

УДК 624.071.34

Удосконалення конструктивних форм балок з профільованою стінкою

Пічугін С.Ф., д.т.н., Чичуліна К.В., к.т.н.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
Україна

Анотація. Запропоновані нові конструктивні форми сталевих легких балок із профільованою стінкою, показані переваги даного типу конструкцій та наведені рекомендації щодо їх застосування.

Аннотация. Предложены новые конструктивные формы стальных лёгких балок с профилированной стенкой, показаны преимущества данного типа конструкций и даны рекомендации по их применению.

Abstract. The article dwells on new constructional forms of steel easy beams with corrugated webs. In-process presented dignities of this type of constructions and given recommendations on their application.

Ключові слова: сталева легка балка, профільована стінка, решітка, профіль.

Постановка проблеми. З 50-х років ХХ століття на ринку будівельних конструкцій успішно конкурують із традиційними технологіями легкі сталеві тонкостінні конструкції (ЛСТК), які з кожним роком набирають все більшої популярності завдяки легкості, економічності, довговічності, надійності, достатнім теплоізоляційним якостям, високій вогнестійкості (при використанні пінополістиролу), можливості виготовлення на будівельному майданчику, швидкості складання за рахунок застосування болтів, самонарізних гвинтів, шурупів, заклепок, точкового зварювання. Сфера їх застосування досить різноманітна, зокрема, це оптимальний варіант для будівництва та реконструкції кровляних систем, мансард, горищних просторів, ангарів, огорожувальних конструкцій. З появою в Україні технологічних ліній із виготовлення балок з гофрованими стінками (гофро-балок) з'явилась можливість виготовлення тонкостінних конструкцій такого типу без особливих складностей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми. Теоретичні та експериментальні дослідження балок, пояси яких складаються з гнутих С-утворюючих профілів коробчастого перерізу та стінки з профільованого листа з несучими з'єднаннями на попередньо-напружених болтах, виконав А.Н. Кретинін, який відзначив ефективність такого компонування [2]. Доведене підвищення жорсткості стінки за рахунок додаткових елементів у конструкції сталевої балки з установленими похилими планками, що

підвищує стійкість стінки і сприяє підвищенню несучої здатності профілю при скручуванні, утворюючи тим самим умовно замкнутий контур поперечного перерізу [11]. Відомим аналогом решітчастих балкових конструкцій є сталева балка з установленою додатковою «стінкою» у вигляді зигзагоподібного арматурного стрижня [12], що сприяє підвищенню критичних навантажень тонкої стінки та з додатковим стрижнем, привареним короткими планками до стінки.

Результати останніх досліджень, пов'язаних із балками, що мають гофровану стінку, наведені в роботах П.І. Егорова [1], С.В. Кудрявцева [3], М.В. Лазнюка [4], Н.Р. Kazemi [14], Н. Pasternak [15] та інших.

Нерозв'язаною раніше частиною проблеми є те, що за умови популяризації гофро-балок на сучасному етапі розвитку ринку металевих конструкцій існує необхідність пошуку нових конструктивних рішень, які б задовольнили вимогам споживачів та відповідали всім експлуатаційним показникам при мінімальній вартості. В державних нормах відсутні рекомендації щодо проектування та оцінки несучої здатності балок саме з трапецієподібною стінкою, тому дане дослідження є досить актуальним.

Задачі дослідження. Головними задачами нашого дослідження є розроблення нових конструктивних рішень легких балок із профільованою стінкою, які можуть забезпечити суттєву конкуренцію традиційним рішенням балкових конструкцій, довести переваги запропонованих балок та визначити сферу їх застосування.

Виклад основного матеріалу. Переваги гофро-балок у світовій будівельній практиці давно відомі, зокрема, це зниження матеріаломісткості за рахунок виключення ребер жорсткості та гофрування стінки, зменшення виробничої потужності, витрат на виготовлення, монтаж та транспортування. Суттєві переваги такого типу конструкцій спонукають до розроблення та урізноманітнення сталевих легких балок із профільованою стінкою.

