



## **ЕФЕКТИВНІ МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРФОРОВАНИХ ДВОТАВРІВ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ ТА ОДИНАРНИХ ПРОФІЛІВ**

### **EFFECTIVE METAL STRUCTURES OF INDUSTRIAL BUILDINGS WITH THE USAGE OF PERFORATE H-BEAMS OF VARIABLE RIGIDITY AND SIMILAR PROFILES**

**Чорнолоз В.С., к.т.н., доц., Налєпа О.І., к.т.н., доц.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**Chornoloz V.S., candidate of engineering sciences, Nalepa A.I., candidate of engineering sciences,** (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

**Наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень конструкцій виробничих будівель з використанням перфорованих двотаврів змінної жорсткості та одинарних профілів.**

Investigation of bearing structures on the basis of perforated beams from rolling profiles, creation of new structural forms, modernization of existing, can give a significant technical and economic effect. The constructional form of beams with a perforated wall is obtained by dissolving the wall of the initial profile by a zigzag line and then by combining the obtained parts with the projections of the crests by means of welding.

Steel crane beams are the elements of the frame, which are damaged most. For crane beams made of perforated twisted nets, it is necessary to take into account some structural features that may affect tired strength, bearing in mind that fracture under the action of cyclic loads occurs as a result of the appearance and development in the thickness of metal cracks due to the tiredness of the metal. Studies on the tensile strength of crane beams are associated with difficult and very difficult modes of operation of cranes. The authors first attempted to experimentally investigate the behavior of beam elements during cyclic loading. The researches have established that the influence of different incisions on the resistance of tiredness (effective coefficient of stress concentration) is not as high as one could expect on the basis of theoretical values of stress concentration coefficients

At spans of buildings 18m, 24m it is proved expediency of use of a small-element roof truss with a top belt in the form of a perforated two-tire variable rigidity. The design feature of the proposed farms with a broken tight upper belt is a different design length of the compressed rod of the upper belt in the

**plane and from the plane of the farm. Over the spans of buildings 18 and 24 m proved efficiency of using small-element farms covering with the upper belt in the form of perforated two-tire variable rigidity.**

**Ключові слова:**

Балка, ферма, двотавр, тавр, різка.  
Beam, truss, H-beam, tee-beam, cutting.

**Вступ.** Ідея створення перфорованих балок з прокатних профілів виникла завдяки трьом обставинам:

- прокатні двотаврові профілі через технологічні особливості виробництва мають товщину стінки таку, яка значно перевищує необхідну для забезпечення місцевої стійкості без підсилення ребрами жорсткості;
- висота прокатних профілів недостатня для перекриття значних прольотів, а збільшена висота балок при розвитку перерізу набагато збільшує прольоти, що переक्रиваються;
- прибрати метал з зони, де він використовується не ефективно.

**Основна частина.** Утворення перфорованих елементів може відбуватися одним з декількох способів: ручною різкою газовими різкаками, ручною або автоматичною різкою повітряно-плазмовими різкаками (наприклад, портативним плазмовим апаратом „Мультиплаз-2500М”; апаратами ручної плазмової різки ПУРМ-140, ПУРМ-180М, ПУРМ-400В; напівавтоматичними апаратами шарнірно-консольного типу „Стрела-140”, „Стрела-180М”, „Стрела-400В”, „Огонек-140”, „Огонек-180М”, „Огонек-400В”, „Гугарк-140”, „Гугарк-180М”, „Гугарк-400В”; автоматичними порталними машинами термічної різки „Кристал-2,5”, „Кристал-3,2”), гідроабразивною різкою, лазерною різкою, термічною різкою.

Стальні підкранові балки є елементами каркасу, які пошкоджуються найбільше. Це пояснюється умовами експлуатації підкранових балок, дією значних зосереджених сил, динамічним характером навантажень і т. ін. Як відомо, основним показником, який впливає на довговічність підкранових балок, є кількість циклів навантаження  $N$  за весь термін служби конструкції.

