

БУДІВНИЦТВО

УДК 624.014:621.873.874

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).228-235](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).228-235)

В.А. Пашинський, проф., д-р техн. наук, **І.О. Скриннік**, доц., канд. техн. наук,
І.В. Харченко, доц., канд. екон. наук, **С.Л. Хачатурян**, доц., канд. техн. наук
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна*
e-mail: pva.kntu@gmail.com

Вагові характеристики та області раціонального використання сталевих балок у будівлях та конструкціях вантажопідйомних машин

За результатами експериментального проектування сталевих балок чотирьох типів виявлені та описані залежності їх маси від прольоту й діючого навантаження. Встановлено, що при малих навантаженнях і великих прольотах власна вага балок може перевищувати 20% корисного навантаження. Розроблені укрупнені розцінки на виготовлення та монтаж сталевих балок і колон різних типів. З урахуванням несучої здатності, металоемності та вартості надані рекомендації щодо раціонального використання балок різних типів.

сталеві балки, металоемність, вартість, області раціонального використання

В.А. Пашинский, проф., д-р техн. наук, **И.О. Скрынник**, доц., канд. техн. наук,
И.В. Харченко, доц., канд. екон. наук, **С.Л. Хачатурян**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

Весовые характеристики и области рационального использования стальных балок в зданиях и конструкциях грузоподъемных машин

По результатам экспериментального проектирования стальных балок четырех типов выявлены и описаны зависимости их массы от пролета и действующей нагрузки. Выявлено, что при малых нагрузках и больших пролетах собственный вес балок может превышать 20% полезной нагрузки. Разработаны укрупненные расценки на изготовление и монтаж стальных балок и колонн различных типов. С учетом несущей способности, металлоемкости и стоимости даны рекомендации относительно рационального использования балок различных типов.

стальные балки, металлоемкость, стоимость, области рационального использования

Постановка проблеми. На першому етапі проектування покрівель і перекрить виробничих, громадських і сільськогосподарських будівель, а також конструкцій вантажопідйомних машин (підвісних, мостових і козлових кранів тощо) часто виникає необхідність оцінити доцільність використання сталевих балок різних типів. Важливим інструментом такого вибору може бути попередня оцінка металоемності та вартості балок різних типів ще до їх початку реального проектування. Для цього потрібно встановити залежності показників металоемності та вартості від діючого навантаження, типу та прольоту балок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для орієнтовного попереднього оцінювання металоемності в літературі зазвичай рекомендується виконувати наближені розрахунки конструкцій. Одним з перших способів визначення витрат сталі без проектування конструкції є метод характеристик маси, описаний в [1]. Цей метод не набув поширення унаслідок його складності та трудомісткості, близької до виконання

наближених розрахунків. Використання досвіду проектування аналогічних конструкцій (наприклад, масу балки рекомендується приймати рівною 3...5% від навантаження на неї, а масу кроквяних ферм – у межах 20...40 кг/м² покрівлі) [2] часто призводить до значних похибок. У попередні роки магістрантами кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва ЦНТУ виконано ряд досліджень [3, 4, 5] та інших, у яких за результатами експериментального проектування отримані залежності витрат сталі на балкові конструкції від основних конструктивних факторів. Досвід показав, що такий підхід є досить перспективним, але для отримання практично корисних рекомендацій з попереднього оцінювання металоємності балкових конструкцій необхідно доповнити дослідження [3, 4, 5] аналізом інших типів балок, узагальнити й систематизувати отримані результати.

Постановка завдання. За результатами експериментального проектування отримати залежності для попереднього визначення металоємності сталевих балок різних типів та навантажень від їх ваги, а також окреслити області раціонального використання балок досліджених типів з урахуванням критеріїв металоємності та вартості.