Запропонована конструкція сталевий балки з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з нерівномірним кроком гофрів (рис. 1) [5]. Профільована стінка (2) балки має трапецеїдальну форму, і складається з довшої (4) та коротшої (3) горизонтальних ділянок профільованого листа, а також похилої ділянки гофри (5). Гофри зазначеної балки мають нерівномірні кроки, які можна регулювати, що є неможливим для хвилястих стінок. Стінка балки являє собою два холодногнутих профільованих листа (2), що закріплюються до поясів і ребер (6) по всьому периметру, або в даному випадку з використанням ламелей (8), за допомогою зварювання (7). В торцях балки розташовані опорні ребра (6), а полиці двотавра (1) виконані з листів. При цьому дію згинального моменту сприймають полиці, а поперечну силу – стінка балки.

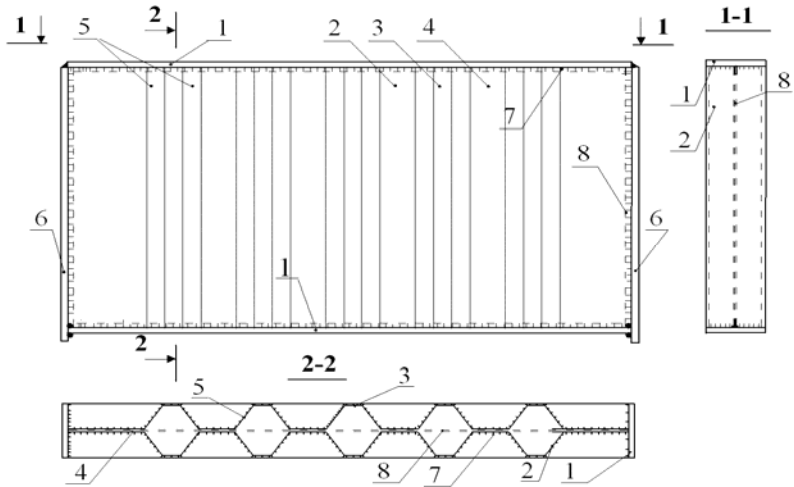


Рис. 1. Балка з подвійною профільованою стінкою трапецеїдального обрису

Представлена модифікована форма запропонованої вище балки – сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчатого перерізу з нерівномірним кроком гофрів та переривчастими поясними швами [6] (рис. 2).

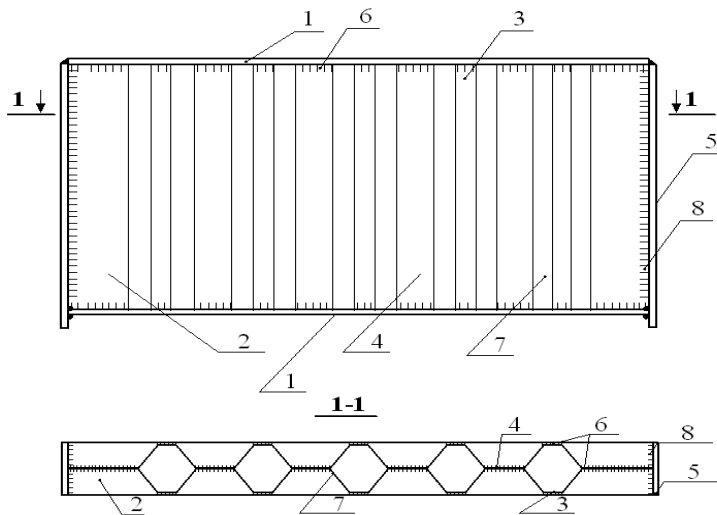


Рис. 2. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчатого перерізу з переривчастими поясними швами

До складу такої балки входить трапецеїдальна профільована стінка (2), яка приварюється з двох боків переривчасто (6) тільки на горизонтальних ділянках (3, 4) паралельно поздовжній осі балки. Стінка балки складається

з двох профільованих листів, що прикріплюються до ребер (5) безперервним зварюванням, а до поясів (1) – за допомогою переривчастих зварних швів, що і відрізняє її від попередньої, забезпечуючи при цьому економію наплавленого металу при зварюванні. Особливістю роботи балки є те, що на ділянки гофрів не передаються поздовжні деформації, що забезпечує більш рівномірне завантаження стінки балки від полиць. Використані переривчасті зварні шви забезпечують рівномірний перерозподіл зусиль у полицях на стінку балки, оскільки в суцільних швах зусилля швидко спадають до мінімальних без дії в роботі більшої частини стінки. В такому випадку переривчасті зварні шви (довжина окремих ділянок від 50 до 150 мм, а відстань між ділянками, зазвичай, в 1,5–2,5 раза більша довжини ділянки) дають деяку економію виробничих витрат і забезпечують достатню стійкість стінки, яка не сприймає зусиль з площини балки.

