

## ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БАЛОК З ПОДВІЙНОЮ ПРОФІЛЬОВАНОЮ СТІНКОЮ

### ESTIMATION OF ECONOMIC EFFICIENCY FOR BEAMS WITH THE CORRUGATED WEB

*д.т.н., проф. Пічугін С.Ф., к.т.н., доц. Чичулін В.П.,  
к.т.н. Чичуліна К.В. (Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)  
Dr. Professor Pichugin S.F., Candidate Engineering Chichulin V.P.,  
Candidate Engineering Chichulina K.V. (the Poltava State Technical  
University named by Y. Kondratyuk)*

**Анотація.** В статті приведені результати техніко-економічного аналізу та оцінки серії нових конструктивних рішень балок з подвійною профільованою стінкою. На прикладах такого типу легких балок запропонований загальний алгоритм визначення економічної доцільності впровадження проектних рішень.

**Abstract.** The results of technical and economic parameters and estimation for beams with the double corrugated web are submitted in this article. The generalized algorithm of determination economical viability for introduction new project decisions is offered on the examples of such type easy beams.

**Стан питання.** В наш час до введення нових конструктивних рішень пред'являються підвищені вимоги ефективності, тобто з рівнем ефективності вище середньогалузевого до стану їх впровадження. Таким чином, будь-яке конструктивне рішення має певний запас ефективності, оскільки з часом відбувається процес старіння. Ефективність нових конструкцій недостатньо враховувати тільки в сфері їх виготовлення, але і, безпосередньо, в сфері їх експлуатації (експлуатаційні витрати) та при зборці на будівельному майданчику (допоміжні витрати).

Розглядаючи питання економічної ефективності легких балочних конструкцій, відмітимо, що їх застосування дозволяє суттєво знизити вартість будівництва в цілому. На сучасному етапі розвитку нових конструктивних форм легких балок, все більше набувають популярності балки з гофрованими (профільованими) стінками, технологія виготовлення яких забезпечує мінімальні допуски та велику

точність монтажу, а проектування ведеться з урахуванням можливості урізноманітнення типорозмірів та естетичних потреб. Застосування балок з профільованими стінками дозволяє зменшити масу конструкцій до 40-60% без втрат міцності, стійкості, тому пошук нових конструктивних форм таких балок та їх техніко-економічна оцінка є досить актуальним питанням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Питанням пошуку ефективних конструктивних рішень та оцінки економічної доцільності балок, пояси яких складаються з гнутих С-утворюючих профілів коробчастого перерізу та стінки з профільованого листа з несучими з'єднаннями на попередньо-напружених болтах, присвячена робота Кретиніна А.Н. [1], в якій відзначена ефективність та оптимальність такої конструктивної форми. В дослідженнях Егорова П.І. [2] розраховані ефективності застосування профілів різної конфігурації в гофрованих стержнях доведено, що оптимальним профілем для стержнів (що згинаються, центральних та позакентрово стиснутих) є трикутний. Із останніх робіт, де піднімається питання оптимальних за матеріаломісткістю конструкцій балок з поперечно-гофрованою стінкою та комбінованих балок, а також представлені конструктивні рішення, які направлені на підвищення раціональності використання матеріалу, є дослідження Полтораднева А.С. [3]. До зарубіжних джерел, де піднімаються питання економічної ефективності складених балок зі стінкою різного профілю, належить робота Rackham J. W. [4]. Отже, на сьогодні перспективним напрямком є дослідження ефективних конструкцій, тобто використання можливості поліпшення показників матеріаломісткості, вартості і тривалості.

**Задачі дослідження.** Провести ґрунтовний техніко-економічний аналіз серії нових конструктивних рішень сталевих легких балок з подвійною профільованою стінкою та визначити критерій ефективності для такого типу конструкцій. Привести загальну методику оцінки ефективності нових конструктивних рішень.

**Виклад основного матеріалу.** Вибір проектного рішення – це багатофакторне завдання, тому не існує єдиного критерію та загального алгоритму щодо оцінки якості та ефективності нової конструкції. Економічна оцінка нового конструктивного рішення формується в результаті розрахунку техніко-економічних та вартісних показників, які відносяться до стадій будівництва та експлуатації запропонованої конструкції. Зокрема, при оцінці ефективності легких балочних конструкцій та факторів застосування важливе значення має

показник витрат металу на погонний метр, працевтрати на виготовлення та монтаж.

