

УДК 624.01

Нове конструктивне рішення симетричних ферм із одиночних кутиків

Шимановський О.В., д.т.н, **Божко В.А.**, к.т.н., **Перельмутер А.В.**, д.т.н.

ВАТ "УкрНДПроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського",
Україна

Анотація. Наведені результати аналізу конструктивних рішень і особливостей застосування плоских ферм із одиночних кутиків. Вказані позитивні характеристики ферм, а також наведені їхні недоліки. Описане нове конструктивне рішення плоских ферм із одиночних кутиків, а також вказано на відмінності їхньої роботи порівняно з фермами, виконаними за традиційною схемою. Відзначено, що при розрахунку стиснутих елементів нових ферм не треба застосовувати існуючий коефіцієнт умов роботи, що дозволяє досягти 25 відсоткової економії матеріалу.

Аннотация. Представлены результаты анализа конструктивных решений и особенностей применения плоских ферм из одиночных уголков. Указаны позитивные характеристики ферм, а также приведены их недостатки. Описано новое конструктивное решение плоских ферм из одиночных уголков, а также указано на отличия их работы сравнительно с фермами, выполненными за традиционной схемой. Отмечено, что при расчете сжатых элементов новых ферм не нужно применять существующий коэффициент условий работы, что позволяет достичь 25 процентной экономии материала.

Abstract. The results of analysis of design decisions and peculiarities in application of flat trusses made of single angles are presented. Positive characteristics of trusses are indicated, as well as their disadvantages. The new structural decision of flat trusses made of single angles is described. Also differences of their behavior in comparison with trusses performed according to traditional way are indicated. It is noticed that during the calculation of the compressed elements of new trusses there is no need to apply the existing coefficient of working conditions, that allows to reach 25 percent saving of material.

Ключові слова: плоска ферма, конструктивне рішення, вузол, центрація елементів ферм, одиночний кутик, статичний розрахунок, поздовжня сила, вигинальний момент.

Введення. Плоскі ферми з одиночних кутиків застосовуються в будівництві порівняно нещодавно. В [1] пропонується виконувати кроквяні ферми з одиночних кутиків, що спрощує їхнє виготовлення та зменшує металомісткість, а також наводяться недоліки таких конструкцій, а саме – необхідність достатньо надійного розкріплення вузлів із площини, відсутність осі симетрії в площині навантаження, ексцентричне прикріплення елементів решітки з одиночних кутиків в одній площині, наслідком чого є закручення кутика пояса ферми, а також необхідність надійного розкріплення пояса в'язями по фермах.

Слід зазначити, що просторова робота таких ферм та відсутність на той час відповідних розрахункових програм не дозволили досконально дослідити напружено-деформований стан подібних конструкцій. Проведені експериментальні дослідження дали змогу визначити стан роботи тільки окремих дослідних зразків ферм. Тому все, що спромоглися створити дослідники на той час, – це об'єднати всі складнощі в коефіцієнт умов роботи, який дорівнював 0,75 і був уперше наведений в [2]. Цей коефіцієнт, який можна вважати коефіцієнтом недосконалості дослідження таких конструкцій, зберігся не тільки в наступних нормах проектування, а й діє до сьогоднішнього дня.

На жаль, проектувальники деяких об'єктів поспішили застосувати конструкції з одиночних кутиків при будівництві об'єктів, які на той час відносились до звичайних, а сьогодні, після більш як 30-річного терміну експлуатації, відносяться до категорії особливо відповідальних, наприклад, виробничі об'єкти деяких атомних станцій, кроквяні ферми з прогоном 39 м, виконані з одиночних кутиків.

У 1977 р. набули чинності вимоги проектування ферм із одиночних кутиків [3], у яких було обумовлено, що фермами з одиночних кутиків вважаються ферми, в яких усі елементи поясів та решітки виконані з одиночних кутиків, розташованих однією полицею в площині ферми, а другою – з площини. Також у [3] передбачені вимоги до конструктивних рішень таких ферм. Однак, оскільки вимоги [3] ще не існували під час будівництва об'єктів атомних станцій, то застосовані на цих об'єктах ферми із одиночних кутиків сьогодні вимагають ретельного обстеження і розрахунку.