Виклад основного матеріалу. Методика досліджень. Для подальшого аналізу використані результати експериментального проектування сталевих балок чотирьох типів, перелічених у таблиці 1. Експериментальне проектування виконувалося під керівництвом авторів статті в магістерських роботах [3, 4, 5], а також доповнювалося в даній роботі. Балки проектувалися для різних комбінацій прольоту та граничного розрахункового значення погонного навантаження, які були встановлені за несучою здатністю балок та областю їх можливого використання. Згідно з вказівками ДБН [6], балки виконувалися з широко вживаної напівспокійної маловуглецевої сталі С 245. Підбір перерізів здійснювався в середовищі Microsoft Excel згідно з вимогами норм проектування будівельних сталевих конструкцій [6].

Таблиця 1 – Характеристики запроєктованих балок

Тип балок	L, м	Кількість	g, кг/м	p, %
Прокатні за сортаментом [7]	3...24	56 / 42	8...315	0,3...25,9
Перфоровані на основі сортамента [7]	6...30	35 / 24	13...336	0,7...22,3
Зварні за сортаментом [5]	3...36	70 / 61	6...545	0,3...35,9
Зварні індивідуального проектування	6...36	42 / 42	13...976	0,6...31,4

Джерело: розроблено авторами з використанням [5, 7].

Балки усіх типів проектувалися під навантаження в межах 5...150 кН/м. Різні межі зміни прольотів, наведені в таблиці 1, обумовлені обмеженнями сортаментів балок різних типів. У графі "Кількість" через дріб указана кількість можливих комбінацій прольоту й навантаження та фактична кількість підібраних перерізів. За винятком зварних балок індивідуального проектування, остання є дещо меншою внаслідок недостатньої несучої здатності профілів використаних сортаментів. Останні графі таблиці містять значення погонної маси g кг/м та відносної ваги балок p, %.

Прокатні балки та балки з перфорованою стінкою запроєктовані з двотаврів балкового типу з паралельними гранями полицок за сортаментом [7]. Оскільки висота перфорованих балок приблизно в 1,4 рази більша від висоти вихідного прокатного двотавра, вони мають більшу жорсткість і можуть працювати при більших прольотах. Зварні балки запроєктовані у двох варіантах. Балки на основі розробленого в [5] сортаменту прокатних двотаврів мають висоту до 1700 мм та відповідні обмеження за несучою здатністю. Перерізи балок індивідуального проектування компонується

окремо для кожної комбінації прольоту й навантаження, а їх висота сягає 2640 мм. При обчисленні витрат сталі на зварні балки і балки з перфорованою стінкою враховувалися також поперечні ребра жорсткості, якщо їх встановлення вимагають умови норм [6] щодо забезпечення місцевої стійкості стінки.

Області можливого та раціонального використання балок різних типів із сталі С 245 орієнтовно встановлені за результатами проведеного експериментального проектування. На кожному з графіків рисунка 1 показані три зони можливих комбінацій прольоту й навантаження на балку, які відповідають таким критеріям підбору перерізу:

"міцність" – зона підбору перерізу з повним використанням міцності сталі;

"жорсткість" – зона підбору перерізу за вимогами другого граничного стану (жорсткості), коли переріз балки є недонапруженим;

"непридатні" – зона комбінацій прольоту й навантаження, при яких переріз балки з використаного сортаменту підібрати неможливо; для зварних балок індивідуального проектування ця зона відсутня.

