

УДК 624.014

В. А. Пашинський*

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5474-6399>

Кафедра Будівельних дорожніх машин і будівництва

Центральноукраїнський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, Кропивницький, Україна, 25006

М. В. Пашинський

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2669-523X>

Кафедра Будівельних дорожніх машин і будівництва

Центральноукраїнський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, Кропивницький, Україна, 25006

*автор-кореспондент, e-mail: pva.kntu@gmail.com

Аналіз конструктивних параметрів і вагових характеристик сталевих балок з гнучкою стінкою

Цитувати як:

Пашинський, В. А., Пашинський, М. В. (2026). Аналіз конструктивних параметрів і вагових характеристик сталевих балок з гнучкою стінкою. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 25, 5-17. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-01)

© 2026, Автори. Публікується згідно рекомендацій ліцензії [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Анотація. У статті наведено результати аналізу параметрів поперечного перерізу та вагових характеристик сталевих балок з гнучкою стінкою. Шляхом експериментального проектування балок прольотами 12...36 м під навантаження 5...45 кН/м отримано та описані простими апроксимуючими виразами залежності раціональної висоти перерізу, умовної гнучкості стінки та погонної маси балок від їх прольоту, погонного навантаження та розрахункового опору сталі.

Розрахунки виконані з використанням розробленого в середовищі Microsoft Excel розрахункового бланку, який дозволяє в інтерактивному режимі підібрати двотавровий переріз балки мінімально можливої маси за умов виконання граничних нерівностей та конструктивних вимог до балок з гнучкою стінкою, встановлених ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції". Проаналізовано 75 балок (по 5 значень прольоту й навантаження і 3 значення розрахункового опору сталі). Для кожної комбінації прольоту й навантаження раціональна висота стінки обрана з кількох висот за критерієм мінімуму погонної маси балки або за критерієм жорсткості.

Встановлено, що раціональна висота перерізу, умовна гнучкість стінки та металоемність балок загалом зростають при збільшенні прольоту й погонного навантаження. Збільшення розрахункового опору сталі призводить до зменшення висоти й металоемності балок малих прольотів під великими навантаженнями, але може викликати зростання висоти й металоемності при великих прольотах і малих навантаженнях, коли вирішальним є критерій жорсткості. Це ставить під сумнів доцільність використання сталей підвищеної міцності для виготовлення балок з гнучкими стінками.

Отримані залежності дозволяють за заданими значеннями прольоту, погонного навантаження та розрахункового опору сталі обрати висоту й умовну гнучкість стінки, які забезпечують вибір раціонального перерізу балки з гнучкою стінкою, а також попередньо оцінити її металоємність.

Ключові слова: балки з гнучкою стінкою, раціональна висота балки, умовна гнучкість стінки, металоємність

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Балки з гнучкою стінкою є одним з ефективних типів сталевих конструкцій [1, 2, 3]. Їх особливість полягає в тому, що тонка стінка двотаврового перерізу працює в закритичній стадії, може втрачати місцеву стійкість та частково виключатися з роботи на згин. При цьому істотне зменшення товщини стінки та площ полиць унаслідок зростання висоти балки обумовлює зниження металоємності балок з гнучкою стінкою порівняно зі звичайними зварними балками [2, 3].

Дослідженню роботи балок з гнучкою стінкою, у тому числі у складі рамних конструкцій, присвячені роботи вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема [3...9]. У статтях [3, 4] за результатами аналізу відомих методів розрахунку запропонована умова міцності двотаврових елементів рам змінної жорсткості з гнучкою стінкою при одночасній дії поздовжньої та поперечної сили й згинального моменту. У роботі [5], яка базується на результатах випробувань рами натурних розмірів, запропонована методика розрахунку елементів каркасу з гнучкими стінками на основі розгляду несучої здатності поясів та максимальних напружень у деформованій стінці. Стаття [6] присвячена урахуванню спільної роботи тонкостінної балки з покрівельним настилом, прикріпленим до верхнього поясу. Розрахунки на основі теорії тонкостінних стержнів В.З. Власова показали, що урахування роботи сталевого профільованого настилу, який утримує балку від закручування, підвищує несучу здатність балок на 18...25%. Дослідження [7] присвячене обґрунтуванню нового методу оцінювання опору зсуву тонких стінок, який об'єднує аналіз стінок підкріплених та не підкріплених ребрами жорсткості. В статтях [8, 9] аналізуються методи чисельного моделювання роботи балок з гнучкими стінками, результати яких порівнюються з експериментальними даними.

