

УДК 624.014

**НОВІ КОНСТРУКТИВНІ СИСТЕМИ ЛЕГКИХ  
КОМБІНОВАНИХ ФЕРМ**

**НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕГКИХ  
КОМБИНИРОВАННЫХ ФЕРМ**

**NEW STRUCTURAL SYSTEM OF THE LIGHTWEIGHT  
COMBINED TRUSSES**

**Пічугін С.Ф., д.т.н., проф., Чичулін В.П., к.т.н., доц., Чичуліна К.В., к.т.н.**  
(Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,  
м. Полтава)

**Пичугин С.Ф., д.т.н., проф., Чичулин В.П., к.т.н., доц., Чичулина К.В.,  
к.т.н.** (Полтавский национальный технический университет имени  
Юрия Кондратюка)

**Pichugin S.F., Doctor of technical sciences, professor, Chichulin V.P.,  
Candidate of technical sciences, Chichulina K.V., Candidate of technical  
sciences** (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University)

**В статті запропоноване конструктивне рішення комбінованої металевої  
конструкції ферми з використанням верхнього пояса ферми як несучої  
та огорожувальної системи. На основі проведеного аналізу існуючих  
конструктивних форм розроблено комбіновану конструкцію металевої  
ферми з просторовим верхнім поясом.**

**В статье предложено конструктивное решение комбинированной  
металлической конструкции фермы с использованием верхнего пояса  
фермы как несущей и ограждающей системы. На основе проведенного  
анализа существующих конструктивных форм разработана  
комбинированная конструкция металлической фермы с  
пространственным верхним поясом.**

**In article the constructive solution of the combined metal design of a truss  
with use of the top belt of a truss as the bearing and protecting system is  
proposed. On the basis of the carried-out analysis of the existing constructive  
forms the combined design of a metal truss with a spatial top belt is  
developed.**

**Ключові слова:**

Комбінована конструкція, металева ферма, прогін, арка, матеріаломісткість.  
Комбинированная конструкция, металлическая ферма, прогон, арка, материалоемкость.  
Combined construction, metal truss, run, arch, material consumption.

**Стан питання та задачі дослідження.** В умовах постійного розвитку будівельної галузі перед проектувальниками досить гостро постає проблема удосконалення та пошуку нових легких конструктивних систем. Відомо, що при раціональному підборі ЛМК (легких металевих конструкцій) матеріаломісткість можна знизити до 20% з одночасним підвищенням продуктивності праці при виготовленні та монтажі до 70 % [1]. Зменшення маси конструкцій призводить також до економії транспортних витрат, скорочення часу монтажу (15–20%) та появи можливості попередньої зборки [2]. При пошуку оптимальних легких конструкцій з відповідними показниками матеріаломісткості, трудомісткості, стійкості та індустріальності окреме місце відводиться застосуванню конструктивних систем з гнутих, тонкостінних, таврових і трубчастих профілів. Зважаючи на результати техніко-економічного обґрунтування покриттів промислових будівель прольотом 18 – 24м, виявлено, що найкращі показники мають кроквяні ферми, які мають пояси з труб і таврів [3, 4]. Отже, на сьогодні актуальним питанням залишається пошук можливостей для збільшення ефективності легких конструкцій та розробки нових конструктивних рішень за критерієм мінімуму ваги та вартості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Питанням створення та вдосконалення ефективних конструктивних рішень ферм присвячена робота М.В. Попової [4], в якій розроблено й досліджено нові конструкції легких металевих ферм з елементами з розкритих двотаврів і стиснутими розкосами зі спарених кутиків. Така конструктивна особливість забезпечує раціональний розподіл сталі між панелями поясів і розтягнутими стрижнями решітки відповідно до закону зміни зусиль у цих елементах, що дозволяє знизити масу ферми на 14 – 20% порівняно з традиційними конструкціями ферм. В дисертаційній роботі А.В. Коротких [5] розроблене конструктивне рішення ферм на основі холодногнутих тонкостінних оцинкованих профілів на зсувостійких болтових з'єднаннях та проведений ґрунтовний аналіз такого типу конструкцій.