Необхідно відмітити, що основні дослідження по стомленій міцності підкранових балок пов'язані з важким та дуже важким режимами роботи кранів. Робіт, пов'язаних з середнім, а тим більше з легким режимами роботи, недостатньо, а якщо вони проводились, то не знайшли відображення в літературі.

Для мостових кранів вантажопідйомністю до 500 кН запропоновані підкранові балки з використанням перфорованих двотаврів.

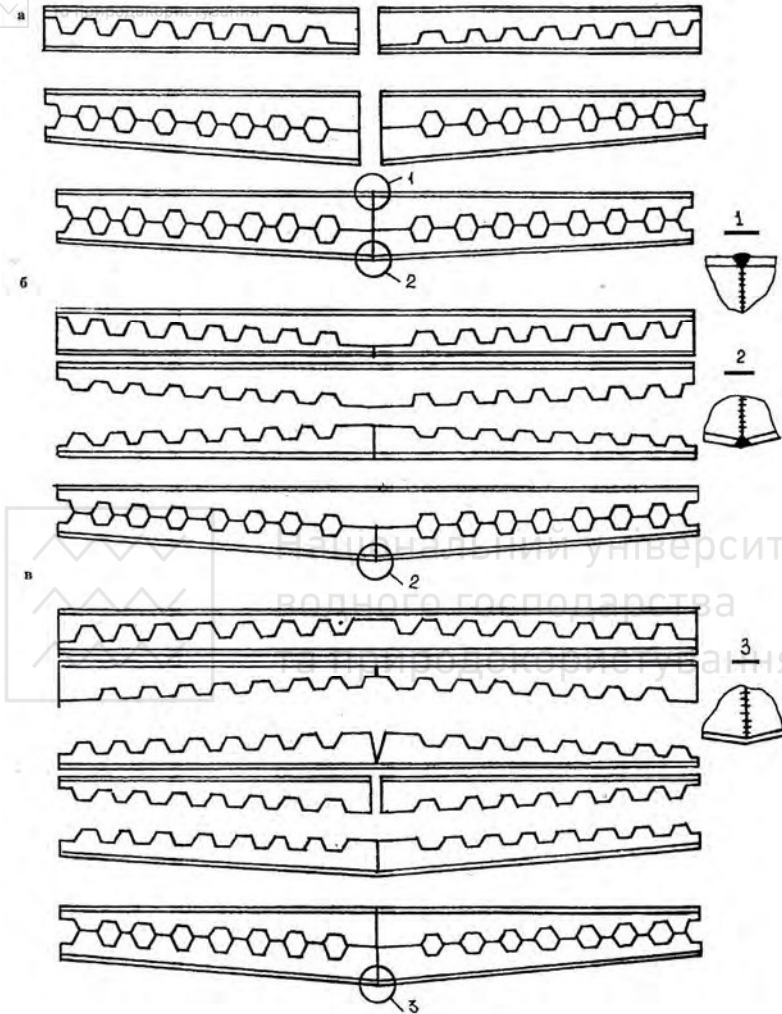


Рис. 1. Способи формоутворення підкранових балок з перфорованих двотаврів

Конструктивна форма балок з перфорованою стінкою (рис.1) отримується завдяки розпуску стінки вихідного профілю за зигзагоподібною лінією та наступним з'єднанням отриманих частин виступами гребенів за допомогою зварювання, що дозволяє значно збільшити момент інерції за рахунок збільшення висоти поперечного перерізу балки. Під вихідним профілем розуміють будь-який прокатний профіль: швелер, двотавр та ін.



Випробувань стомленості перфорованих двотаврів не проводилось, хоча балки кранових шляхів підвісних кранів з перфорованих двотаврів прольотом 12 м успішно експлуатують більше тридцяти років. Авторами вперше зроблена спроба експериментально дослідити поведінку елементів балки при циклічному навантаженні.

Для підкранових балок з перфорованих двотаврів необхідно враховувати деякі конструктивні особливості, які можуть вплинути на стомлену міцність, маючи на увазі те, що руйнування під дією циклічних навантажень відбувається в результаті появи та розвитку в товщину металу тріщин внаслідок стомленості металу.