Загалом можна зробити висновок, що методи розрахунку балок з гнучкою стінкою ґрунтуються на теорії місцевої стійкості та на урахуванні закритичної роботи стінки. Аналіз поведінки тонких пластин часто здійснюється шляхом моделювання за методом скінченних елементів та верифікується за результатами експериментальних випробувань.

Практична інженерна методика розрахунку та конструктивні вимоги до балок з гнучкою стінкою унормовані в ДБН [10]. Згідно цих норм, такі балки виготовляються зі сталей з границею текучості до 345 МПа та використовуються при погонних навантаженнях до 50 кН/м. Умовна гнучкість стінки повинна знаходитися в межах 6...13. В ДБН [10] надані формули для перевірки міцності та жорсткості балок з гнучкою стінкою, а також гранично допустимі значення звису стиснутого поясу, відношення площі поясу до площі стінки, вимоги до постановки поперечних ребер жорсткості. Недоліком методики [10] є відсутність рекомендацій щодо встановлення раціональної висоти стінки, яка істотно впливає на площу поперечного перерізу та відповідно – на витрати сталі на балку.

Мета й завдання дослідження. Мета даного дослідження полягає у виявленні залежностей раціональної висоти, умовної гнучкості стінки та металоемності балок з гнучкими стінками від їх прольоту, погонного навантаження та розрахункового опору сталі, які дозволять скомпонувати раціональний переріз балки при відомих початкових даних. Для цього необхідно виконати експериментальне проектування балок з гнучкими стінками при різних можливих комбінаціях вказаних факторів, проаналізувати й узагальнити отримані результати, виявити й описати вказані вище залежності апроксимуючими виразами, зручними для практичного використання.

Передумови та методи дослідження

Залежності параметрів перерізу та вагових характеристик балок з гнучкою стінкою від їх прольоту та граничного розрахункового значення погонного навантаження встановлені шляхом експериментального проектування. Відповідно до можливого призначення в перекриттях і покриттях будівель, розглянуті балки прольотами $L = 12, 18, 24, 30, 36$ м. Мінімальне навантаження від снігу в першому районі за ДБН [11] та легкої покрівлі зі сталевого профільованого настилу по прогонах становить близько 1000 Па, що при кроці балок 4 м дає погонне навантаження $q = 4$ кН/м. Згідно з рекомендацією ДБН [10], максимальне навантаження на балки з гнучкою стінкою обмежене значенням $q = 50$ Н/мм. Тому розглядаються балки під граничні розрахункові значення погонного навантаження $q = 5, 15, 25, 35, 45$ кН/м. Усі балки запроєктовані з трьох сталей з розрахунковими опорами $R_y = 240, 290, 340$ МПа, що відповідає рекомендації ДБН [10] проектувати балки з гнучкою стінкою зі сталей з границею текучості до 345 Н/мм².

Експериментальне проектування виконане в середовищі Microsoft Excel з використанням розробленого розрахункового бланку, який дозволяє в інтерактивному режимі підбирати раціональні перерізи балок з

гнучкою стінкою за умови виконання граничних нерівностей та конструктивних вимог ДБН [10].

Розроблений розрахунковий бланк реалізує виконання вказаних в ДБН [10] та описаних вище перевірок жорсткості балки, міцності перерізу в усіх відсіках стінки та конструктивних обмежень, а також обчислення погонної маси балки з урахуванням ребер жорсткості, встановлених згідно з вимогами ДБН [10].

При компонованні кожної з 75 балок підбір перерізу розпочинається з визначення оптимальної та мінімальної висоти балки за відомими формулами [1], після чого аналізуються двотаври зі стінками різної висоти для пошуку перерізу з мінімально можливою погонною масою. Критерієм вибору раціональної висоти є отримання мінімальної площі перерізу, як це показано на рисунку 1, або досягнення достатньої жорсткості, як показано на рисунку 2 на прикладі балок прольотом 24 м, виконаних зі сталі з розрахунковим опором 240 МПа при різних погонних навантаженнях.