З метою удосконалення конструктивних форм легких балок запропоновані нові конструкції сталевих балок з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами із зварних таврів (рис. 3) [7] та з поясами з прокатних таврів (рис. 4) [8]. Профільована стінка (2) балки має трапецієподібну форму, що утворюється з похилої ділянки гофри (7), довшої (4) та коротшої (3) горизонтальних ділянок профільованого листа. Стінка балки складається з двох профільованих листів (2), що закріплюються точковим зварюванням (6) до поясів (1), які складаються зі зварних або прокатних таврів паралельно осі балки. Стінка до опорних ребер (5) прикріплюється за допомогою суцільного зварювання (8). В даному випадку використані точкові зварні шви для прикріплення таврових поясів та стінки, що призводить до ліквідації складного напруженого стану. Прикріплення ділянок стінки, які наближені до пояса точковим зварюванням, надає деякої піддатливості стінці вздовж балки та забезпечує жорсткість балки в цілому, а також неруйнівне сприйняття локальних напружень у стінці балки. Стінка не доходить до полиці й не сприймає нормальних зусиль, 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. Головною перевагою таких конструкцій є те, що 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 і полиць у вигляді таврів не виникає зональних нормальних напружень у верхній та нижній частині стінки. Крім того, при установленні таврових опорних ребер забезпечується стійкість та унеможливорює випучування стінки в зоні опорного вузла. Стінка прокатного тавра має значну висоту, що забезпечує міцність пояса і верхньої частини стінки балки за нормальними напруженнями. Зміна

нормальних напружень відображається гіперболічною залежністю [13], яка має максимальні значення у верхній частині стінки. Невеликі локальні навантаження на верхній пояс балки більш рівномірно розподіляються на стінку балки за рахунок таврового пояса.

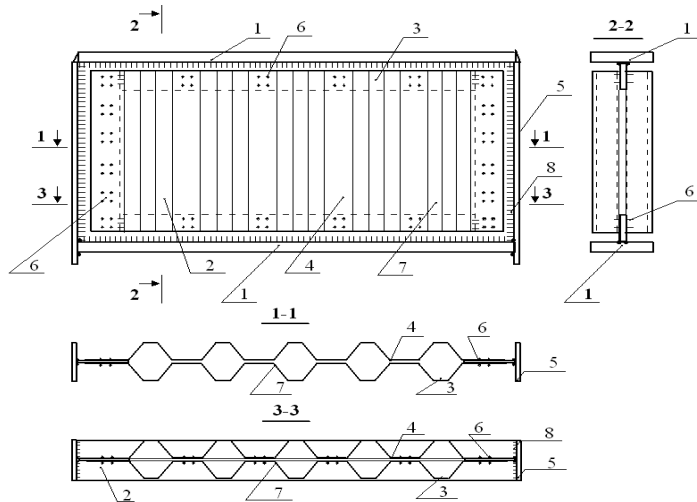


Рис. 3. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами зі складених таврів

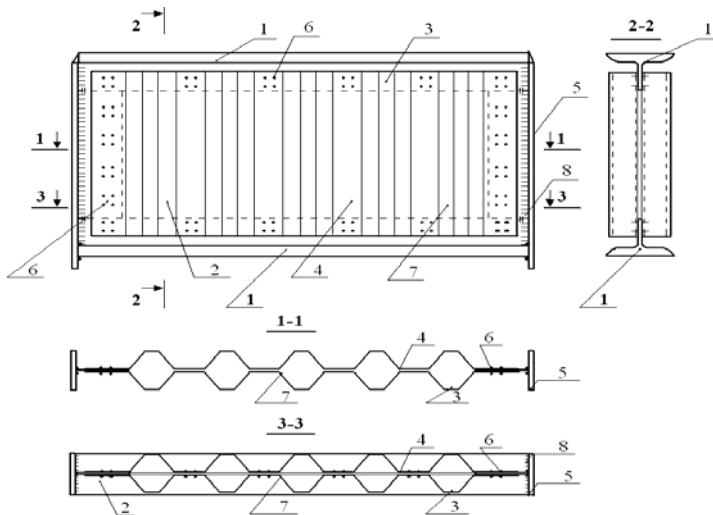


Рис. 4. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами з прокатних таврів