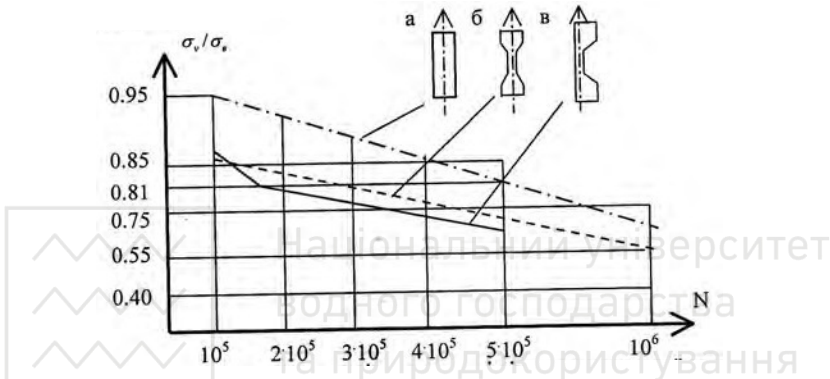


Рис. 2. Результати експериментальних досліджень зразків з маловуглецевої сталі

Відомо, що розвиток таких тріщин відбувається біля зварних з'єднань полиці зі стінкою та ребрами жорсткості, а також в зонах концентрації напружень. В балках з перфорованих двотаврів поясні шви відсутні, що безперечно значно підвищує стомлену міцність, але присутні отвори, в кутах яких виникає концентрація напружень. Дослідженнями встановлено, що вплив різних надрізів на опір стомленості (ефективний коефіцієнт концентрації напружень) не такий великий, як можна було очікувати на основі теоретичних значень коефіцієнтів концентрації напружень. При цьому чутливість до надрізів сталі високої міцності збільшується значно швидше, ніж для менш міцної маловуглецевої сталі. Випробування на стомленість зразків різної форми показали, що при кількості циклів  $N < 10^5$  відношення стомленої міцності до межі міцності зменшується всього на 10...15%. Оскільки форма вказаних зразків відрізняється від форми отворів в перфорованих балках, проведені самостійні експериментальні дослідження, що підтвердили теоретичні дослідження (рис.2).

Було виготовлено 12 зразків, які поділені на 4 серії. Для першої серії знайдені значення межі текучості і межі міцності. Зразки другої, третьої та

четвертої серії випробувані на розтяг з частотою навантаження 330 циклів за хвилину. Для другої серії число циклів  $N=10^5$ , для третьої –  $N=2,5 \cdot 10^5$ , для четвертої –  $N=5 \cdot 10^5$ . Після цього зразки доводились до руйнування для знаходження тимчасового опору. Результати досліджень приведені на рис.2. При  $N=10^5$  циклів відношення тимчасового опору зразків до тимчасового опору зразків за першою серією зменшилось на 13%, при  $N=2,5 \cdot 10^5$  – на 19%, при  $N=5 \cdot 10^5$  – на 25%.

Аналізуючи вищесказане, враховуючи результати експериментальних досліджень та рівень максимальних напружень на рівні  $(0,7 \dots 0,8)R_y$ , можна зробити висновок, що при  $N=1,25 \cdot 10^5$  стомлена міцність балок з перфорованих двотаврів забезпечена.

Одним з найбільш відповідальних та працездатних видів сталевих конструкцій є покриття виробничих будівель. Зокрема, запропоновані геометричні схеми шпренгельних ферм з ламаним верхнім поясом, одна з яких наведена на рис.3. Місця прикладання зовнішніх сил до верхнього поясу співпадають з місцями злому, які чергуються з місцями опирання стоек. Додаткова затяжка та V-подібний стоек дозволяють перерозподілити зусилля в елементах ферми, в результаті чого в жорсткому верхньому поясі виникають мінімальні згинаючі моменти та поперечні сили.

