

**С.Ф. Пічугін, д.т.н., професор, В.П. Чичулін, к.т.н., доцент, К.В. Чичуліна, асистент
Б.В. Федоров, студент**

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ТИПІВ ЛЕГКИХ БАЛОК ІЗ ПРОФІЛЬОВАНОЮ СТІНКОЮ

Вирішується питання підвищення ефективності будівельних конструкцій шляхом упровадження нових типів легких балок із профільованою стінкою та визначається економічна доцільність їх використання.

Ключові слова: *сталева балка, профільована стінка, економічна ефективність.*

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку металевих конструкцій головним завданням упровадження нових типів легких балок є забезпечення мінімальної матеріаломісткості та кошторисної вартості при збереженні їх нормальних експлуатаційних якостей.

Аналіз останніх досліджень. Ще в середині 3-го десятиліття ХХ ст. з'явилася ідея гофрування стінок балок, але тільки в 80-ті роки балки з трикутними гофрованими стінками знайшли своє застосування. У США та Японії балки з трапецеїдальними гофрованими стінками широко використовуються в мостобудуванні з 80-х років, але головною галуззю застосування безперечно є багатоповерхове будівництво, де такі балки використовують для різноманітних покриттів та перекриттів. У Німеччині та Швеції такі балкові конструкції є дуже популярними в будівництві складських і промислових приміщень, спортивних і торговельних комплексів та інших приміщень. Потокова автоматична лінія з виробництва зварних двотаврових балок із синусоїдальною стінкою (завтовшки 2–3 мм) за австрійською технологією виробництва зараз успішно функціонує і в Україні.

Велику кількість вітчизняних та зарубіжних наукових робіт присвячено дослідженню балок з гофрованою стінкою. Серед останніх, безперечно, можна відзначити праці П.І. Єгорова [1], А.Н. Кретиніна [2], М.В. Лазнюка [3], Н.Р. Kazemi [4], Н. Pasternak [5] та інших.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Упровадження нових видів тонкостінних балок із профільованими стінками обумовлено їхніми сприятливими показниками економічної ефективності та матеріаломісткості. З урахуванням того, що українське виробництво зараз успішно представляє на будівельному ринку зварні балки з хвилястими стінками закордонної технології, існує необхідність пошуку нових конструктивних рішень легких балок із профільованою стінкою.

Формулювання цілей статті. Головною метою є представлення нових конструктивних рішень легких балок з профільованою стінкою, які забезпечують ряд переваг порівняно з традиційними балковими конструкціями в умовах надійного та економічного проектування.

Виклад основного матеріалу. Конструкція балки з гофрованою стінкою має низку переваг порівняно зі звичайними двотавровими балками. Зниження матеріаломісткості досягається за рахунок виключення ребер жорсткості та гофрування стінки, тому що саме гофрування забезпечує пружну роботу сталі й підвищує місцеву стійкість стінки. Тому з метою отримання нових ефективних конструктивних рішень елементів балок із профільованою стінкою, що забезпечать зниження витрат на матеріали, виготовлення, монтаж і транспортування, а також будуть характеризуватися високою надійністю, технологічністю та корозійною стійкістю, запропоновано нові види балок з подвійною профільованою стінкою [6]. Зазначені переваги запропонованої конструкції в майбутньому нададуть можливість впровадження їх у будівельній практиці.