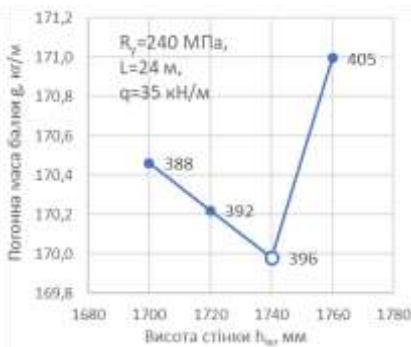


Рис. 1. Вибір висоти балки за мінімальною площею перерізу

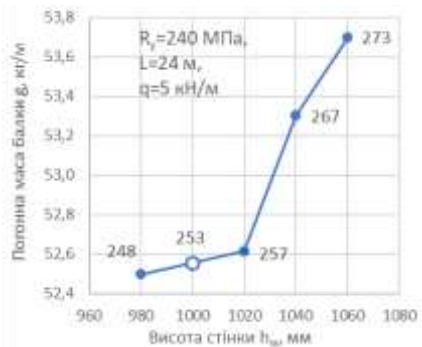


Рис. 2. Вибір висоти балки за критерієм жорсткості

Поряд з крапками, що відповідають проаналізованим перерізам з різною висотою стінки, на рисунках вказані значення критерію жорсткості L/f . Остаточні обрані перерізи позначені великими крапками. Рисунок 1 показує, що при погонному навантаженні $q = 35$ кН/м раціональна висота стінки $h_w = 1740$ мм обрана за критерієм мінімальних витрат сталі на балку при значному запасі жорсткості $L/f = 396 > [L/f] = 250$ згідно з [13]. При навантаженні $q = 5$ кН/м раціональна висота стінки $h_w = 1000$ мм обрана за критерієм жорсткості, оскільки при меншій висоті $h_w = 980$ мм отримано $L/f = 248 < [L/f] = 250$. При цьому коефіцієнт використання міцності підбраного перерізу становить $0,963 \approx 1$. З рисунка 1 та з аналізу результатів розрахунку інших балок можна зробити висновок, що

залежність витрат сталі від висоти в зоні оптимуму є досить пологою, тобто незначна зміна висоти балки неістотно впливає на витрати сталі.

Результати підбору перерізів показали, що за критерієм мінімальних витрат сталі підбрано 46 перерізів, 28 перерізів підбрані за критерієм жорсткості при повному використанні міцності, а переріз однієї балки прольотом 12 м під навантаження 5 кН/м підібраний конструктивно при значному недонапруженні. Кількість перерізів, підібраних за критерієм жорсткості, зростає при зменшенні навантаження, а також при збільшенні прольоту та розрахункового опору сталі.

Результати та обговорення

Результати підбору 75 перерізів дозволили встановити й описати апроксимуючими аналітичними виразами залежності раціональних характеристик балок з гнучкою стінкою від початкових параметрів. На рисунках 3 і 4 відображені залежності отриманої в результаті проектування раціональної висоти балок від оптимальної та мінімальної висоти, попередньо обчислених за відомими формулами з [1]. З рисунка 3 видно, що раціональна висота практично в усіх випадках отримана більшою від оптимальної висоти за [1], показаної суцільною лінією. Рисунок 4 вказує на те, що остаточно отримана раціональна висота може бути меншою від мінімальної висоти за [1]. Отримані залежності вказують на необхідність коригування формул [1] для обчислення мінімальної та оптимальної висоти балок з гнучкою стінкою.