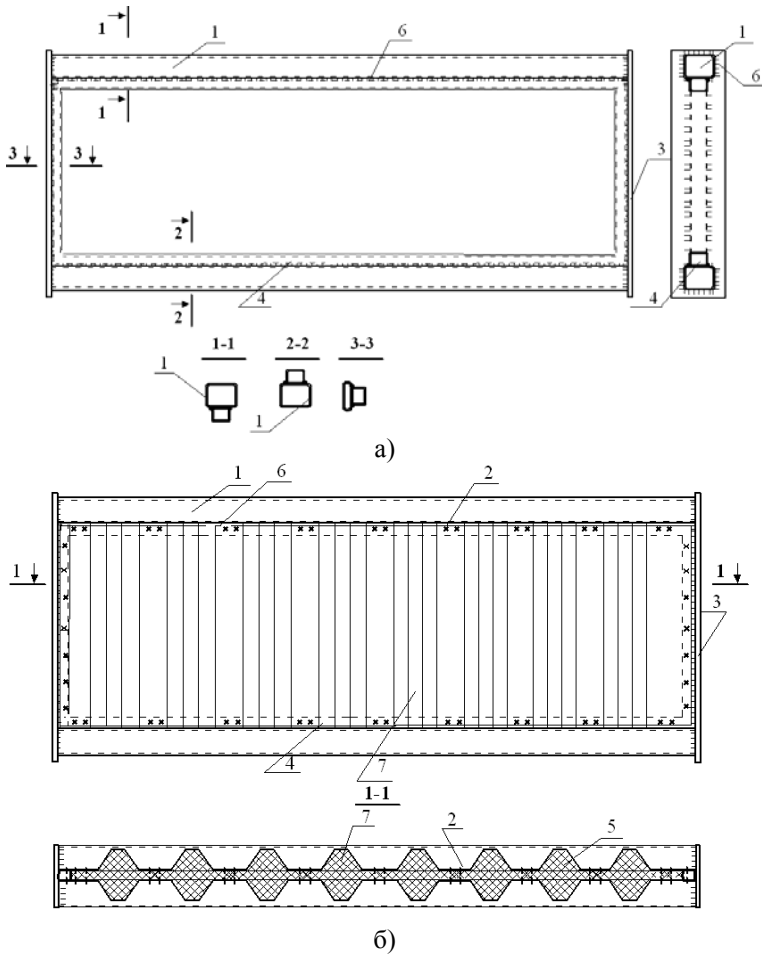


Рис. 5. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчатого перерізу із заповненням внутрішнього простору між стінками пінополістиролом:
а – вихідна заготовка; б – готовий відсік

Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчатого перерізу із заповненням внутрішнього простору між стінками пінополістиролом (рис. 5) [9]. Для забезпечення сумісної роботи профільованих листів (стінки) (7) і підвищення їх стійкості простір між ними заповнюється пінополістиролом (5), пояси (1) та направляючі (4) виконані з труб квадратного перерізу, які прикріплені суцільним зварюванням, стінка до направляючих приєднується за допомогою самонарізних гвинтів (2), опорні ребра (3) виконані з листів. Виготовлення балки починається зі зварювання вихідної заготовки. Стінка балки виконується спочатку зі встановлення профілю з одного боку балки. Надалі балка знаходиться в горизонтальному положенні, де наноситься пінополістирол

пошарово з подальшим установленням верхніх профільованих листів. Прикріплення профільованих листів виконується самонарізними гвинтами і встановленням через направляючі монтажу, щоб запобігти випучуванню стінки, що дозволяє застосовувати профільовану стінку меншої товщини (оцинковані листи), що майже неможливо при зварюванні. Листи з'єднуються між собою внапуск і закріплюються саморізами. Застосування полістирольного заповнення даної конструкції підвищує її теплозахисні та звукоізолювальні характеристики.

Новою формою є балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами із гнутих швелерів (закріплення на саморізах) (рис. 6). Така конструкція поясів дозволяє застосувати тонкі профільовані листи від 1 мм до 2 мм (зварювання при цьому є складним). До складу даної конструкції відноситься профільована стінка (1), яка має трапецієподібну форму і складається з двох профільованих листів, що закріплюються до поясів (2) у вигляді гнутих або прокатних швелерів саморізами (4). Профілі між собою можна скріплювати самонарізними гвинтами. Опорні ребра (5) являють собою зварні таври, котрі прикріплюються до поясів за допомогою зварювання (3), а до стінки саморізами (4). Стінка даної конструкції може бути одинарною і мати хвилястий обрис.