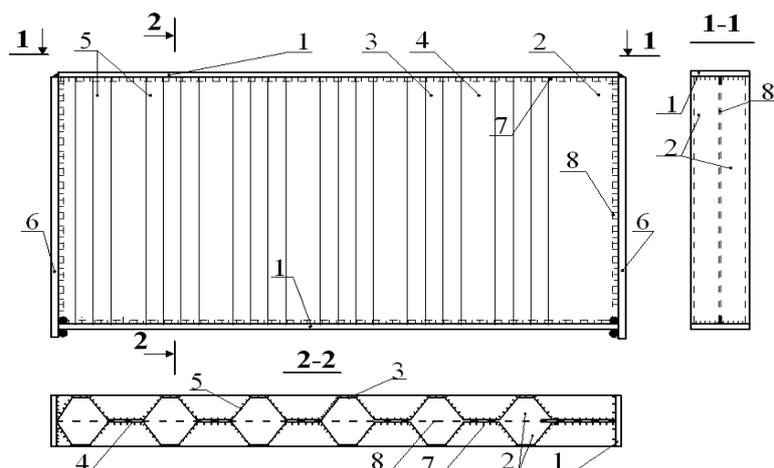


Рисунок 1 – Балка з подвійною профільованою стінкою трапецеїдального обрису

На рис. 1 зображена конструкція сталеві балки з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з нерівномірним кроком гофрів (рис. 1) [7]. Профільована стінка (2) балки має трапецеїдальну форму, що складається з довшої (4) та коротшої (3) горизонтальних ділянок профільованого листа, а також похилої ділянки гофри (5). Гофри поданої балки мають нерівномірні кроки. Стінка балки являє собою два холодногнутих профільованих листи (2), що прикріплюються до поясів і ребер (6) по всьому периметрові або з використанням ламелей (8), за допомогою зварювання (7). У торцях балки розташовані опорні ребра (6), а полиці двотавра (1) виконані з листів. Особливістю роботи є те, що дію згинального моменту сприймають полиці, а поперечну силу – стінка балки. Гофри балок мають різні кроки, які можна регулювати, тому вони є більш економічними.

На рис. 2 наведена нова конфігурація полегшених сталевих балок, що мають трапецеїдальний коробчастий профіль та нерівномірний крок гофрів з перервними поясними швами [8]. Така конструкція балки є перспективною в умовах сьогодення. Суть зазначеної конструкції полягає в тому, що використані перервні зварні шви (6) забезпечують рівномірний перерозподіл зусиль у полицях (1) на стінку балки (2), оскільки в суцільних швах зусилля швидко спадають до мінімальних. Ця конструкція відрізняється від наведеного аналога (рис. 1) тим, що стінка такої балки приварюється з двох боків переривчасто тільки на горизонтальних ділянках (3 – 4) паралельно поздовжній осі балки та забезпечує економію наплавленого металу при зварюванні.

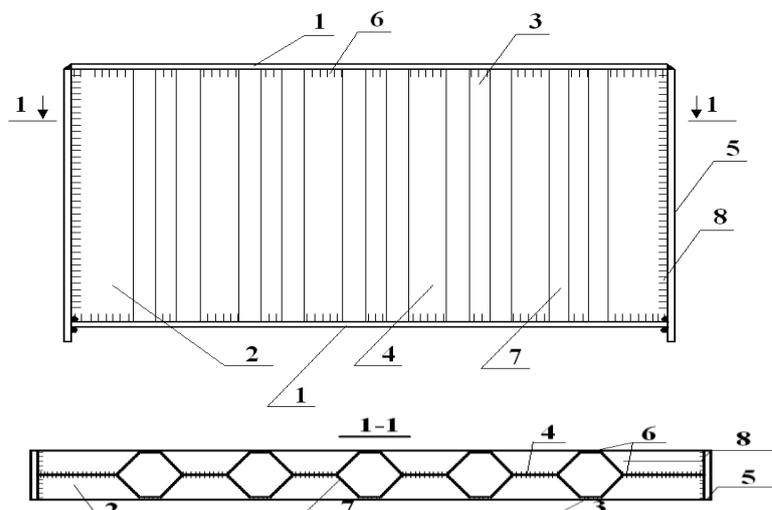


Рисунок 2 – Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з переривчастими поясними швами

У процесі дослідження існуючих конструктивних рішень балок із профільованими стінками запропонована нова конструкція сталевих балок з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами зі зварних таврів. Особливість такої конструктивної форми полягає в тому, що в цьому випадку використані точкові зварні шви для прикріплення таврових поясів та стінки. Прикріплення ділянок стінки точковим зварюванням, які наближені до пояса, надає деякої податливості стінки вздовж балки та забезпечує жорсткість балки в цілому, а також сприйняття локальних напружень у стінці балки. Необхідно відмітити, що стінка не доходить до полиці й не сприймає нормальні зусилля, а тільки поперечну силу (дотичні напруження). Нормальні напруження сприймаються тільки тавровими поясами, як в ідеальних двотаврах. На опорних частинах балки застосовуються складені зварні таврові опорні ребра, які забезпечують стійкість.