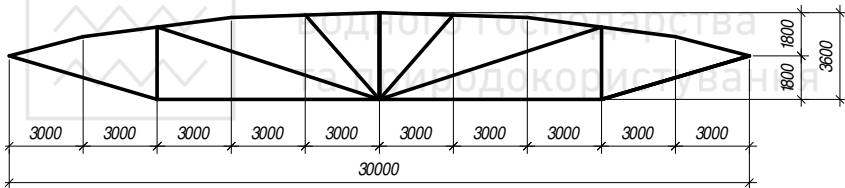


Рис. 3. Геометрична схема шпренгельної ферми з ламаним верхнім поясом

Ефективність даних ферм досягнута при використанні наступних інженерних прийомів: зменшення кількості основних елементів ферми за рахунок концентрації матеріалу в жорсткому ламаному верхньому поясі, злами в якому замінюють функції стоек решітки; приведення до мінімуму кількості стиснутих елементів решітки, при цьому їх довжина значно менша за довжину розтягнутих елементів ферм; наближення обрису поясів ферми до форми квадратичної параболи, що забезпечує рівнонапружений стан в поясах ферми; використання автоматичної плазмової різки, що дозволяє виготовити тавровий елемент верхнього поясу з вихідного двотавра з одночасним виготовленням деталей опорних вузлів; таврові та кутикові профілі, які вибрані для виготовлення стержнів ферми, завдяки наявності прямолінійних поверхонь дозволяють виготовити безфасонкові з'єднання елементів конструкцій; використання одинарних кутиків для нижнього поясу та стержнів решітки, а також безфасонкове з'єднання у вузлах ферми, дають можливість збирати та зварювати конструкцію без кантовки.

Конструктивною особливістю запропонованих ферм з ламаним жорстким верхнім поясом є різна розрахункова довжина стиснутого стержня верхнього поясу в площині та з площини ферми. Для рішення задачі створення рівностійкого стержня таврового перерізу введений коефіцієнт  $k$ , який обчислюється за формулою  $k=i_x/i_y$ , де  $i_x$  та  $i_y$  – радіуси інерції перерізу відповідно в площині та з площини ферми, а також додаткові геометричні параметри  $a_1=b/h$  та  $a_2=t/s$ , де  $b$  – ширина полиці тавра,  $h$  – висота тавра,  $t$  – товщина полиці тавра,  $s$  – товщина стінки тавра. З врахуванням того, що  $l_{ef,y}=k l_{ef,x}$ , де  $l_{ef,y}$  та  $l_{ef,x}$  – розрахункові довжини стиснутого стержня верхнього поясу відповідно з площини та в площині ферми, отримане рівняння рівностійкості стиснутого таврового стержня

$$a_1^4 a_2^2 + (a_1^3 - 4a_1 k^2) a_2 - k^2 = 0. \quad (1)$$

Відповідно до рівняння (1) з використанням графіка залежності  $a_1=f(a_2)$  для різних величин  $k$  незалежно від площі перерізу тавра доведено перевагу таврових перерізів, отриманих розрізкою балкових двотаврів за запропонованою схемою, порівняно з тавровими перерізами, отриманими розрізкою двотаврів з широкими полицями.

За прольотів будівель 18 та 24 м доведена ефективність використання малоелементних ферм покриття з верхнім поясом у вигляді перфорованого двотавра змінної жорсткості. Використання принципу концентрації матеріалу в найбільш навантажених і відповідальних елементах конструкції, якими є верхні пояси ферм, можливо за рахунок зведення до мінімуму кількості елементів решітки та деталей. В найбільшій мірі цьому сприяє використання вихідної системи у вигляді статично визначеної шпренгельної системи, яка складається з двосхилого верхнього поясу, ламаного нижнього поясу та двох стояків, що з'єднують пояси. Враховуючи те, що в таких комбінованих системах вага верхнього поясу складає основну частину в загальній вазі конструкції, то зменшення металомісткості конструкції в цілому залежить, в основному, від зменшення ваги верхнього поясу. Цим і пояснюється особлива увага до його ефективного конструктивного рішення.