Мета роботи. Метою даної роботи є створення ефективної щодо металомісткості, спрощеної щодо виготовлення, надійної за розрахунком та конструктивним виконанням ферми з одиночних кутиків, яка повинна прийти на зміну існуючих рішень. Враховуючи те, що головним недоліком існуючих ферм із одиночних кутиків є несиметричність ферми в площині навантаження, внаслідок чого елементи решітки та пояси сприймають дію вигинальних моментів та кручення з площини навантаження, що призводить до виникнення додаткових напружень в елементах та відповідно збільшення металомісткості та просторової деформативності, було вирішено створити симетричну ферму з одиночних кутиків.

Основна частина. Нове рішення [4] було досягнуто шляхом повороту всіх кутиків ферми на 45° стосовно поздовжньої осі: верхніх за, а нижніх – проти годинникової стрілки, а елементи решітки повернуті так, що обушки кутиків співпадають із обушками кутиків поясів та проходять через вертикальну вісь симетрії поперечного перерізу ферми (рис. 1). На

рис. 2 наведена півферма симетричної ферми з одиночних кутиків. Елементи решітки ферми обрізані по лінії їхнього дотику з поясами ферми та безпосередньо приварені до них. Лінія з'єднання полки решітки кутика з полкою пояса кутика перебільшує розмір полки решітки кутика на 30...60 % в залежності від кута нахилу решітки ферми і, таким чином, зусилля з решітки на пояс передаються через косий зварний шов. Останнє зменшує напруження в цих швах порівняно з напруженнями в полках, що підвищує надійність з'єднання вузлів ферми. Поступове зменшення зусилля в вузлах ферми дозволяє елементи решітки ферми виконувати з притупленням "а", розмір якого залежить від внутрішнього радіуса закруглення кутиків поясів (рис. 3). Причому вказане притуплення зменшує трудомісткість виготовлення ферм. Для дотримання рекомендованих нормами проектування відстаней між зварними швами кріплення решітки до поясів, в деяких вузлах застосовується розцентрування решітки ферми при її приєднанні до поясів. Останнє практично не впливає на напружено-деформований стан ферми, оскільки за невеликої погонної жорсткості елементів ферми вигинальні моменти, що виникають, розподіляються по більшості її елементів.

Для спирання елементів покриття на ферму, в вузлах спирання верхніх поясів передбачено приварювання елемента швелера або двох кутиків. Якщо навантаження на верхній пояс передається по всій довжині пояса, то ці елементи також виконуються по всій довжині пояса, що ефективно відображається при розрахунку пояса як елемента складного перерізу при позацинтральному стисканні.