В попередніх дослідженнях були запропоновані сталеві балки з подвійною поперечно профільованою стінкою, розкріплені розкісною решіткою (рис. 1) [5, 6], хрестовою решіткою (рис. 2) та решіткою у вигляді арокних елементів (рис. 3). Для такого типу легких решітчастих балок профільована стінка (7) балок має трапецієвидну форму та складається з двох профільованих листів, що закріплюються до направляючих (4) у вигляді квадратних труб за допомогою самонарізних гвинтів (2). До поясів (1), які складаються з труб квадратного перетину, направляючі прикріплені за допомогою суцільного зварювання (6). Опорні ребра (8) виконані з листів з урахуванням роботи на зминання та зрізання. Решітка (3) приєднується до профільованих листів самонарізними гвинтами (2). Для прикріплення балок до колони можна виконувати отвори (5).

Розглядаючи етапи створення таких конструктивних форм балочних конструкцій, відмітимо, що вихідні заготовки для них виконуються на початку виготовлення балок.

Переваги конструкцій з розкісною решіткою полягають в тому, що можна не використовувати ребра жорсткості під локальне навантаження (розташування розкісної решітки повинно відповідати локальному навантаженню на верхній пояс балки), елементи решітки в поєднанні з профільованою стінкою забезпечують більшу стійкість, ніж окремо розкиси решітки та стінка.

До переваг застосування хрестової решітки (рис. 2) можна віднести підвищення жорсткості стінки та забезпечення стійкості стінки по всій висоті балки.

Розглядаючи решітку із арокних елементів (рис. 3), відзначимо, що вона своєю формою відтворює епюру моментів, сприймаючи частково їх дію. В зонах, наближених до опор, арки перехрещуються і сприймають додаткові зусилля у зоні похилих перерізів балки. В прольоті переріз двотаврової балки близький до «ідеального двотавра», що є оптимальним перерізом для сприйняття згинального моменту.

Таблиця 1 – Вартісні показники та трудовитрати за одиничними розцінками для сталевих балок з подвійною поперечно профільованою стінкою, розкріплених решіткою різного обрису на пог. м.

Шифр і номер позиції	Найменування робіт і витрат	Обсяг	Вартість одиниці, грн		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
			всього	експлуатації машин	всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
			заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
					на одиницю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Поліці (труби сталеві електрозварні (300x200x8мм; 0,119т); ламель (труби сталеві електрозварні 50x3мм; 0,0086т); стінка h<sub>w</sub>=45 см та 2h<sub>w</sub>=0,2 см (0,00805т); зварювання пояси і ламелі (0,001т), самонарізні гвинти для пояси (16шт; 0,00002т)</b>									
E9-52-1	Порізка поліці та ламелей (м)	0,7	<u>11,94</u> 10,50	- -	8	7	- -	<u>0,54</u> -	- -
E9-70-1	Виготовлення металевих листових конструкцій (т)	0,13667	<u>14640,32</u> 3066,85	<u>1801,05</u> 396,28	2001	419	<u>246</u> 54	<u>146,88</u> 15,23	<u>20</u> 2
P20-30-1 H2=0,9	Свердління отворів (100шт)	0,16	<u>234,39</u> 229,65	- -	38	37	- -	<u>12,42</u> -	<u>2</u> -
E9-52-1	Порізка поліці та ламелей (м)	0,7	<u>11,94</u> 10,50	- -	8	7	- -	<u>0,54</u> -	- -
<b>Розкісна решітка(труби сталеві електрозварні квадратного перетину 50x50x3мм;0,00614т); зварювання решітки до ламелей (0,0003т); самонарізні гвинти для кріплення (16шт;0,00002т)</b>									
E9-52-1	Порізка решітки (м)	0,1	<u>11,94</u> 10,50	- -	1	1	- -	<u>0,54</u> -	- -
E9-70-1	Виготовлення металевих листових 0,5 т (т)	0,00646	<u>14640,32</u> 3066,85	<u>1801,05</u> 396,28	95	20	<u>12</u> 3	<u>146,88</u> 15,23	<u>1</u> -
P20-30-1 H2=0,9	Свердління отворів (100шт)	0,16	<u>234,39</u> 229,65	- -	38	37	- -	<u>12,42</u> -	<u>2</u> -
E9-22-1	Монтаж решітчастих балок до 3 т (т)	0,14313	<u>1989,59</u> 698,10	<u>1204,04</u> 370,04	285	100	<u>172</u> 53	<u>36,80</u> 15,43	<u>5</u> 2
<b>Хрестова решітка(труби сталеві електрозварні квадратного перетину 50x50x3мм;0,01214т); зварювання решітки до ламелей (0,0006т); самонарізні гвинти для кріплення (24шт;0,00004т)</b>									
E9-52-1	Порізка решітки (м)	0,2	<u>11,94</u> 10,50	- -	2	2	- -	<u>0,54</u> -	- -
E9-70-1	Виготовлення металевих листових конструкцій (т)	0,01278	<u>14640,32</u> 3066,85	<u>1801,05</u> 396,28	187	39	<u>23</u> 5	<u>146,88</u> 15,23	<u>2</u> -
P20-30-1 H2=0,9	Свердління отворів 100шт)	0,24	<u>234,39</u> 229,65	- -	56	55	- -	<u>12,42</u> -	<u>3</u> -
E9-22-1	Монтаж решітчастих балок до 3 т (т)	0,14945	<u>1989,59</u> 698,10	<u>1204,04</u> 370,04	297	104	<u>180</u> 55	<u>36,80</u> 15,43	<u>5</u> 2