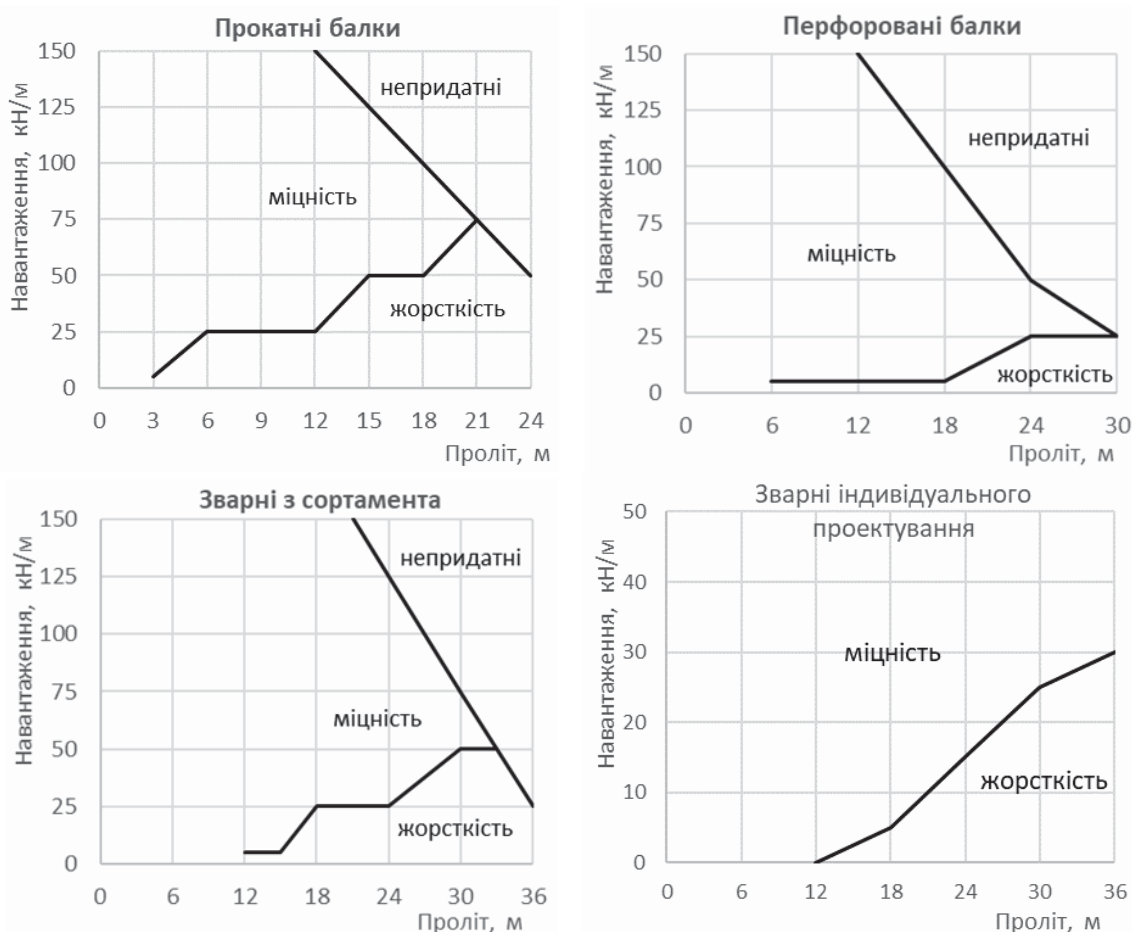


Рисунок 1 – Галузі можливого використання балок різних типів

Джерело: розроблено авторами

Графіки з рисунка 1 дозволяють при відомих значеннях прольоту й навантаження оцінити можливість та раціональність використання балок певного типу. Наприклад, при прольоті $L = 18$ м і граничному розрахунковому значенні навантаження $q = 30$ кН/м прокатна балка з двотавра балкового типу за сортаментом [7] буде підібрана за критерієм жорсткості, що робить її нераціональною. Балки інших типів

підбираються з повним використанням міцності сталі С 245. При тому ж прольоті та навантаженні $q = 130$ кН/м можна запроектувати тільки зварну балку за сортаментом [5] або зварну балку з індивідуальною компоновкою перерізу. Перерізи прокатної балки та балки з перфорованою стінкою для таких умов підібрати неможливо унаслідок обмеженості наявного сортаменту [7] прокатних двотаврів.