З точки зору статичної системи така система ефективна тим, що дозволяє легко регулювати розподіл внутрішніх зусиль у верхньому поясі за рахунок зміни висоти стояків. Характерно, що діапазон зміни поздовжнього зусилля  $N$  по довжині верхнього поясу незначний, практично його можна вважати постійним. Навіть при деякій зміні висоти стояків значення  $N$  і  $Q$  мають незначні зміни, а згинаючий момент  $M$  суттєво змінюється вздовж поясу. Епюра моментів має постійний характер з екстремальними значеннями в точках прикладання зосереджених сил і нульовими значеннями в опорних та коньковому вузлах.



Величина екстремальних значень  $M$  різко змінюється при зміні висоти стояків. А тому основна задача зводиться до оптимального розподілу саме згинаючих моментів за рахунок зміни висоти стояків.

Робота верхнього поясу на стиск зі згином викликає необхідність виконувати його з елементів, які мають значну згинальну жорсткість. Це прокатні двотаври, гнучо зварні профілі, ефективні перфоровані двотаври постійної та змінної висоти (рис.4).

При використанні профілів постійного перерізу верхній пояс має постійну жорсткість, і розподілення згинаючих моментів по довжині поясу полягає у вирівнюванні екстремальних значень моментів і отриманні рівномоментного верхнього поясу (рис.5, схема1), при цьому значення моментів  $M_1$  та  $M_2$  є найменшими з усіх можливих екстремальних значень.

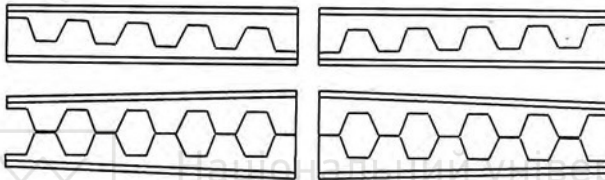


Рис. 4. Схема утворення перфорованого трапецеподібного елемента двотаврового перерізу

При використанні перфорованих двотаврів змінної висоти (див.рис.4) можливі дві схеми зміни жорсткості вздовж верхнього поясу. За схемою 2 (рис.5) жорсткість верхнього поясу змінюється за рахунок з'єднання між собою восьми трапецеподібних елементів перфорованого двотавра, при цьому найбільш розвинутий переріз знаходиться в місцях пролітних екстремальних моментів  $M_1$ . Зменшенням висоти стояків можна досягнути таке розподілення згинаючих моментів вздовж поясу, коли їх значення будуть змінюватись пропорційно зміні геометричних характеристик перерізів поясу. Таке рішення найбільш відповідає брусу рівного опору. За схемою 3 (рис.5) жорсткість поясу змінюється за рахунок з'єднання між собою чотирьох трапецеподібних перфорованих елементів, при цьому найбільш розвинутий переріз знаходиться в місці примикання стояків. Згинаючі моменти розподіляються пропорційно геометричним характеристикам поясу.

Залежність зміни значень згинаючих моментів  $M_1$  та  $M_2$  від висоти стояків наведена на графіку (рис.6). Перетин двох кривих дає рівномоментну схему.

При переході від рівномоментної схеми до інших наведених схем розподілу моменту за відповідних схем зміни жорсткості приріст геометричних характеристик перерізів відбувається швидше, ніж приріст значень згинаючих моментів, особливо це стосується максимально розвинутих перерізів. Це дає можливість у схемах 2 та 3 застосувати менший номер вихідного двотавра, ніж у схемі 1.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