Метою проведеного дослідження є пошук та розробка конструктивної форми з оптимальними показниками матеріаломісткості й використанням верхньої частини як несучої та огорожувальної системи. Отримання раціональних конструктивних рішень комбінованих ферм з мінімальною вартістю.

**Виклад основного матеріалу.** Існуючий досвід застосування ЛМК, технологія виготовлення яких, розрахована на механізоване та

автоматизоване заводське виробництво, свідчить, що для конструкцій повної заводської готовності потрібно менше витрат праці і часу на монтаж [9]. Спираючись на проведений аналіз існуючих конструктивних рішень ЛМК, була запропонована комбінована металева конструкція ферми, котра належить до галузі будівництва, зокрема до несучих, мостових та одночасно огорожувальних конструкцій. Спектр застосування такого типу конструкцій досить різноманітний, зокрема як одно- і багатопротітні ферми мостових конструкцій з розрізною схемою.

Головною конструктивною особливістю наведеної комбінованої металевої конструкції ферми (рис.1) є застосування поясів у вигляді прямокутних труб, нижнього пояса у вигляді вигнутої вниз арки, що працює на розтяг. Така конструкція нижнього пояса є більш економічною, ніж стиснутого. Навпаки, верхній пояс у вигляді двох стиснутих прямокутних труб і розкріплених півварками працює як одне ціле й виконує додатково функції огороження мосту, що приводить до зменшення витрат матеріалу та підвищення ефективності роботи такої конструкції. Отже, до складу запропонованої комбінованої металевої конструкції ферми належать (рис.1): 1, 3 – верхній пояс у вигляді двох прямокутних труб ( $\square 120 \div 200 \text{ мм}$ ); 2 – нижній пояс із прямокутних труб у вигляді арочного елемента ( $\square 120 \div 200 \text{ мм}$ ); 4, 5 – опорні ребра із суцільного листа (товщина  $t = 6 \div 10 \text{ мм}$ ); 6 – опорний лист (товщина  $t = 10 \div 20 \text{ мм}$ ); 7 – опорна стінка (товщина  $t = 8 \div 12 \text{ мм}$ ); 8 – решітка ферми ( $\square 80 \div 100 \text{ мм}$ ); 9 – елемент решітки верхнього поясу і одночасно огорожувальна конструкція (півварки  $\square 40 \div 60 \text{ мм}$ ).

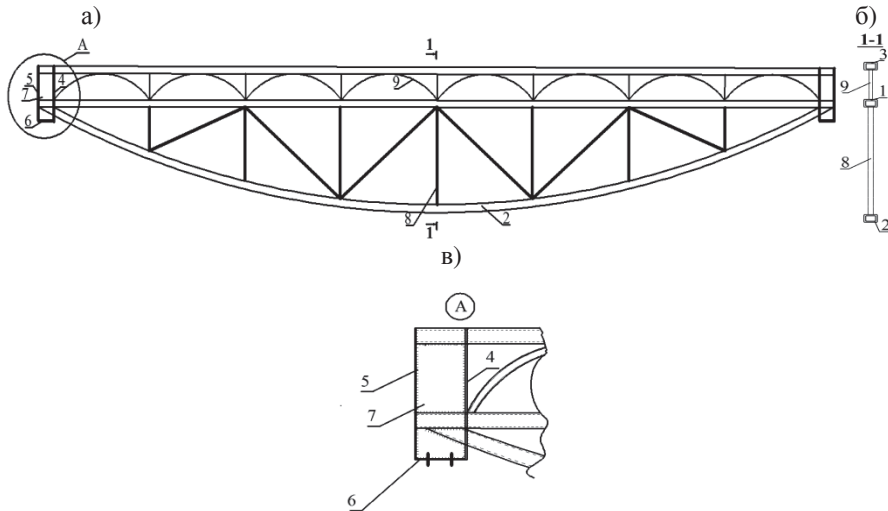


Рис. 1. Комбінована металева конструкція ферми: а – загальний вигляд; б – розріз 1-1; в – вузол «А»

Комбінована металева конструкція ферми за рахунок спареного верхнього пояса та арочного нижнього пояса, який працює на розтяг, забезпечує багатоваріантність застосування й суттєво зменшує матеріальні витрати. Навантаження від покриття у вигляді поперечних балок (балкова клітка) передається на нижню частину верхнього пояса, що розкріплюється з площини ферми і працює з настилом як просторова система. Верхня частина верхнього пояса, за необхідності, може бути розкріплена з площини трикутними опорами подвійного призначення для комунікацій (трубопроводів тощо). Рекомендоване раціональне застосування запропонованих конструкцій для прольотів 24 – 36 м.