На рис. 3 зображений відсік сталеві балки з профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами у вигляді зварних таврів. Розглядаючи склад балки, відмітимо, що профільована стінка (2) балки має трапецієподібну форму, яка утворюється з похилої ділянки гофри (7), довшої (4) та коротшої (3) горизонтальних ділянок профільованого листа. Стінка балки складається із двох профільованих листів (2), що прикріплюються до поясів (1), які складаються зі зварних таврів паралельно осі балки, точковим зварюванням (6), а до опорних ребер (5) – за допомогою суцільного зварювання (8). Пояси з таврів сприймають дію згинального моменту в балці й працюють на розтяг і стиск як ідеальний двотавр, а стінка сприймає поперечну силу. На ділянках з'єднання стінки й полиць у вигляді таврів не виникає зональних нормальних напружень у верхній та нижній частинах стінки. Установлення таврових опорних ребер призводить до забезпечення стійкості й виключення випучування стінки в зоні опорного вузла. Переваги такої конструкції полягають в тому, що пояси у вигляді зварних таврів та використання точкового зварювання забезпечують суттєву економію матеріалу запропонованої конструкції.

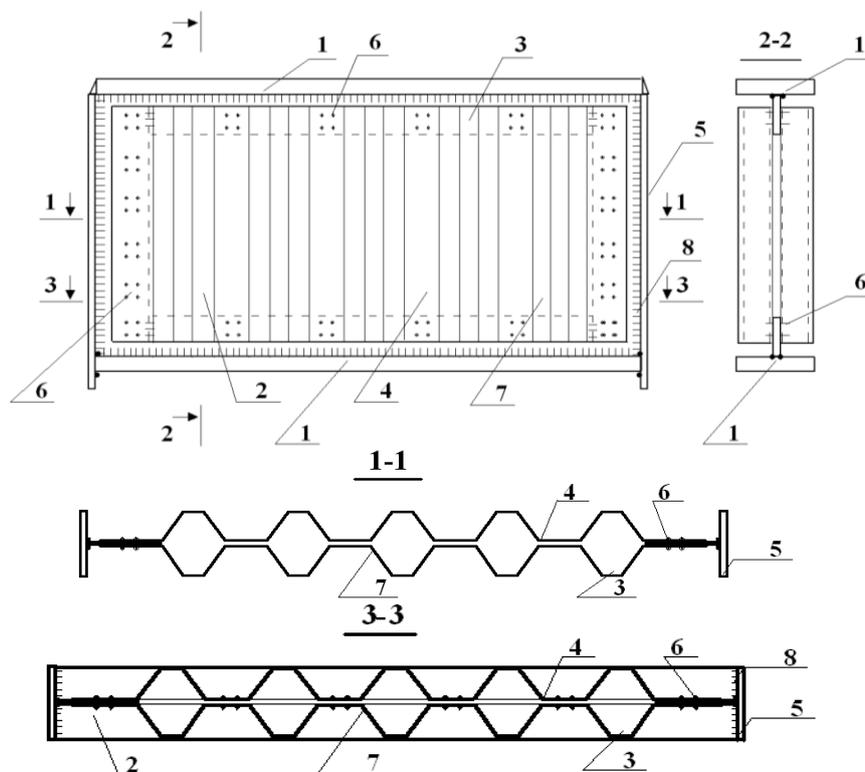


Рисунок 3 – Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами зі складених таврів

Також була запропонована нова конструкція сталеві балки з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами з прокатних таврів [9].

Особливість цієї моделі полягає в тому, що стінка балки у верхній частині, яка піддається максимальним нормальним напруженням, підсилюється вертикальною стінкою тавра, що підвищує несучу здатність такого типу конструкцій. Невеликі локальні навантаження на верхній пояс балки більш рівномірно розподіляються на стінку балки за рахунок таврового пояса.