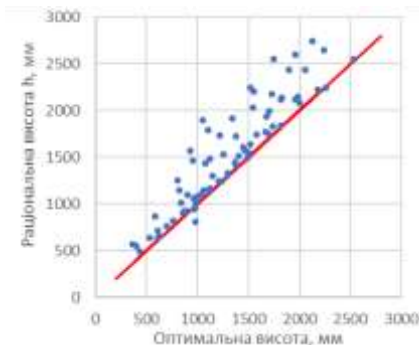


Рис. 3. Залежність раціональної висоти балки від оптимальної

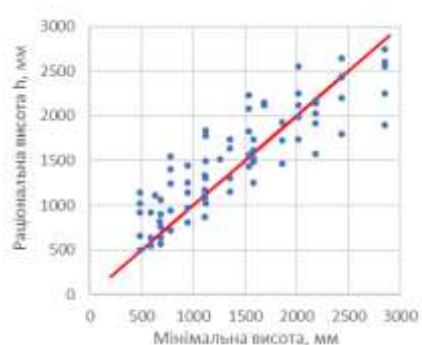


Рис. 4. Залежність раціональної висоти балки від мінімальної

Отримані результати експериментального проектування дозволили також встановити залежності раціональної висоти h , відповідної умовної гнучкості стінки $\bar{\lambda}_w$ та погонної маси балок з гнучкою стінкою g від

прольоту L , граничного розрахункового значення погонного навантаження q та розрахункового опору сталі R_y . Залежності від трьох змінних мають досить складний характер і потребують апроксимації надто складними формулами, мало придатними для практичного використання. Тому нижче отримані окремі апроксимуючі вирази для опису залежностей раціональних характеристик балок від їх прольоту L та граничного розрахункового значення погонного навантаження q для кожного з трьох проаналізованих розрахункових опорів сталі $R_y = 240, 290$ і 340 МПа.

Залежності раціональної висоти перерізу балок від їх прольоту l навантаження, отримані в результаті експериментального проектування з гнучкою стінкою, наведені в таблиці 1. З таблиці видно, що раціональна висота перерізу балок зростає при збільшенні прольоту l навантаження на балку. Збільшення розрахункового опору сталі призводить до зменшення висоти балок з малими прольотами l й великими навантаженнями та навпаки – обумовлює зростання висоти при великих прольотах l й малих навантаженнях на балку, коли перерізи підбираються переважно за критерієм жорсткості. Такі балки відмічені в таблиці 1 жирним шрифтом.

Таблиця 1. Раціональна висота балок за результатами проектування

R_y , МПа	q , кН/м	Раціональна висота балок h у мм при прольотах L , м					Коефіцієнти формули (1)	
		12	18	24	30	36		
240	5	492	714	1016	1436	1736	A =	16,6
	15	658	944	1308	1568	1992	B =	49,3
	25	924	1244	1492	1832	2120	C =	0,16
	35	1022	1408	1772	2080	2248	D =	-209
	45	1144	1548	1840	2228	2556		
290	5	548	814	1152	1462	1794	A =	10,1
	15	640	968	1304	1724	2204	B =	52,9
	25	824	1140	1512	1932	2432	C =	0,28
	35	924	1248	1640	2120	2440	D =	-181
	45	1108	1448	1740	2148	2648		
340	5	568	870	1252	1572	1896	A =	7,6
	15	636	1098	1480	1920	2248	B =	59,2
	25	760	1084	1528	2028	2552	C =	0,25
	35	904	1168	1612	2172	2600	D =	-217
	45	1064	1332	1740	2140	2748		

Залежності раціональної висоти h від прольоту L та погонного навантаження на балку q для кожного з розрахункових опорів сталі описані аналітичними виразами:

$$h = A \cdot q + B \cdot L + C \cdot q \cdot L + D, \quad (1)$$

коефіцієнти яких А, В, С, D обчислені методом найменших квадратів і наведені в останньому стовпці таблиці 1. Похибки апроксимації дослідних даних з таблиці 1 формулою (1) перебувають у межах $-8,8\% \dots +8,9\%$.

Умовні гнучкості стінок раціонально підібраних перерізів балок наведені в таблиці 2. З таблиці видно, що умовні гнучкості стінок у балках з раціонально підібраними перерізами загалом зростають при збільшенні прольоту й навантаження на балки, але при цьому мають значні випадкові коливання відносно цієї тенденції. Це можна пояснити значною дискретністю значень товщини стінки, яка змінюється в межах від 4 мм до 9 мм з кроком 1 мм, тобто на $10 \dots 20\%$. Істотне зростання умовної гнучкості від навантаження спостерігається при малих прольотах балок, а при великих прольотах ця залежність є менш вираженою.