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Подвійна арочна решітка(труби сталі електрозварні квадратного перетину 50x50x3мм;0,0135г); зварювання решітки до ламелей (0,0004г); самонарізні гвинти для кріплення (20шт;0,000033г)</b>									
E9-52-1	Порізка решітки (м)	0,18	<u>11,94</u> 10,50	- -	2	2	- -	<u>0,54</u> -	- -
E9-70-1	Виготовлення металевих листових конструкцій (т)	0,013933	<u>14640,32</u> 3066,85	<u>1801,05</u> 396,28	204	43	<u>25</u> 6	<u>146,88</u> 15,23	<u>2</u> -
P20-30-1 H2=0,9	Свердління отворів (100шт)	0,2	<u>234,39</u> 229,65	- -	47	46	- -	<u>12,42</u> -	<u>2</u> -
E9-22-1	Монтаж решітчастих балок до 3 т (г)	0,1506	<u>1989,59</u> 698,10	<u>1204,04</u> 370,04	300	105	<u>181</u> 56	<u>36,80</u> 15,43	<u>6</u> 2
<b>Одиночна арочна решітка(труби сталі електрозварні квадратного перетину 50x50x3мм;0,00675г); зварювання решітки до ламелей (0,0002г); самонарізні гвинти для кріплення (12шт;0,000016г)</b>									
E9-52-1	Порізка решітки (м)	0,15	<u>11,94</u> 10,50	- -	2	2	- -	<u>0,54</u> -	- -
E9-70-1	Виготовлення металевих листових конструкцій (т)	0,006966	<u>14640,32</u> 3066,85	<u>1801,05</u> 396,28	102	21	<u>13</u> 3	<u>146,88</u> 15,23	<u>1</u> -
P20-30-1 H2=0,9	Свердління отворів (100шт)	0,12	<u>234,39</u> 229,65	- -	28	28	- -	<u>12,42</u> -	<u>1</u> -
E9-22-1	Монтаж решітчастих балок до 3 т (г)	0,14364	<u>1989,59</u> 698,10	<u>1204,04</u> 370,04	286	10 0	<u>173</u> 53	<u>36,80</u> 15,43	<u>5</u> 2

Кошторисний розрахунок (табл. 1) представлених конструкцій здійснювався за допомогою програмного комплексу "Автоматизоване визначення вартості будівництва, АВК-5" в поточних цінах станом на 2013 рік, який призначений для автоматизованого випуску кошторисно-ресурсної документації, що використовується всіма учасниками будівництва та орієнтований на державні будівельні норми України ДБН Д.1.1-1-2000 "Правила визначення вартості будівництва".

У вищеприведених розрахунках вартісних показників та трудовитрат за одиничними розцінками для сталевих балок з подвійною поперечною профільованою стінкою, розкріплених решіткою різного обрису враховані затрати основного виробництва (різка металу, утворення отворів, шліфування, зварювання, збирання, фарбування), а також затрати неосновного та допоміжного виробництва. Для загальної оцінки та визначення кошторисної вартості запропонованих балочних конструкцій враховується додатково монтаж, транспортні витрати на перевезення матеріалів, умови роботи. Середньомісячна заробітна плата робітників прийнята 3400 грн.

3 метою порівняння техніко-економічних характеристик, за критерієм несучої здатності до запропонованих решітчастих конструкцій була підібрана складена сталева балка 50БС3 із висотою балки  $H = 50 \text{ см}$  та товщиною стінки  $t_w = 1,2 \text{ см}$ , шириною  $b_f = 30 \text{ см}$  та товщиною полиці  $t_f = 2,5 \text{ см}$  (без врахування ребер) [7].