Вагові характеристики балок встановлені й проаналізовані за результатами експериментального проектування балок чотирьох типів, охарактеризованих в таблиці 1. Основною ваговою характеристикою балок є погонна маса. Аналіз результатів експериментального проектування показав, що залежність погонної маси балок усіх типів від прольоту L та погонного навантаження q на можна описати виразом:

$$g = (A \times L + B \times L^2) \times \sqrt{q} + C. \quad (1)$$

Відносна вага балки дорівнює відсотку власної ваги балки відносно граничного розрахункового значення діючого корисного навантаження. Її залежність від прольоту й навантаження може бути описана виразом

$$p = \frac{D \times L + E \times L^2}{\sqrt{q}} + F. \quad (2)$$

Коефіцієнти A, B, C, D, E, F залежностей (1) і (2) обчислені на основі методу найменших квадратів з використанням функції Microsoft Excel "Пошук рішення" і наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти формул (1) і (2) для обчислення вагових характеристик балок

Тип балок	Формула (1)			Формула (2)		
	A	B	C	D	E	F
Прокатні за сортаментом [7]	1,150	0,046	-1,8	0,904	0,059	0,06
Перфоровані на основі сортамента [7]	1,267	0,016	-6,6	0,682	0,037	0,25
Зварні за сортаментом [5]	1,270	0,028	-10,5	0,650	0,052	0,08
Зварні індивідуального проектування	1,179	0,024	-7,1	0,646	0,039	0,24

Джерело: розроблено авторами з використанням [5, 7]

Для визначення повної маси балки того чи іншого типу необхідно результат обчислень за формулою (1) помножити на проліт балки. Формула (2) дозволяє урахувати власну вагу балок при визначенні навантажень на них. Звертає на себе увагу той факт, що відносна вага балок усіх типів різко зростає при великих прольотах і малих навантаженнях. При навантаженнях $5 \dots 15$ кН/м та прольотах понад 18 м відносна вага балок усіх типів перевищує 10%, а при подальшому збільшенні прольоту може досягнути 30% від діючого навантаження. Настільки великі частки власної ваги балок по відношенню до корисного навантаження не узгоджуються з відомими рекомендаціями і підкреслюють необхідність більш точного урахування власної ваги при проектуванні балкових конструкцій.

Укрупнені розцінки на виготовлення й монтаж балок і колон різних типів розроблені у формі аналітичних залежностей від маси конструкції та ціни використаного прокату. Для цього в середовищі програмного комплексу АВК складені

локальні кошториси на виготовлення й монтаж конструкцій масою від 0,2 т до 25 т. Заводська вартість балки чи колони включає вартість металу та допоміжних матеріалів, витрати на експлуатацію машин і механізмів, заробітну платню та загальнозаводські витрати. Вартість монтажу містить вартість допоміжних матеріалів, витрати на експлуатацію машин, заробітну платню та загальновиробничі витрати.

Аналіз розроблених кошторисів показав, що заводська вартість конструкцій практично пропорційна їх масі та ціні використаного прокату, а вартість монтажу залежить від виду конструкції (балка чи колона) та її маси. Залежності заводської вартості та вартості монтажу від маси балок і колон є лінійними, проходять близько до початку координат і досить точно описуються аналітичними виразами:

$$\text{вартість виготовлення} \quad C_3 = C_{II} K_3 G; \quad (3)$$

$$\text{вартість монтажу} \quad C_M = K_M G; \quad (4)$$

$$\text{сумарна кошторисна вартість} \quad C_K = G(C_{II} K_3 + K_M), \quad (5)$$

де C_3 – заводська вартість конструкції;

C_M – вартість монтажу конструкції;

C_K – повна кошторисна вартість конструкції;

K_3 – коефіцієнт для визначення заводської вартості;

K_M – коефіцієнт для визначення вартості монтажу;

C_{II} – ціна прокату, грн/т;

G – маса конструкції в тонах.

Значення коефіцієнтів у формулах (3), (4), (5) отримані шляхом апроксимації залежностей вартості від маси конструкцій за методом найменших квадратів:

- для конструкцій з прокатних двотаврів $K_3 = 1,11$;

- для конструкцій із зварних двотаврів $K_3 = 1,19$;

- для наскрізних конструкцій $K_3 = 1,49$;

- для балок і ферм $K_M = 2515$;

- для колон $K_M = 2100$.