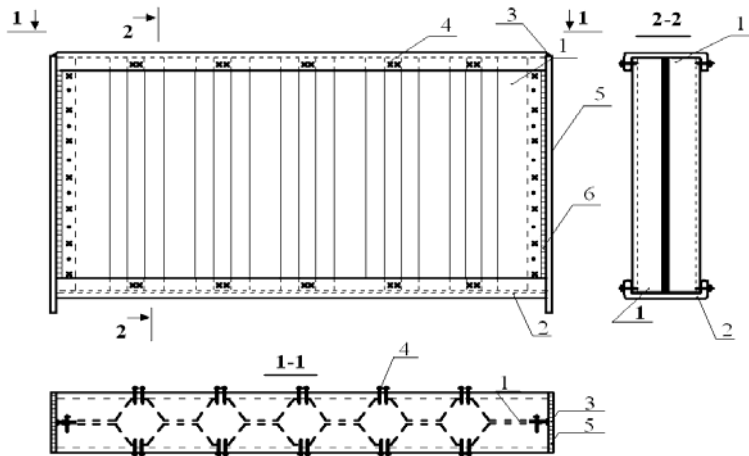


Рис. 6. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами із гнутих швелерів

Розглянемо сталеві балки з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу, розкріплені розкісною решіткою (рис. 7) [10], хрестовою решіткою (рис. 7) та решіткою у вигляді арокних елементів (рис. 8). Зазначимо, що профільована стінка (7) балок має трапецієподібну 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 перерізу, 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 можливої колони можна виконувати отвори (5).

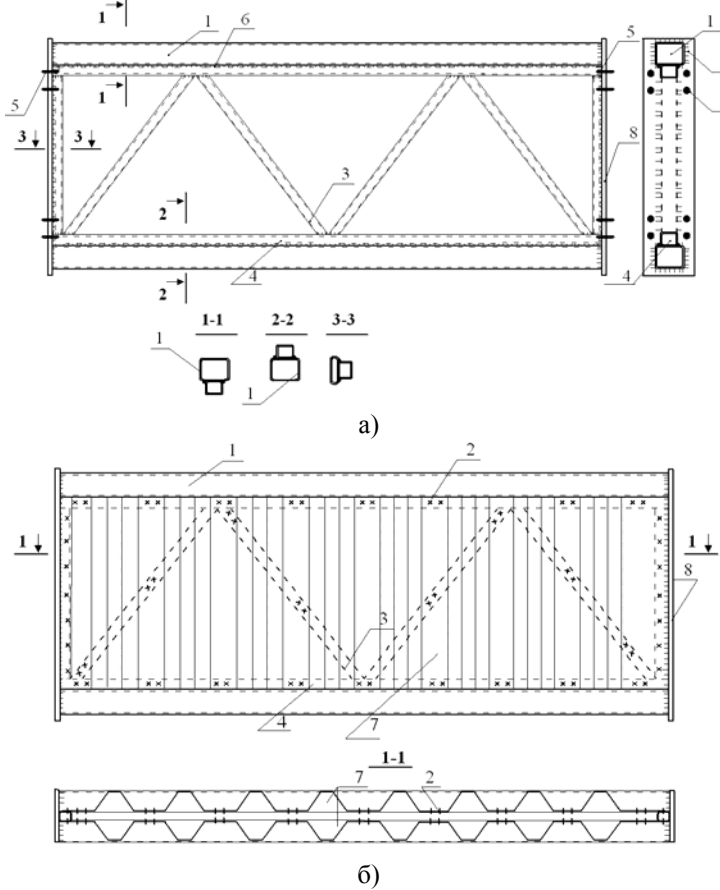


Рис. 7. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу, розкріплена розкільною решіткою:
 а – вихідна заготовка; б – готовий відсік

Вихідні заготовки для такого типу конструкцій виконуються на початку виготовлення балок. Розташування розкільної решітки повинно відповідати локальному навантаженню на верхній пояс балки. Якщо встановлюється розкільна решітка, можна не використовувати ребра жорсткості під

локальне навантаження. Ще однією особливістю роботи даного типу конструкції є те, що елементи решітки в поєднанні з профільованою стінкою забезпечують більшу стійкість, ніж окремо розкоси решітки та стінка. Розглядаючи хрестову решітку (рис. 8), можна відзначити її перевагу щодо жорсткості стінки та забезпечення стійкості стінки по всій висоті балки. Хрестова решітка розподіляє дію згинального моменту за довжиною прогону та розкріплює профільований лист, забезпечуючи стійкість.