В таблиці 2 приведені результати розрахунку економічної ефективності запропонованих решітчастих балок з подвійною профільованою стінкою в порівнянні з традиційною конструкцією складеної балки. Порівнюючи конструкції типових сталевих складених балок зі сталевими балками з подвійною профільованою стінкою, розкріплених решіткою різного обрису, виявлено суттєвий економічний ефект зменшення матеріаломісткості до 11% та кошторисної вартості до 6% при можливому невеликому збільшенні трудомісткості до 1%.

Таблиця 2 – Результати техніко-економічного порівняння сталевих балок з подвійною поперечно профільованою стінкою, розкріплених решіткою зі зварними конструкціями балок на пог. м.

Критерій оцінювання	Зварні сталеві балки	Сталева балка з подвійною поперечно профільованою стінкою, розкріплена розкісною решіткою		Сталева балка з подвійною поперечно профільованою стінкою, розкріплена хрестовою решіткою		Сталева балка з подвійною поперечно профільованою стінкою з решіткою у вигляді арочних елементів		Сталева балка з подвійною поперечно профільованою стінкою з решіткою у вигляді одиночного арочного елемента	
		абсолютне значення	ефект, %	абсолютне значення	ефект, %	абсолютне значення	ефект, %	абсолютне значення	ефект, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Маса конструкцій, кг	160,3	143,13	+11	149,45	+7	150,6	+6	143,64	+10
Загальна кошторисна вартість конструкцій, грн.	3170	2984	+6	3142	+1	3148	+1	2977	+6
Трудомісткість, люд.-год.	37	37	0	39	-5	39	-5	36	+3
Кошторисна заробітна плата, грн.	825	835	-1	889	-8	885	-7	826	0

Найкращими з економічної точки зору є варіанти балочних конструкцій, розкріплені розкісною решіткою та у вигляді одиночного арочного елемента, які за прийнятими техніко-економічними критеріями значно переважають балки складеного перерізу.

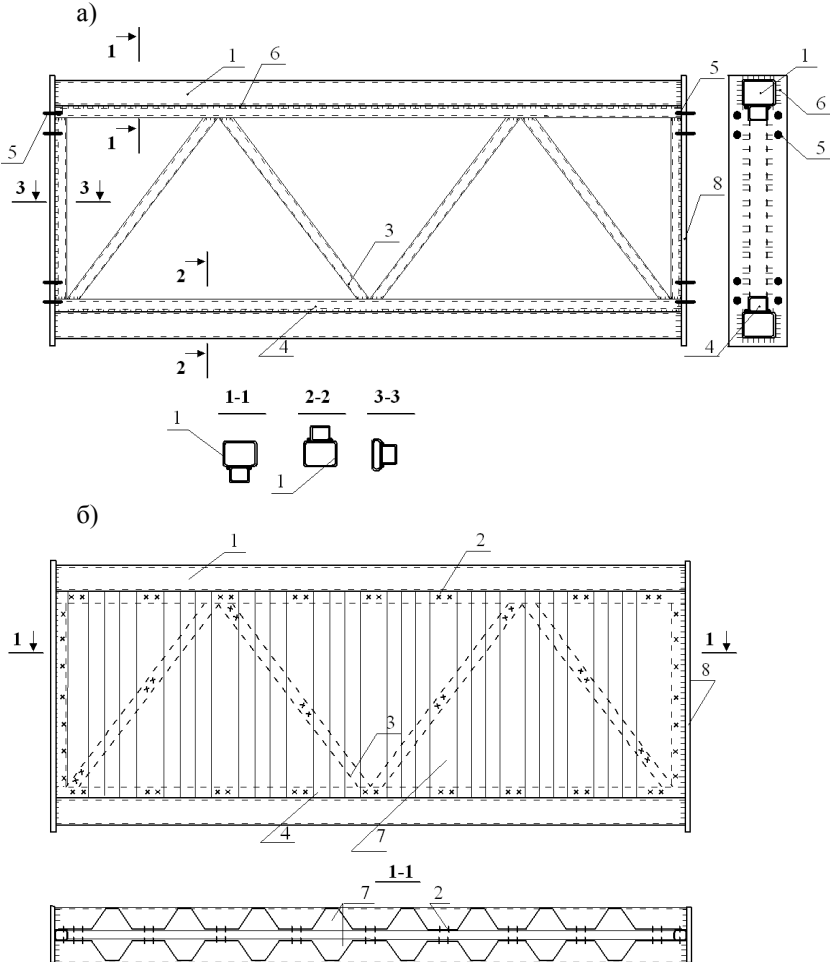
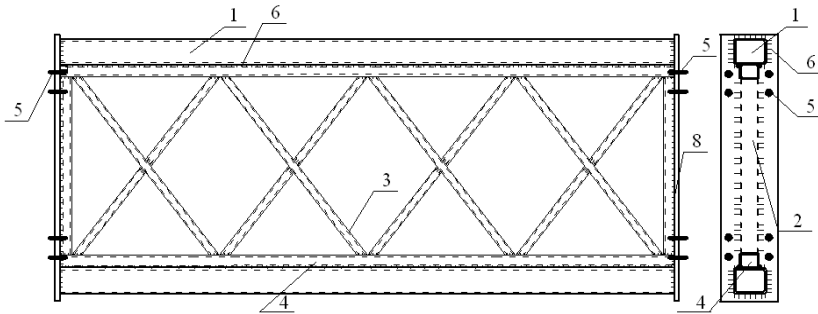