Таблиця 2. Умовна гнучкість стінок за результатами проектування

R _y , МПа	q, кН/м	Раціональна умовна гнучкість стінки $\bar{\lambda}_w$ при прольотах L, м					Коефіцієнти формули (2)	
		12	18	24	30	36		
240	5	4,1	6,0	8,5	12,1	11,7	A =	-8,79
	15	5,5	7,9	10,9	10,5	11,2	B =	3,53
	25	7,7	10,4	10,0	10,2	10,1	C =	0,238
	35	8,5	9,4	9,9	11,6	10,7	D =	-0,008
	45	7,6	10,4	10,2	10,6	10,7		
290	5	5,1	7,5	10,7	9,1	11,1	A =	-5,10
	15	5,8	8,8	9,6	10,6	11,7	B =	2,81
	25	7,5	10,3	11,1	11,9	12,9	C =	0,165
	35	8,4	9,0	10,0	11,1	11,3	D =	-0,004
	45	10,1	10,5	10,6	11,3	12,2		
340	5	5,7	8,7	12,6	12,7	12,7	A =	-7,43
	15	6,3	11,0	11,9	12,9	12,9	B =	3,68
	25	7,5	8,6	10,2	11,6	12,8	C =	0,181
	35	8,9	9,3	10,7	12,4	11,6	D =	-0,007
	45	10,6	10,6	11,5	10,7	12,2		

Наведені в таблиці 2 залежності раціональної умовної гнучкості стінки $\bar{\lambda}_w$ від прольоту L та погонного навантаження на балку q для кожного з розрахункових опорів сталі описані аналітичним виразом:

$$\bar{\lambda}_w = A + B \cdot \sqrt{L} + C \cdot q + D \cdot q \cdot L, \quad (2)$$

Визначені за методом найменших квадратів і наведені в таблиці 2 коефіцієнти формули (2) забезпечують похибки апроксимації в межах $-18,0\% \dots +16,0\%$. Такі похибки загалом відповідають кроку дискретності товщини стінки, а тому їх можна вважати прийнятними.

Погонна маса балок з гнучкою стінкою, отримана в результаті експериментального проектування, включає масу підбраного перерізу двотавра та парних поперечних ребер жорсткості, встановлених відповідно до вимог ДБН [10]. Залежності погонної маси балок з гнучкою стінкою g в кг/м від їх прольоту L та погонного навантаження q наведені в таблиці 3. Маса запроєктованих балок систематично зростає при збільшенні їх прольоту й навантаження. Збільшення розрахункового опору сталі зазвичай обумовлює зменшення металоемності балок, але в окремих випадках, відмічених у таблиці 3 жирним шрифтом, витрати сталі зростають. Це спостерігається при великих прольотах і малих навантаженнях, коли перерізи балок підбиралися за критерієм жорсткості. У середньому балки зі сталі з розрахунковим опором $R_y = 290 \text{ МПа}$ отримані на 5%, а зі сталі з $R_y = 340 \text{ МПа}$ на 9% легшими від балок зі сталі з розрахунковим опором $R_y = 240 \text{ МПа}$. Ефект від використання більш міцної сталі зростає при малих прольотах і великих навантаженнях.

Таблиця 3. Погонна маса балок за результатами проектування

R_y , МПа	q , кН/м	Погонна маса балок g у кг/м при прольотах L , м					Коефіцієнти формули (3)	
		12	18	24	30	36		
240	5	24	38	53	73	95	A =	1,040
	15	45	69	98	128	169	B =	0,007
	25	59	92	134	180	233	C =	-8,1
	35	71	116	170	218	282		
	45	88	134	197	264	330		
290	5	22	36	52	83	104	A =	0,790
	15	41	62	93	129	175	B =	0,014
	25	55	82	122	167	220	C =	-5,7
	35	66	106	157	211	271		
	45	76	122	178	241	313		
340	5	20	36	51	77	107	A =	0,578
	15	38	58	90	129	171	B =	0,020
	25	50	82	121	170	230	C =	-1,9
	35	61	98	144	201	276		
	45	70	112	164	235	311		