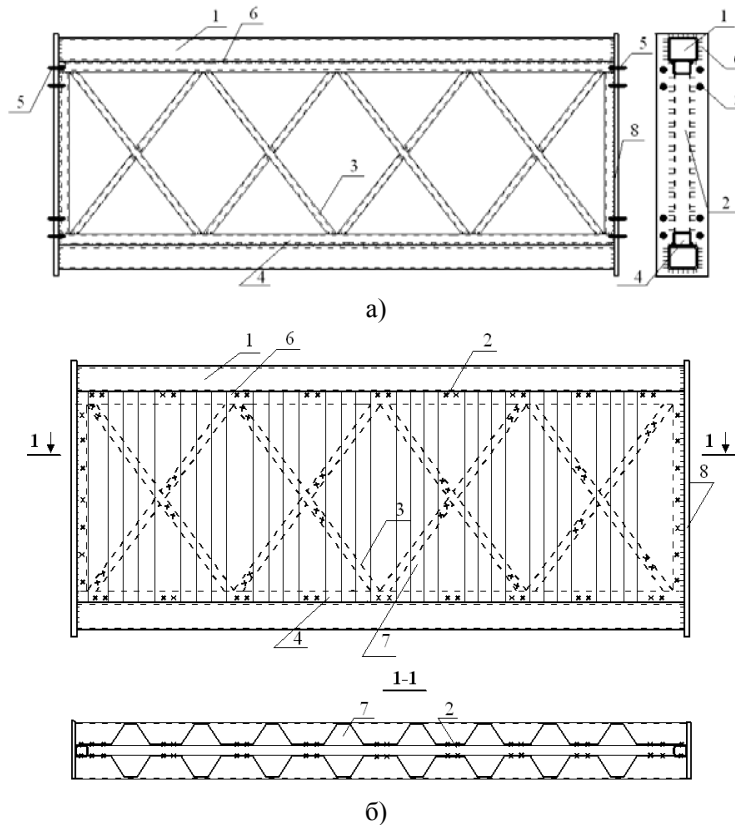


Рис. 8. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу, розкріплена хрестовою решіткою:
а – вихідна заготовка; б – готовий відсік

Решітка із арокних елементів (рис. 9) своєю формою відтворює епору моментів і сприймає частково їх дію. В зонах, наближених до опор, арки перехрещуються і сприймають додаткові зусилля у зоні похилих перерізів балки. В прогоні переріз двотаврової балки близький до «ідеального двотавра», що є оптимальним перерізом для сприйняття згинального

моменту. З метою отримання менш металомістких конструкцій раціонально застосовувати арочну решітку, яка може бути як подвійною, так і одиночною.