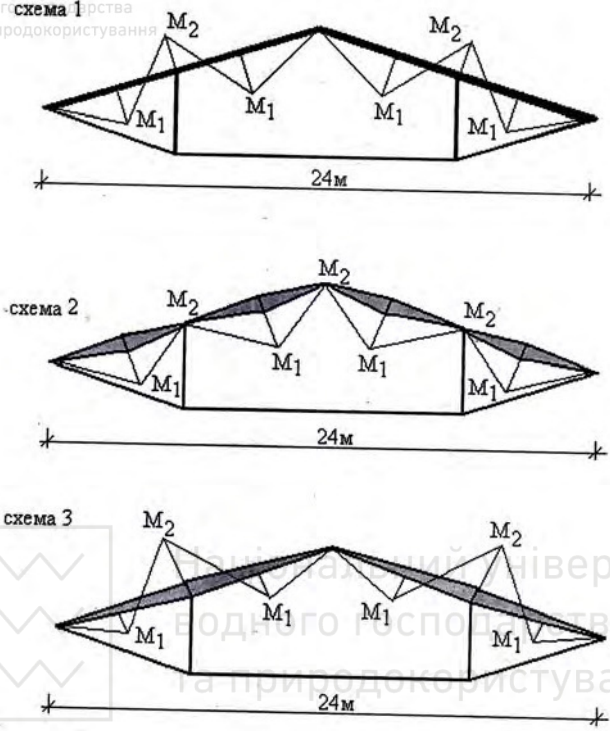


Рис. 5. Можливий розподіл згинаючих моментів та згинальної жорсткості у верхньому поясі малоелементної ферми

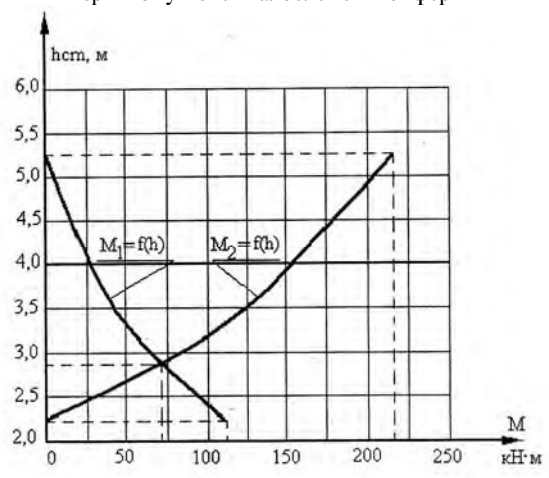


Рис. 6. Графіки залежностей екстремальних значень згинаючих моментів від висоти стояка





За рахунок цього досягається зменшення металомісткості верхнього поясу і ферми в цілому.

**Висновок.** Використання перфорованих двотаврів змінної жорсткості та одинарних профілів у сталевих конструкціях виробничих будівель за розглянутих розрахункових схем дозволяє зменшити їх металомісткість порівняно з традиційними конструкціями.

1. Мюнзе В.Х. Усталостная прочность сварных стальных конструкций.- М.: Машиностроение, 1968. –312с.

2. Чернолоз В.С. Подкрановые балки из развитых двутавров с переменной по длине высотой стенки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – К., 1987. – 19 с.

3. Налеп А.И. Стальная стропильная ферма с перфорированным верхним поясом переменной жесткости: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – К., 1989. – 20 с.

4. Металлические конструкции: Спец. курс под ред. Е.И. Беленя. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 687 с.

5. Чернолоз В.С., Налеп О.І Аналіз сучасних способів утворення перфорованих металевих елементів // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Випуск 15 -Рівне, 2005, -с.275-281

1. Miunze V.Kh. Ustalostnaia prochnost svarnykh stalnykh konstruksyi.- М.: Mashynostroenye, 1968. –312s.

2. Chornoloz V.S. Podkranovyye balky yz razvytykh dvutavrov s peremennoi po dlyne vysotoi stenky: Avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk. – К., 1987. – 19 s.

3. Nalepa A.Y. Stalnaia stropylnaia ferma s perforirovannym verkhnyim poiasom peremennoi zhestkosti: Avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk. – К., 1989, – 20 s.

4. Metallicheskiye konstruksyy: Spets. kurs pod red. E.Y. Belenia. – 7-e yzd., pererab. y dop. – М.: Stroiyzdat, 1991. – 687 s.

5. Chornoloz V.S., Nalepa O.I Analiz suchasnykh sposobiv utvorennia perforovanykh metalovykh elementiv // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Zbirnyk naukovykh prats. Vypusk 15 -Rivne, 2005, -s.275-281