Наведені в таблиці 3 залежності погонної маси балок g від прольоту L та погонного навантаження на балку q для кожного з розрахункових опорів сталі описані аналітичним виразом:

$$g = (A \cdot L + B \cdot L^2) \cdot \sqrt{q} + C, \quad (3)$$

вид якого обґрунтований у роботі [14] для прокатних і зварних балок, а також балок з перфорованими стінками. Формула (3) з коефіцієнтами, визначеними методом найменших квадратів і наведеними в таблиці 3, забезпечує похибки апроксимації в межах $-9,2\% \dots +9,9\%$.

Порівняння з даними дослідження [14] показало, що в межах проаналізованих прольотів і навантажень металоємність балок з гнучкою стінкою у середньому на 49% менша від металоємності прокатних балок, на 32% – менша від звичайних зварних балок і на 28% менша від витрат сталі на балки з перфорованою стінкою. В усіх випадках ефективність балок з гнучкою стінкою зростає при збільшенні прольоту та зменшенні навантаження.

Формули (1)...(3) дозволяють попередньо обрати раціональні значення висоти перерізу й умовної гнучкості стінки, а також орієнтовно спрогнозувати витрати сталі на балку.

Висновки

Виконане експериментальне проектування балок з гнучкою стінкою зі сталей з розрахунковим опором 240...340 МПа при прольотах 12...36 м під навантаження 5...45 кН/м. Для кожної з 75 комбінацій вказаних параметрів підібрано раціональний переріз за критерієм мінімальної металоємності (60% перерізів при малих прольотах і великих навантаженнях) або достатньої жорсткості при повному використанні міцності (40% перерізів). Кількість перерізів, підібраних за критерієм жорсткості, збільшується з ростом розрахункового опору сталі, що вказує на недоцільність використання сталей підвищеної міцності в балках з гнучкою стінкою.

Встановлено, що раціональна висота перерізу, умовна гнучкість стінки та погонна маса балок збільшуються при зростанні прольоту й навантаження на балку. Отримані в результаті експериментального проектування табличні залежності цих характеристик від прольоту й навантаження описані аналітичними виразами, рекомендованими для попереднього оцінювання раціональної висоти балок, умовної гнучкості стінки та витрат сталі на балку. Використання цих залежностей дозволить обирати раціональні перерізи балок з гнучкими стінками, які при мінімально можливих витратах сталі відповідають вимогам чинних норм проектування сталевих конструкцій.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Nilov O.O., Permiakov V.O., Shymanovskyi O.V. та in. *Metalevi konstruktsii: Zahalnyi kurs: Pidruchnyk dlia vyshchyykh navchalnykh zakladiv*. Vydannia 2-e, pererobl. i dopovn. K.: Vydavnytstvo "Stal", 2010, 869 s.

2. Tsarynnyk Yu.Iu. *Metalevi konstruktsii. Spetskurs: Navchalnyi posibnyk*. Lviv: Vydavnytstvo "Beskyd Bit", 2004. – 304 s.

3. Bilyk S.I., Skliarov I.O. *Rozvytok teorii rozrakhunku ta proektuvannia ramnykh karkasiv zminnoho dvotavrovoho pererizu z hnuchkoiu stinkoiu*. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, 2010. Vyp. 38, 48-56. http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2010_38_10

4. Skliarov I.O. *Perspektyvy rozvytku ramnykh karkasiv zi zvarnykh dvotavriv iz hnuchkoiu stinkoiu*. Chernihivskiyi naukovyi chasopys. Seriya 2, Tekhnika i pryroda. № 2 (2), 2011, 128-133. <https://ir.stu.cn.ua/server/api/core/bitstreams/f624f56e-3ca9-4f74-ac28-116ea9ce2f4d/content>

5. Shebanin V.S., Shebanina L.P., Bohza V.H. *Rozrakhunok stalevykh karkasiv z universalnykh elementiv zminnoho pererizu z hnuchkoiu stinkoiu*. Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria, Vypusk 3 (73), 2013, 180-185. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/994/1/n73v3r2013shebanin.pdf>