На рис. 4 зображений відсік сталеві балки з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами із прокатних таврів. Ця конструкція відрізняється від свого прототипу (рис. 3) тим, що стінка балки складається із двох профільованих листів (2), що прикріплюються точковим зварюванням (6) до поясів (1), які складаються з прокатних таврів. Стінка прокатного тавра має суттєву висоту, що забезпечує міцність пояса і верхньої частини стінки балки за нормальними напруженнями. Можливе застосування таврів як з паралельними гранями полиць («БТ», «ШТ»), так і з ухилом полиць (нормальні двотаври). Для опорних ребер можливе використання зварних таврів і прокатних таврів.

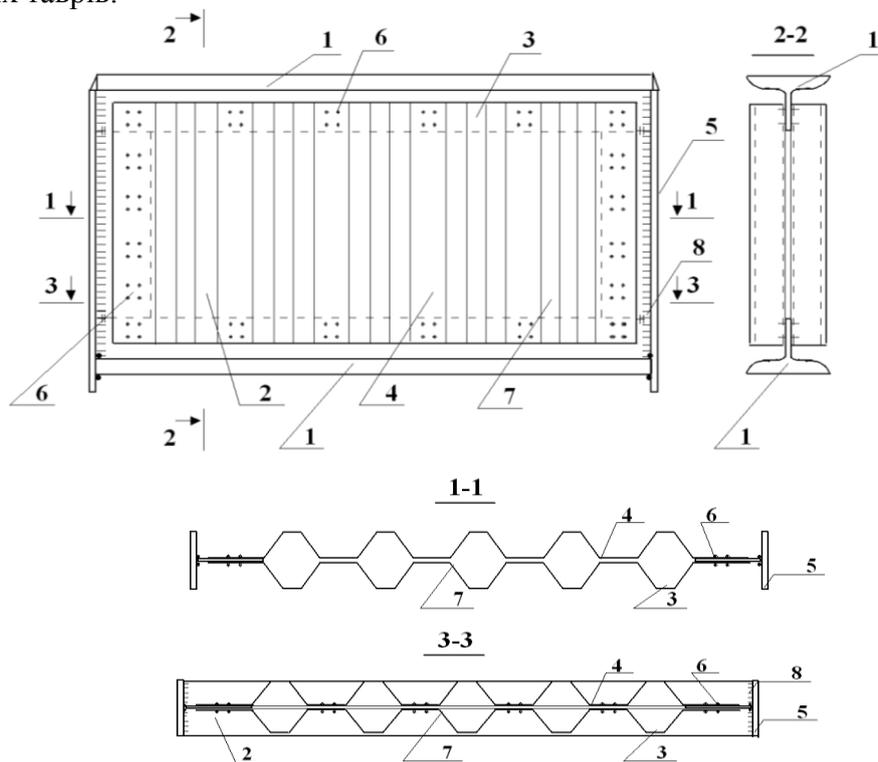


Рисунок 4 – Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами з прокатних таврів

Якщо розглядати прийняту в будівництві систему ціноутворення, зокрема для металоконструкцій, можна виділити наступні пропорції вартості їх складових: проектування (2–3%); сталь та інші матеріали (40–60%); виготовлення (20–25%); транспортні витрати (5–7%); монтаж (15–25%).

Розрахунок запропонованих конструкцій здійснювався в поточних цінах станом на 2011 рік за допомогою програмного комплексу «Автоматизоване визначення вартості будівництва, АВК-3», призначеного для автоматизованого випуску кошторисно-ресурсної документації, що використовується всіма учасниками будівництва та орієнтується на ДБН Д.1.1-1-2000 «Правила визначення вартості будівництва».

У проведених розрахунках повної трудомісткості виготовлення балок із профільованою стінкою включені витрати основного виробництва, такі як різання металу, утворення отворів, шліфування, зварювання, складання, фарбування, а також затрати неосновного та допоміжного виробництва.