Конкретні робочі формули для визначення вартості конструкцій різних типів отримуються шляхом підстановки до формул (1)...(3) відповідних значень коефіцієнтів K_3 і K_M . Зокрема, повна кошторисна вартість прокатної балки дорівнює

$$C_{КПР} = G(1,11 C_{II} + 2515), \quad (6)$$

$$\text{а зварної} \quad C_{КЗВ} = G(1,19 C_{II} + 2515). \quad (7)$$

Ринкову ціну прокату C_{II} , який використовується для виготовлення конструкції (лист, двотавр, кутник) можна встановити за сайтами торговельних організацій, а масу конструкцій G – за результатами її проектування або за формулою (1) і таблицею 2.

Подання розцінок у вигляді аналітичних виразів (3)...(7) дає змогу автоматизувати визначення вартості конструкцій і таким чином проаналізувати значну кількість різних проектних варіантів з метою вибору оптимального рішення.

Рекомендації з вибору оптимального конструктивного рішення базуються на отриманих залежностях для визначення показників металоємності та вартості балок. Порівняння можливих конструктивних рішень слід здійснювати у такому порядку:

1) за графіками рисунка 1 оцінюється можливість використання різних типів балок при заданому значенні прольоту й навантаженні;

2) за формулою (1) та коефіцієнтами з таблиці 2 обчислюються значення погонної та повної маси балок обраних типів;

3) за формулами (6), (7) визначаються значення вартості балок обраних типів;

4) оптимальне конструктивне рішення обирається за найменшими показниками металоємності та вартості з урахуванням технологічних можливостей виробника конструкцій та архітектурних вимог.

У якості прикладу в таблиці 3 наведені значення металоємності та вартості балки прольотом 18 м під погонне навантаження 60 кН/м. Згідно з графіками рисунка 1, при таких параметрах перерізи балок усіх чотирьох типів можуть бути підібрані за умовою міцності. Погонна маса балок визначена за формулою (1) з коефіцієнтами з таблиці 2, а повна маса отримана множенням погонної маси на проліт. Вартість 1 т двотаврового та листового прокату для виготовлення балок встановлена за сайтами торговельних організацій. Повна вартість прокатних балок обчислена за формулою (6), а балок усіх інших типів – за формулою (7).

Таблиця 3 – Вибір оптимального конструктивного рішення балки прольотом 18 м під навантаження 60 кН/м

Тип балок	Маса, т		Вартість, тис. грн	
	погонна	повна	1 т прокату	балки
Прокатні за сортаментом [7]	0,156	18,8	25,80	584,69
Перфоровані на основі сортамента [7]	0,129	15,5	25,80	514,26
Зварні за сортаментом [5]	0,139	16,7	19,50	428,33
Зварні індивідуального проектування	0,129	15,5	19,50	398,97

Джерело: розроблено авторами з використанням [5, 7]

З таблиці 3 видно, що найкращими за витратами сталі є балка з перфорованою стінкою та зварна балка індивідуального проектування, маса яких складає 15,5 т. Найдешевшим рішенням є зварна балка індивідуального проектування, вартість якої набагато менша від усіх інших варіантів за рахунок малої маси та низької ціни листового прокату. Отже, при заданих значеннях прольоту й навантаження раціональним за витратами сталі та вартості конструктивним рішенням є зварна балка індивідуального проектування. Аналогічним чином можна обирати доцільні типи балок для довільних комбінацій прольоту та діючого корисного навантаження і тим самим підвищувати ефективність використання балкових конструкцій.

Висновки. Здійснене розмежування областей раціонального використання балок різних типів, аналітично описані залежності вагових характеристик від прольоту й навантаження на балки, а також розроблені укрупнені розцінки на виготовлення та монтаж дозволяють обрати раціональне конструктивне рішення прокатної чи зварної балки при відомому прольоті та величині діючого корисного навантаження.