6. Hudz S.A. *Rozrakhunok tonkostinnykh stalevykh balok na sumisnu diu poperechnoho zghynu i kruchennia z urakhuvanniam ohorodzhuvalnykh konstruktsii*. Sovremennye stroytelnye konstruktsyy yz metalla y drevesyny, ch. 1., Odessa: OHASA, 2008, 48 – 53. <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PolNTU/974>

7. Silva, Luis. (1999). Comparative Assessment of the Shear Strength of Slender Steel Beams. *Archives of Civil Engineering*. 45. 587-613. https://www.researchgate.net/publication/258833161_Comparative_Assessment_of_the_Shear_Strength_of_Slender_Steel_Beams

8. Martins Calisto, Caroline & Castro e Silva, Ana Lydia & Caldas, Rodrigo & Carvalho, Hermes. (2023). Numerical Model for Analysis of Compact and Slender Hybrid Steel Beams Subjected to Bending. *Latin American Journal of Solids and Structures*. 20. 1-18. e490. <https://doi.org/10.1590/1679-78257411>.

9. El Aghoury, Ihab & Ibrahim, Mohamed & Ibrahim, Sherif. (2020). Experimental and numerical investigation of ultimate shear strength of unstiffened slender web-tapered steel members. *Journal of Constructional Steel Research*. 148. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106601>.
10. DBN V.2.6-198:2014. *Stalevi konstruktsii. Normy proektuvannia*. Zi zminoiu № 1. K., 2022. – 220 s.
11. DBN V.1.2-2:2006. *Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh ob'ektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia*. Zi zminoiu № 1 i №2. K.: Minbud Ukrainy, 2020. – 68 s.
12. DBN V.1.2-14-2018. *Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsyzy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktivnoi bezpeky budivel i sporud*. Iz zminoiu №1. K., 2022, 35 s.
13. DSTU B V.1.2-3:2006. *Prohyny i peremishchennia. Vymohy proektuvannia*. K.: Minbud Ukrainy, 2006, 9 s.
14. Pashynskiy V.A., Skrynnik I.O., Kharchenko I.V., Khachaturian S.L. Vahovi kharakterystyky ta oblasti ratsionalnoho vykorystannia stalevykh balok u budivliakh ta konstruktsiiah vantazhopidomnykh mashyn. *Tsentrálnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. Vyp. 1(32)*. Kropyvnytskyi: TsNTU. 2019, 228-235.. [https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/1\(32\)/28.pdf](https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/1(32)/28.pdf)

Література

1. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В. та ін. *Металеві конструкції. Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. Видання 2-е, переробл. і доповн.* К.: Видавництво "Сталь", 2010, 869 с.
2. Царинник Ю.Ю. *Металеві конструкції. Спецкурс: Навчальний посібник*. Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2004. – 304 с.
3. Білик С.І., Склярів І.О. Розвиток теорії розрахунку та проектування рамних каркасів змінного двотаврового перерізу з гнучкою стінкою. *Містобудування та територіальне планування*, 2010. Вип. 38, 48-56. http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2010_38_10
4. Склярів І.О. Перспективи розвитку рамних каркасів зі зварних двотаврів із гнучкою стінкою. *Чернігівський науковий часопис. Серія 2, Техніка і природа*. № 2 (2), 2011, 128-133. <https://ir.stu.cn.ua/server/api/core/bitstreams/f624f56e-3ca9-4f74-ac28-116ea9ce2f4d/content>
5. Шебанін В.С., Шебаніна Л.П., Богза В.Г. Розрахунок сталевих каркасів з універсальних елементів змінного перерізу з гнучкою стінкою. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, Випуск 3 (73), 2013, 180-185. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/994/1/n73v3r2013shebanin.pdf>
6. Гудзь С.А. Розрахунок тонкостінних сталевих балок на сумісну дію поперечного згину і кручення з урахуванням огорожувальних конструкцій. *Современные строительные конструкции из металла и древесины, ч. 1.*, Одесса: ОГАСА, 2008, 48 – 53. <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/974>
7. Silva, Luís. (1999). Comparative Assessment of the Shear Strength of Slender Steel Beams. *Archives of Civil Engineering*. 45. 587-613. https://www.researchgate.net/publication/258833161_Comparative_Assessment_of_the_Shear_Strength_of_Slender_Steel_Beams

