказівки до визначення початкової жорсткості вузла $S_{j,ini}$ [8].

Метою даної роботи було визначення впливу, як способів моделювання, так і величини початкової оберտальної жорсткості вузла $S_{j,ini}$ на результати статичного розрахунку рамної конструкції. У роботі виконано статичний аналіз рамної конструкції яка представлена на рис. 1. У роботі [9] були проведені подібні дослідження, однак розглядалася однопрілітна рама.