Подальші дослідження орієнтуються на порівняльний аналіз показників металоємності та вартості балок з гнучкою та з гофрованою стінкою, а також ферм різних типів. Нові результати розширяють можливості вибору оптимальних конструктивних форм покриттів і перекриттів та сприятимуть зростанню економічності сталевих конструкцій, що працюють на згин.

Список літератури

1. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. Москва: Стройиздат, 1979. 319 с.
2. Металлические конструкции. Учебник для студентов высших учебных заведений / Ю.И. Кудишин и др.; под редакцией Ю.И. Кудишина. 10-е издание. Москва: Издательский центр "Академия", 2007. 688 с.

3. Ірклієнко В.Ю. Вагові показники прокатних балок. *Досвід впровадження в навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій*: зб. матеріалів V студ. наук.-прак. семінару. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 63-68.
4. Хорольська Н.О. Автоматизація розрахунків і вагові показники зварних двотаврових балок. *Досвід впровадження в навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій*: зб. матеріалів V студ. наук.-прак. семінару. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 142-148.
5. Віняр П.С. Методика і результати розроблення сортаменту тонкостінних зварних двотаврів. *Наука-виробництво, 2019*: тези доп. студ. та магістр. на ЛІІІ наук. конф., квітень 2019 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 42-46.
6. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Київ: Мінрегіон України, 2014. 199 с.
7. ГОСТ 26020-83. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент. Москва, 1984. 14 с.

References

1. Likhtarnikov, Ya.M. (1979). *VARIANTNOE PROEKTIROVANIE I OPTIMIZATSIYA STALNYKH KONSTRUKTSIY [Variant design and optimization of steel structures]*. Moscow: Stroyizdat [in Russian].
2. Kudishin Yu.I., Belenya E. I., Ignateva V.S. (2007). *Metallicheskie konstruktsii [Metal constructions]. Uchebnik dlya studentov vysshih uchebnykh zavedeniy. – Textbook for university students, Vol. 10.* Moscow: Academia [in Russian].
3. Irkliienko V.Iu. (2018). Vahovi pokaznyky prokatnykh balok [Weight characteristics of rolled beams]. *Dosvid vprovadzhennia v navchalnyi protses suchasnykh kompiuternykh tekhnolohii. Studentskyi naukovo-praktychnyi seminar – Experience of introducing modern computer technologies into the educational process. Student Scientific and Practical Seminar, Vol. 5.* – Kropyvnytskyi: CUNTU, 63-68 [in Ukrainian].
4. Khorolska N.O. (2018). Avtomatyzatsiia rozrakhunkiv i vahovi pokaznyky zvarnykh dvotavrovykh balok [Automation of calculations and weight indexes of welded H-beams]. *Dosvid vprovadzhennia v navchalnyi protses suchasnykh kompiuternykh tekhnolohii. Studentskyi naukovo-praktychnyi seminar – Experience of introducing modern computer technologies into the educational process. Student Scientific and Practical Seminar, Vol. 5.* – Kropyvnytskyi: CUNTU, 142-148 [in Ukrainian].
5. Viniar P.S. (2019). Metodyka i rezultaty rozroblennia sortamentu tonkostinnykh zvarnykh dvotavriv [Methodology and results of the development of the assortment of thin-walled welded H-beams]. *Nauka-vyrobnystvu, LIII naukova konferentsiia. – Science to production, LIII scientific conference – Kropyvnytskyi: CUNTU* [in Ukrainian].
6. DBN V.2.6-198:2014. Stalevi konstruktsii. Normy proektuvannia [Steel structures. Design standards]. K.: Minrehion Ukrainy [in Ukrainian].
7. GOST 26020-83. Dvutavryi stalnye goryachekatanye s parallelnymi granyami polok [Hot-rolled steel I-beam with parallel flange edges]. Moscow: IPK Publishing Standards [in Russian].