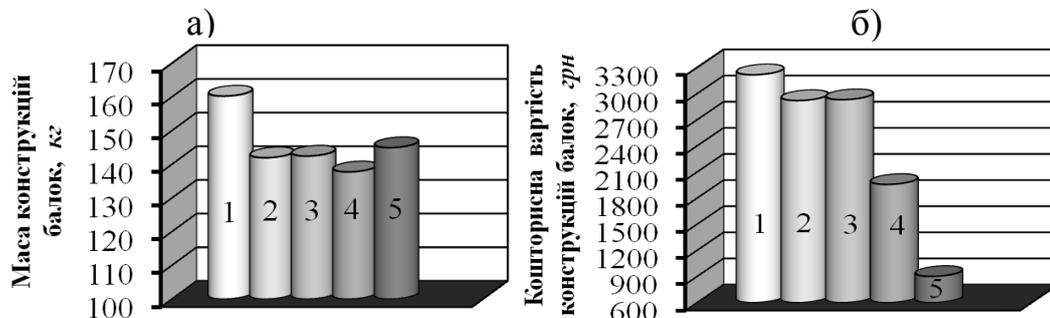
З метою комплексної техніко-економічної оцінки був урахований монтаж дослідних конструкцій, собівартість якого складається із прямих і накладних витрат.

Таким чином, урахувавши виготовлення та монтаж, можливі транспортні витрати, всі матеріали, можна отримати загальну кошторисну вартість конструкцій.

Під час проведеного дослідження були розраховані витрати матеріалу й кошторисна вартість на 1 м пог. конструкції.

Із порівняльного сортаменту [6] було вибрано конструкцію балки з подвійною профільованою стінкою типових розмірів, а саме з висотою та товщиною подвійної стінки відповідно $h_w=45$ см і $2t_w=0,2$ см, шириною $b_f=34$ см та товщиною полиці $t_f=2,5$ см. Площа $A=179$ см² і вага $G=142,3$ кг/м (без урахування ребер). До запропонованих конструкцій балок була підібрана зварна сталева балка 50БС3. При розрахунку сталевих балок з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами із прокатних таврів був підібраний гарячекатаний двотавр 90Б2.

На рис. 5 наведені результати розрахунку економічної ефективності запропонованих балок із профільованою стінкою порівняно з іншими типовими конструкціями (складені балки). У результаті порівняння конструкцій сталевих складених балок зі сталевими балками з профільованою стінкою з поясами із прокатних таврів можна виявити суттєвий економічний ефект зменшення кошторисної вартості до 39%, зі сталевими балками з профільованою стінкою з поясами зі складених таврів до 72% і до 9% порівняно зі сталевими балками із профільованою стінкою з перервними та суцільними поясними швами.



1 – сталева зварна балка; 2 – сталева балка з поперечно профільованою стінкою з перервними поясними швами; 3 – сталева балка з поперечно профільованою стінкою з нерівномірним кроком гофрів; 4 – сталева балка з поперечно профільованою стінкою з поясами з прокатних таврів; 5 – сталева балка з поперечно профільованою стінкою з поясами зі складених таврів

Рисунок 5 – Результати розрахунку економічної ефективності сталевих балок: а) порівняння маси конструкцій; б) порівняння кошторисної вартості конструкцій

Таблиця 1 – Техніко-економічний аналіз балок із профільованою стінкою

Найменування	Одиниці виміру	Зварні сталеві балки на 1 м пог.	Сталева балка з подвійною профільованою стінкою на 1 м пог.	Сталева балка з подвійною профільованою стінкою з перервними поясними швами на 1 м пог.	Сталева балка з подвійною профільованою стінкою з поясами із прокатних таврів на 1 м пог.	Сталева балка із подвійною профільованою стінкою з поясами зі складених таврів на 1 м пог.
		2	3	4	5	6
Маса конструкцій	кг	160,3	142,5	142	137,8	145
	Економія, %	–	11	11	14	10
Кошторисна вартість конструкцій	грн	3218	2932	2922	1959	902
	Економія, %	–	9	9	39	72
Трудомісткість	люд.-год.	43	38	38	21	22
	Економія, %	–	12	12	51	49

Згідно з проведеними розрахунками, результати яких наведені в таблиці 1, зафіксовано зменшення величини матеріаломісткості порівняно зі сталевими складеними балками для профільованих балок, які мають пояси із прокатних таврів до 14%, для сталевих балок із профільованою стінкою з поясами зі складених таврів до 10% і до 11% для сталевих балок із профільованою стінкою з перевними та суцільними поясними швами.