Рисунок 1. Сталева балка з подвійною поперечною профільованою стінкою, розкріплена розкісною решіткою: а – вихідна заготовка; б – готовий відсік

Треба відмітити, що саме гофрування забезпечує зниження матеріаломісткості, а застосування листів профільованого настилу дозволяє варіювати розмірами гофрів призводячи до суттєвої втрати ваги конструкції при виконанні умов міцності і стійкості. Знаходження ефективних геометричних параметрів перерізу балок з гофрованими (профільованими) стінками дозволить всебічно реалізувати потенційні можливості легких балочних конструкцій такого типу.

Представлені решітчасті конструкції балок можуть застосовуватись при будівництві промислових цехів, балочних клітин, складських приміщень, ангарів, мансард різноманітних приміщень цивільного та сільськогосподарського призначення.

а)



б)

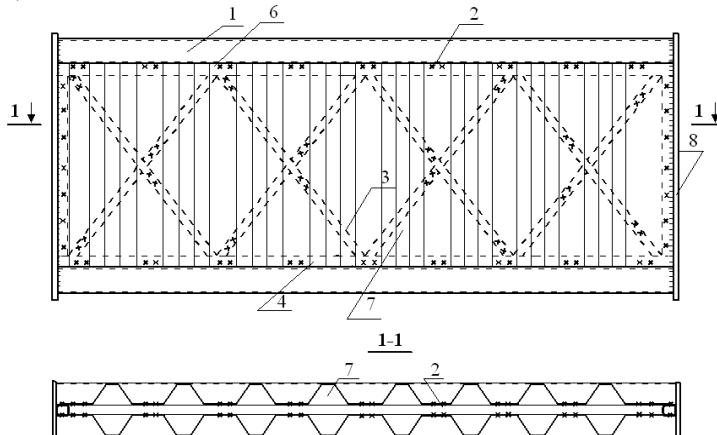


Рисунок 2. Сталева балка з подвійною поперечно профільованою стінкою, розкріплена хрестовою решіткою: а – вихідна заготовка; б – готовий відсік