Розвиток комбінованих конструкцій у вигляді ферм може відбуватися шляхом використання для верхнього пояса просторових трикутних стержневих елементів, що дасть підвищення стійкості з площини ферми і здешевлення конструкції по масі порівняно з суцільними перерізами. У свою чергу потрібно відмітити, що трудомісткість таких конструкцій зростає, тому потрібно оцінювати ці проекти за приведеними затратами.

Головним з напрямків по зниженню витрат сталі, трудомісткості виготовлення, а також монтажу є розробка конструктивних рішень з мінімальною кількістю несучих елементів та більш ефективним розподіленням навантажень. Окреме місце при розробці нової конструктивної форми займає укрупнення елементів. Оскільки, при укрупненні елементів та зменшенні їх кількості, існує можливість суттєвого зменшення витрат сталі (за рахунок виключення дрібних деталей, в яких звичайно не використовується весь опір матеріалу), пришвидшення виготовлення та монтажу (скорочення кількості операцій). Разом з тим, чим більший переріз елементів, тим вони більш довговічніші та стійкіші до зовнішніх впливів, корозії, а також механічних пошкоджень. Тобто, принципи концентрації матеріалу та принцип укрупнення елементів є достатньо ефективними компоувальними принципами. Необхідно зауважити, що при зменшенні кількості елементів іншим конструкціям необхідно виконувати кілька функцій, що призводить до економії сталі («принцип суміщення функцій») [6 – 8].

З метою отримання оптимального за експлуатаційними показниками конструктивного рішення була запропонована комбінована конструкція металевої ферми з просторовим верхнім поясом (рис. 2). Така конструктивна форма може застосовуватись на легких несучих конструкціях покриття з профільованим сталевим настилом. Для такого типу конструкцій проліт може варіюватися від невеликого (24 метра), до суттєво більших (більше 36 метрів). Рекомендований ухил конструкцій може бути стандартний 1,5%, а також більший (згідно завданню на проектування). Існує можливість застосування арочного обрису ферми для відповідних прольотів. Для даного типу конструкцій висота ферми обумовлюється жорсткістю і залежить від прольоту, таким чином і розміри просторової частини верхнього пояса

визначаються згідно розрахунку на стійкість в площині та із площини конструкції. Нижній пояс ферми розкріплюється в'язями на відстані згідно проведених розрахунків. Розглядаючи конструктивні особливості комбінованої конструкції ферми з просторовим верхнім поясом, необхідно відмітити, що монтажні частини ферм виконуються згідно стандартам на перевезення вантажів. Рекомендовано з'єднання монтажних елементів ферм виконувати фланцями на болтах, а також за допомогою зварювання, використовуючи труби більшого діаметру, що значно зменшує металоємність з'єднань. Прогони між фермами виконуються з прокатних профілів і закріплюються згідно з нерозрізною схемою, за рахунок широкого верхнього поясу ферми. Необхідно зауважити, що застосування даного типу конструкцій обумовлюється економічними розрахунками згідно проведених витрат в порівнянні з типовими конструкціями покриття.