8. Martins Calisto, Caroline & Castro e Silva, Ana Lydia & Caldas, Rodrigo & Carvalho, Hermes. (2023). Numerical Model for Analysis of Compact and Slender Hybrid Steel Beams Subjected to Bending. *Latin American Journal of Solids and Structures*. 20. 1-18. e490. <https://doi.org/10.1590/1679-78257411>.

9. El Aghoury, Ihab & Ibrahim, Mohamed & Ibrahim, Sherif. (2020). Experimental and numerical investigation of ultimate shear strength of unstiffened slender web-tapered steel members. *Journal of Constructional Steel Research*. 148. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106601>.

10. ДБН В.2.6-198:2014. *Сталеві конструкції. Норми проектування*. Зі зміною № 1. К., 2022. – 220 с.

11. ДБН В.1.2-2:2006. *Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування*. Зі зміною №1 і №2. К.: Мінбуд України, 2020. – 68 с.

12. ДБН В.1.2-14:2018. *Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд*. Із зміною №1. К., 2022, 35 с.

13. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. *Прогини і переміщення. Вимоги проектування*. К.: Мінбуд України, 2006, 9 с.

14. Пашинський В.А., Скриннік І.О., Харченко І.В., Хачатурян С.Л. Вагові характеристики та області раціонального використання сталевих балок у будівлях та конструкціях вантажопідійомних машин. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 1(32). Кропивницький: ЦНТУ. 2019, 228-235. [https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/1\(32\)/28.pdf](https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/1(32)/28.pdf)

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.12.2025	Received 14.12.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 23.04.2026	Received in revised form 23.04.2026
Прийнято 27.05.2026	Accepted 27.05.2026
Опубліковано 29.05.2026	Published 29.05.2026

V. A. Pashynskiy

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5474-6399>

Department of Building, Road Machines and Construction

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Universytetskyi ave., 8, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25006

M. V. Pashynskiy

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2669-523X>

Department of Building, Road Machines and Construction

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Universytetskyi ave., 8, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25006

*corresponding author, e-mail: pva.kntu@gmail.com

Analysis of design parameters and weight characteristics of steel beams with flexible web

How to Cite:

Pashynskiy, V. A., Pashynskiy, M. V. (2026). Analysis of design parameters and weight characteristics of steel beams with flexible web. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 25, 5-17. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-01)

Abstract. The article presents the results of the analysis of the cross-sectional parameters and weight characteristics of steel beams with a flexible web. By experimentally designing beams with spans of 12...36 m under a load of 5...45 kN/m, the dependence of the rational cross-sectional height, conditional web flexibility and linear mass of beams on their span, linear load and design steel resistance were obtained and described by simple approximating expressions.

The calculations were performed using a calculation form developed in Microsoft Excel, which allows to select an I-beam cross-section with the minimum possible mass under the conditions of fulfilling the design requirements for beams with a flexible web, established by DBN V.2.6-198:2014 "Steel Structures". 75 I-beams were analyzed (5 values of span and load and 3 values of design steel resistance). For each combination of span and load, the rational web height is selected from several heights according to the criterion of the minimum linear mass of the I-beam or according to the stiffness criterion.

It has been established that the rational cross-section height, conditional web flexibility and metal content of I-beams generally increase with increasing span and linear load. An increase in the design steel resistance leads to a decrease in the height and metal content of beams of small spans under large loads, but can cause an increase in the height and metal content at large spans and small loads, when the stiffness criterion is decisive. This calls into question the feasibility of using high-strength steels for the manufacture of I-beams with flexible web.

The obtained dependencies allow to select the height and conditional web flexibility based on the given values of the span, linear load and design steel resistance, which ensure the selection of a rational cross-section of an I-beam with a flexible web, as well as to preliminarily estimate its metal content.

Keywords: beams with flexible web, rational beam height, conditional web flexibility, metal consumption.