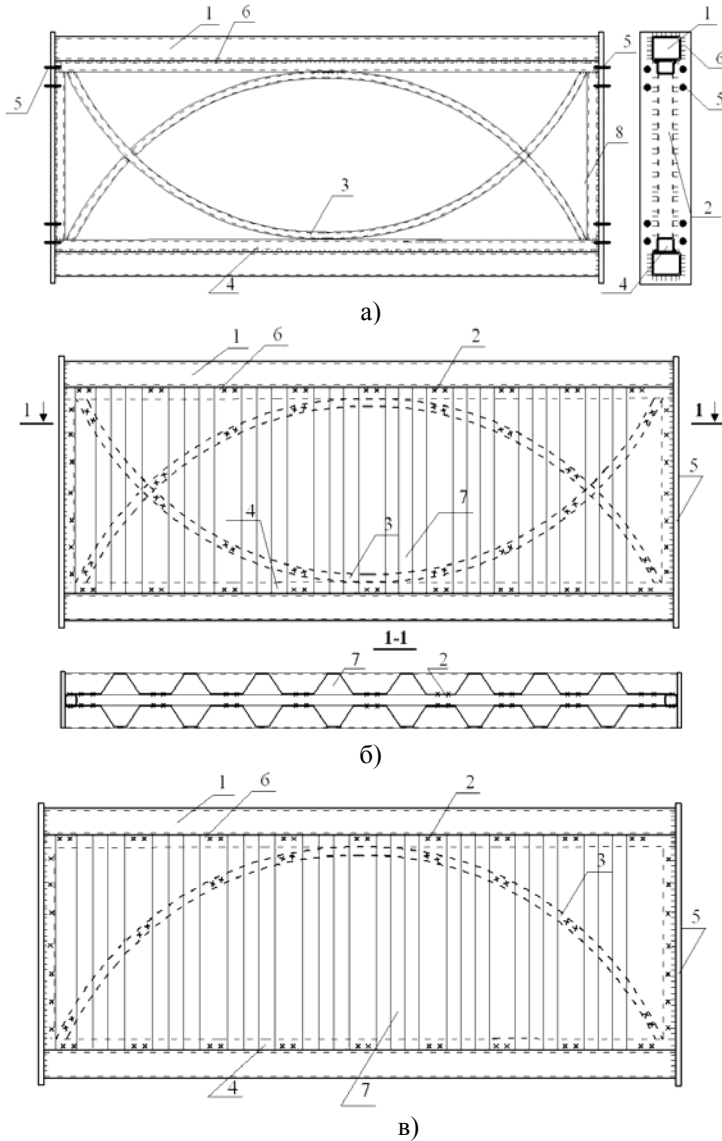


Рис. 9. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з решіткою у вигляді арочних елементів:
 а – вихідна заготовка з подвійними арочними елементами;
 б – готовий відсік із подвійними арочними елементами;
 в – готовий відсік із одиночним арочним елементом

Висновки

Запропоновані легкі сталеві балки з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу нового типу, застосування яких дає змогу суттєво зменшити матеріаломісткість при достатніх показниках ефективності. Представлені легкі балки можуть застосовуватись у кроквяних конструкціях, балкових клітках та інших балкових конструкціях при зведенні житлових і громадських будівель, мансард, надбудов, ангарів і прибудов.

Література

- [1] 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.
- [2] 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: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / А.Н. Кретинин. – Новосибирск, 2008. – 25 с.
- [3] Кудрявцев С.В. Несущая способность балок с гофрированной стенкой, ослабленной круговым отверстием: автореф. дис. на соискание уч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / С.В. Кудрявцев. – Екатеринбург, 2011. – 175 с.
- [4] 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. – Київ, 2006. – 18 с.
- [5] 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. – № у 2009 03785; заявл. 17.04.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. – 4 с.
- [6] Пат. 51629 Україна, МПК (2006) Е 04 С 3/02. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з перервними поясними швами / Пічугін С.Ф., Чичулін В.П., Чичуліна К.В.; власник: Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № у 2010 00424; заявл. 18.01.2010 ; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14. – 4 с.
- [7] Пат. 64444 Україна, МПК (2006) Е 04 С 3/02. Сталева балка з поперечно профільованою стінкою коробчастого перерізу з поясами зі зварних таврів Пічугін С.Ф., Чичулін В.П., Чичуліна К.В.; власник: Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № у 2011 04041; заявл. 04.04.2011 ; опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2. – 4 с.

- [8] Пат. 64444 Україна, МПК (2006) Е 04 С 3/02. Сталева балка з попереочно профільованою стінкою коробчатого перерізу з поясами з прокатних таврів Пічугін С.Ф., Чичулін В.П., Чичуліна К.В.; власник: Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № у 2011 04044; заявл. 04.04.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21. – 4 с.
- [9] Пат. 64443 Україна, МПК (2006) Е 04 С 3/02. Сталева балка з попереочно профільованою стінкою коробчатого перерізу з заповненням внутрішнього простору між стінками пінополістиролом / С.Ф. Пічугін, В.П. Чичулін, К.В. Чичуліна; власник: Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № у 2011 04036; заявл. 04.04.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21. – 4 с.
- [10] Пат. 64445 Україна, МПК (2006) Е 04 С 3/02. Сталева балка з попереочно профільованою стінкою коробчастого перерізу, розкріплена розкісною 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.
- [11] Тонкостенная металлическая балка. А. с. СССР №894126 Е04 с 3/06.
- [12] Тонкостенный металлический элемент открытого профиля. А. с. СССР № 897995 Е04 с 3/06.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Pasternak H. Plate girders with corrugated webs / Hartmut Pasternak, Gabriel Kubieniec // Journal of civil engineering and management. – 2010. – No. 16(2). – P. 166–171.

Надійшла до редколегії 03.07.2012 р.