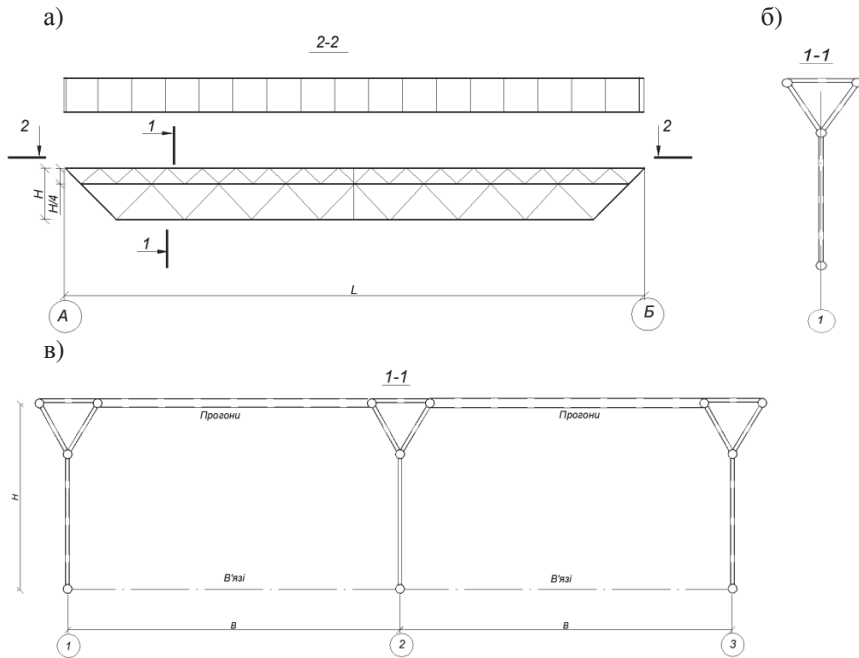


Рис. 2. Комбінована конструкція металевої ферми з просторовим верхнім поясом:

а – схема просторової ферми; б – розріз 1-1; в – розріз 1-1 (група ферм)

**Висновки.** Унаслідок проведеного дослідження запропоноване конструктивне рішення комбінованої металевої конструкції ферми з використанням верхнього поясу ферми як несучої та огорожувальної системи. Розроблено комбіновану конструкцію металевої ферми з

просторовим верхнім поясом. В результаті ґрунтового дослідження представлених комбінованих конструкцій металевих ферм, підтверджена їх ефективність та діапазон можливого застосування. При конструктивному аналізі комбінованих конструкцій металевих ферм виявлено можливі прольоти та ухили конструкцій, що дозволяють на стадії варіантного проектування вибирати оптимальні значення геометричних параметрів розроблених конструктивних систем.

1. Бирюлев В.В. Стальные фермы с коробчатыми сечениями стержней, сваренных из уголков // Изв. вузов. Сер. стр-во и архитектура. 1973. С. 8 – 14.
2. Металлические конструкции: Справ, проектировщика / Под ред. Н.П. Мельникова. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Стройиздат, 1980. 776 с.
3. Абаринов А.А., Козьмин Н.Б., Кузнецов А.Ф. Особенности работы и расчета ферм из труб // Пром. стр-во. 1970. № 6. С. 32 – 36.
4. Попова М.В. Новые конструкции легких металлических ферм с элементами из раскрытых двутавров: дис. на соискание уч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / М.В. Попова. – Владимир, 1999. – 140 с.
5. Коротких А.В. Фермы из тонкостенных оцинкованных профилей с перекрестной решеткой на сдвигоустойчивых соединениях: Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. технич. наук : спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»/ А.В. Коротких. – Красноярск, 2012. – 22 с.
6. Павлов А.Б. Методологические основы современной системы принципов формообразования строительных конструкций / А.Б. Павлов, В.М. Фридкин // Academia. Архитектура и строительство / МГСУ. –2010. –№ 1. – С. 70-73.
7. Салахутдинов М.А. Совершенствование конструктивных схем стальных каркасов одноэтажных многопролетных легких зданий: автореф. дис. на соискание уч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / М.А. Салахутдинов. – Казань, 2014. – 20 с.
8. Кузнецов, В.В. Типизация и стандартизация металлических конструкций / В.В. Кузнецов, В.В. Ларионов, Б.Г. Павлов и др. // Сборник научных трудов / ЦНИИпроектстальконструкция им. Мельникова. – М., 1987. – 133 с.
9. Ю.И.Кудишин. Металлические конструкции: учебн. / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева и др. –11-е изд., стер. – М. : Академия, 2008. – 688 с.