Порівнюючи кошторисну трудомісткість запропонованих конструкцій з типовими зварними балками, можна відмітити ефект зменшення для балок із профільованою стінкою з поясами із прокатних таврів до 51%, для сталевих балок із профільованою стінкою з поясами зі складених таврів до 49% і до 12% для сталевих балок із профільованою стінкою з перевними та суцільними поясними швами.

Отже, створення балок, що мають нову конструктивну форму профільованої стінки, приводить до підвищення економічної ефективності запропонованих конструкцій.

Висновки. Виявлено доцільність застосування балок з профільованою стінкою. Запропоновано вдосконалені конструктивні форми балок з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу: з нерівномірним кроком гофрів; з перевними поясними швами; з поясами із прокатних і зварних таврів. Такі балки забезпечують значне зниження вартості матеріалу, працевитрат, монтажу та транспортних витрат порівняно з традиційним варіантом сталеві зварної балки.

Література

1. Егоров, П.И. Исследования напряженно-деформированного состояния стальных балок и колонн из двутавра с тонкой гофрированной стенкой : автореф. дис. на соискание учен. степ. докт. техн. наук : спец. 05.23.01 „Строительные конструкции, здания и сооружения” / П.И. Егоров. – Хабаровск, 2010. – 24 с.
2. Кретинин, А.Н. Тонкостенные балки из гнутых оцинкованных профилей: составных поясов коробчатого сечения и гофрированных стенок : автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. техн. наук : спец. 05.23.01 „Строительные конструкции, здания и сооружения” / А.Н. Кретинин. – Новосибирск, 2008. – 25 с.
3. Лазнюк, М.В. Балки з тонкою поперечно гофрованою стінкою при дії статичного навантаження : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук : спец. 05.23.01 / М.В. Лазнюк. – К., 2006. – 18 с.
4. Kazemi, H.R. The Effects of the Corrugation Profiles of the Web on the Lateral-Torsional Buckling Strength of the Inelastic I-Girder / H.R. Kazemi, Nia Korrani, S. Molanaei // World Applied Sciences. – 2010. No. 8 (5). – P. 527–530.
5. Pasternak, H. Plate girders with corrugated webs / Hartmut Pasternak, Gabriel Kubieniec // Journal of civil engineering and management. – 2010. – No. 16(2). – P. 166–171.
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. Пат. 45328 Україна, МПК (2006) Е 04 С 3/02. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з нерівномірним кроком гофрів / Пічугін С.Ф., Чичулін В.П., Чичуліна К.В.; власник : Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2009 03785; заявл. 17.04.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. – 4 с.
8. Пат. 51629 Україна, МПК (2006) Е 04 С 3/02. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з перевними поясними швами / Пічугін С.Ф., Чичулін В.П., Чичуліна К.В.; власник : Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2010 00424; заявл. 18.01.2010; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14. – 4 с.
9. Пат. 64444 Україна, МПК (2006) Е 04 С 3/02. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами з прокатних таврів / Пічугін С.Ф., Чичулін В.П., Чичуліна К.В.; власник : Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2011 04044; заявл. 04.04.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21. – 4 с.

Надійшла до редакції 12.12. 2011

© С.Ф. Пічугін, В.П. Чичулін,
К.В. Чичуліна, Б.В. Федоров

**С.Ф. Пичугин, д.т.н., профессор, В.П. Чичулин, к.т.н., доцент
К.В. Чичулина, ассистент, Б.В. Федоров, студент**

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ТИПОВ ЛЕГКИХ БАЛОК С ПРОФИЛИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ

Решается вопрос повышения эффективности строительных конструкций путем введения новых типов легких балок с профилированной стенкой, и определяется экономическая целесообразность их использования.

Ключевые слова: *стальная балка, профилированная стенка, экономическая эффективность.*

**S.F. Pichugin, Sc.D., V.P. Chichulin, Ph.D.
K.V. Chichulina, asistent, B.V. Fedorov, student**

Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk

FINANCIAL VIABILITY OF THE USE OF NEW TYPES OF LIGHT BEAMS WITH THE CORRUGATED WEB

The question of increase of efficiency of construction-works decides by introduction of new types light beams with the corrugated web and financial viability of their use is determined.

Keywords: *steel beam, corrugated web, economic efficiency.*