Victor Pashinskyi, Prof., DSc., **Ivan Skrynnik**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Igor Kharchenko**, Assoc. Prof., PhD econ. sci., **Khachaturian Serhii**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Weight Characteristics and Areas of Rational Use of Steel Beams in Buildings and Structures of Load-lifting Machines

The purpose of this work is to obtain dependencies for the preliminary determination of specific quantity of metal and loads from their weight of steel beams of different types, as well as outline the area of rational use of beams of the investigated types, taking into account the criteria of specific quantity of metal and their cost.

Experimental design of steel beams of four types is performed: rolled I-beams, perforated steel beams, from the developed assortment of welded H-beams and welded H-beams of individual design. Beam spans varied from 3 m to 36 m, and the design values of the loads were set equal to 5...150 kN/m. The indicated limits are selected taking into account the possible use of beams in load-lifting machines design, roof designs of production and civil buildings, as well as restrictions of assortments of I-beams. For beams of four types the areas of rational use according to criteria of durability and rigidity are defined. By analytical equations detected and described the dependence on the mass of projected beams to span and load. It is shown that for small loads and large spans, the own weight of beams can exceed 20% of the payload. The enlarged prices for manufacturing and installation of steel beams and columns of various types are developed. The presentation of weight characteristics and prices in the form of dependencies of the main constructive factors allows to estimate the

specific quantity of metal and the cost of beams of different types before their designing. The recommendations are given for rational use of beams of different types, taking into account their load-bearing capacity, specific quantity of metal and cost.

As a result of the studies performed, a distinction has been made between the areas of rational use of beams of various types, the dependencies of the weight characteristics on the span and the load on the beams are made, the enlarged prices for fabrication and installation have been described. The obtained results allows to choose a rational constructive solution of rolling or welded beams with a known span and the value of the payload

steel beams, specific quantity of metal, cost, areas of rational use

Одержано (Received) 17.04.2019

Прорецензовано (Reviewed) 22.04.2019

Прийнято до друку (Approved) 04.06.2019

УДК 624.042.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).235-243](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).235-243)

В.О. Семко, проф., д-р техн. наук, **В.А. Пашинський**, проф., д-р техн. наук,
С.О Джирма, доц., канд. техн. наук, **М.В. Пашинський**, канд. техн. наук
*Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна
e-mail: pva.kntu@gmail.com*

Температурний режим експлуатації будівель на території Кіровоградської області

Реалізована методика площинної апроксимації для визначення розрахункових параметрів температури повітря в заданій географічній точці. Дані довколишніх метеостанцій в радіусі 200...250 км описуються рівнянням площини, побудованим за методом найменших квадратів, з якого визначається величина розрахункового параметра. За даними ДСТУ "Будівельна кліматологія" отримані рівняння, які дозволяють обчислювати 25 розрахункових параметрів температури повітря в довільній точці Кіровоградської області.

температура повітря, розрахункові параметри, площинна апроксимація

В.О. Семко, проф., д-р техн. наук, **В.А. Пашинський**, проф., д-р техн. наук, **С.А. Джирма**, доц., канд. техн. наук, **М.В. Пашинський**, канд. техн. наук
Центральнoукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Температурный режим эксплуатации зданий на территории Кировоградской области

Реализована методика плоскостной аппроксимации для определения расчетных параметров температуры воздуха в заданной географической точке. Данные близлежащих метеостанций в радиусе 200...250 км описываются уравнением плоскости, построенным по методу наименьших квадратов, из которого определяется величина расчетного параметра. По данным ДСТУ "Строительная климатология" получены уравнения, позволяющие вычислять 25 расчетных параметров температуры воздуха в произвольной точке Кировоградской области.

температура воздуха, расчетные параметры, плоскостная аппроксимация

Постановка проблеми. Температура атмосферного повітря враховується при виконанні теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій та проектуванні міської забудови. У ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія" [1] наведені середні та розрахункові значення температури повітря, а також тривалості холодного й жаркого періодів для 57 міст України, у тому числі – для трьох міст Кіровоградської