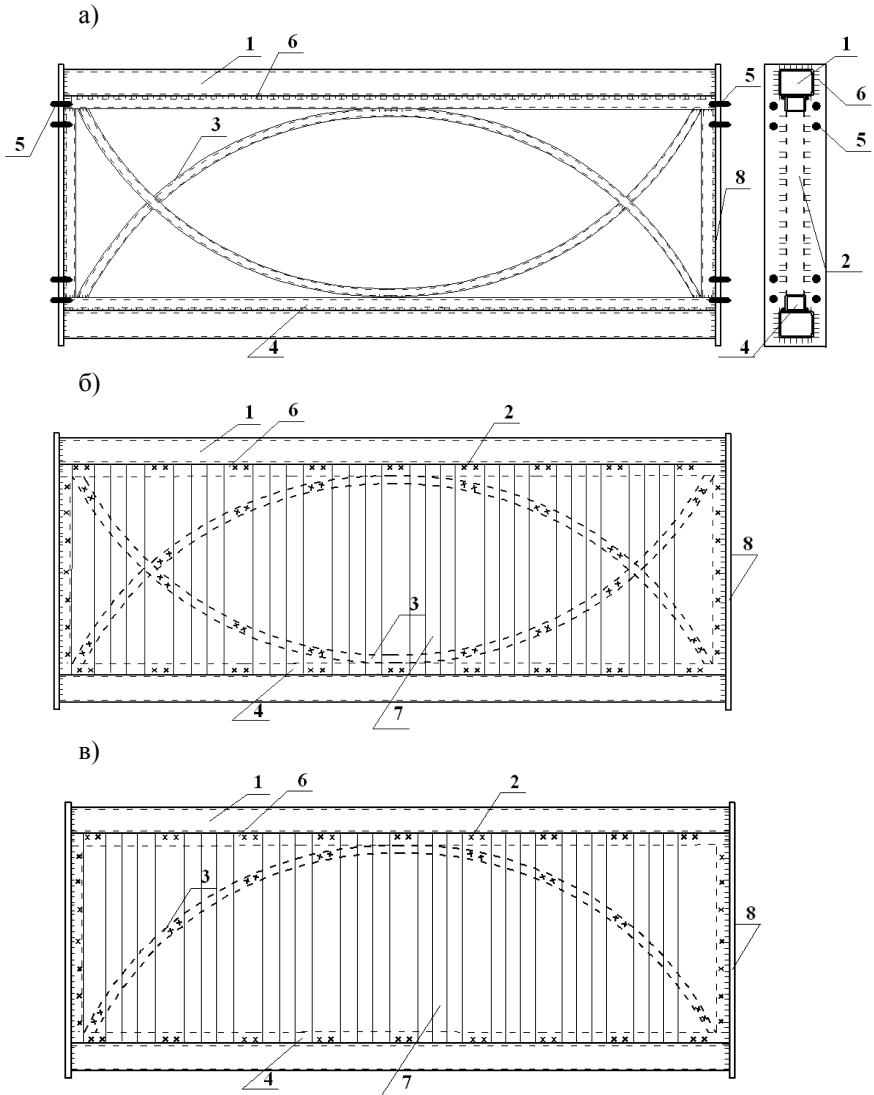


Рисунок 3. Сталева балка з подвійною поперечно профільованою стінкою з решіткою у вигляді арочних елементів: а – вихідна заготовка з подвійними арочними елементами; б – готовий відсік з подвійними арочними елементами; в – готовий відсік з одиночним арочним елементом

**Висновки.** В результаті проведеного техніко-економічного аналізу запропонованих конструкцій легких балок з подвійною профільованою стінкою, розкріплених решіткою різної конфігурації, в порівнянні зі зварною сталевю балкою визначений економічний ефект зменшення матеріаломісткості та кошторисної вартості, який варіюється в межах 11%. Приведений загальний алгоритм оцінювання техніко-економічних показників нових конструктивних рішень легких балок.

#### Список літератури:

1. Кретинин А.Н. Тонкостенные балки из гнутых оцинкованных профилей: составных поясов коробчатого сечения и гофрированных стенок: автореф. дис. на соискание уч. степ. канд. техн. наук: 05.23.01 / А.Н. Кретинин; Новосиб. госуд. архит.-строит. ун-т. – Новосибирск: НГАСУ, 2008. – 25 с.
2. Егоров П.И. Исследования напряженно-деформированного состояния стальных балок и колонн из двутавра с тонкой гофрированной стенкой: автореф. дис. на соискание уч. степ. докт. техн. наук: спец. 05.23.01 „Строительные конструкции, здания и сооружения”/ П.И. Егоров. – Хабаровск, 2010. – 24 с.
3. Полторацнев А.С. Несущая способность и оптимизация стальных тонкостенных балок: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А. С. Полторацнев; рук. работы Я. И. Ольков; Моск. гос. ун-т путей сообщ. - М.: УПЦ ГИ МИИТ, 2012. – 24 с.
4. Rackham J. W. Composite slabs and beams using steel decking: best practice for design and construction / J. W. Rackham, G. H. Couchman // The metal cladding & roofing manufacturers association in partnership with the steel construction institute. 2009. (23) №2. – 110 p.
5. Пат. 64445 Україна, МПК (2006) E 04 C 3/02. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу, розкріплена розкідною решіткою / Пічугін С.Ф., Чичулін В.П., Чичуліна К.В.; власник: Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № у 2011 04051; заявл. 04.04.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21. – 4 с.
6. Чичуліна К.В. Надійність вузлів сталевих балок з профільованою стінкою: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.23.01 / Чичуліна К.В. – Полтава, 2011. – 26 с.
7. ТУ У 01412851.001-95. Двутавры сварные. Технические требования. – Днепропетровск: Типография завода им. Бабушкина, 1996. – 31 с.