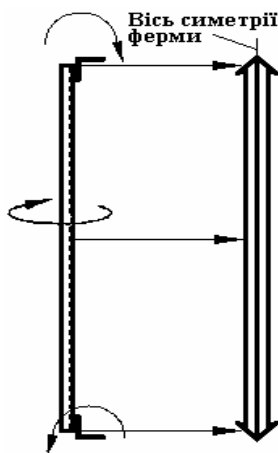


Рис. 1. Схема утворення симетричної ферми з одиночних кутиків

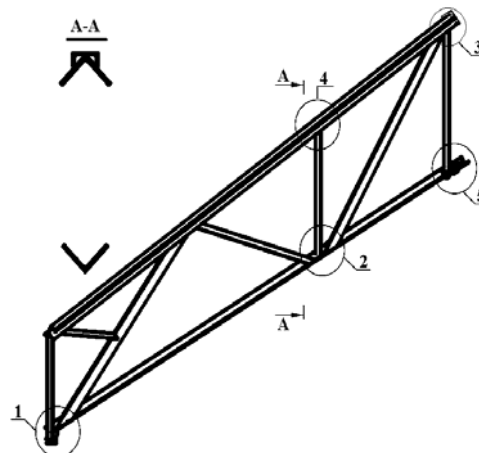


Рис. 2. Схема симетричної півферми з одиночних кутиків

Результати статичного розрахунку ферми з урахуванням розцентрування деяких її вузлів, які були отримані за програмами SCAD та Robot Millenium, досить добре співпадають із результатами інженерного розрахунку. Тобто ексцентриситет у вузлах та розрахункова схема ферми з жорсткими вузлами (що відповідає фактичному стану конструкції, але в розрахунках замінюється шарнірною) не змінюють результати інженерного розрахунку ферми, який з успіхом може використовуватися для попередніх розрахунків ферм.

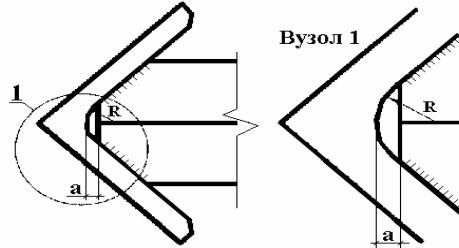


Рис. 3. З'єднання решітки ферми з поясом

Щодо загального питання центрації елементів ферми у вузлах слід зазначити, що в перших нормативних документах із проектування сталевих конструкцій було вказано на необхідність центрації вузлів. Але вже в [5] було додано "як правило". А сьогодні можна з упевненістю сказати, що єдиною вимогою хоч до ферм, хоч до конструкцій типу балки Веренделя є вимога відповідності розрахункової схеми конструктивному рішенню, яка, до речі, повністю відповідає п. 1.6 [6].

Статичний розрахунок ферми у разі її вузлового завантаження виявляє поздовжні сили та несуттєві вигинальні моменти в її елементах, які, навіть при розцентруванні вузлів можна не брати до уваги. У разі рівнорозподіленого навантаження верхнього пояса ферми в його елементах з'являються рівновпливові поздовжня сила та момент.

Конструктивний розрахунок елементів ферми виконується за звичайними правилами розрахунку сталевих конструкцій, а саме: розтягнуті елементи розраховуються на міцність, стиснуті елементи – на стійкість, а у випадку рівнорозподіленого навантаження на верхній пояс – на позацентровий стиск. Оскільки сьогодні немає точних результатів теоретичного та експериментального дослідження роботи таких ферм, розрахункову довжину стиснутих елементів (як у площині ферми, так і з її площини) слід приймати рівною геометричній довжині, але такий розрахунок, безумовно, занижує критичну силу втрати стійкості і, відповідно, підвищує надійність роботи конструкції.

Особливо треба відзначити, що при розрахунку стиснутих елементів ферми не треба застосовувати передбачений у табл. 6 [5] коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,75$. Таким чином, навіть на початковій стадії впровадження ферм можна досягти 25-відсоткової економії матеріалу на стиснутих елементах. Слід також відзначити надійність вузлових з'єднань, оскільки довжина парних швів приварювання елементів поясів перевищує розмір полки кутика приблизно в 1,4 раза (при оптимальному куту нахилу решітки 45°).

Монтажні стики ферм виконуються за правилами стиків кутиків як на болтах, так і зварюванням (рис. 2, вузол 5).

Висновки

Нова симетрична ферма з одиночних кутиків вочевидь має великі переваги щодо металомісткості, трудомісткості при виготовленні та надійності і визнана такою, що відповідає вимогам Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" і рекомендується авторами до застосування. Подальше експериментально-теоретичне дослідження цієї конструкції та створення нових конструкцій на її основі дасть поштовх до створення нових ефективних споруд.

Література

- [1] *Стрелецкий Н.С. и др.* Металлические конструкции. – М.: Госстройиздат, 1962. – 358 с.
- [2] *Строительные нормы и правила. Стальные конструкции. Нормы проектирования.* СНиП II-В.3-72. – М.: Стройиздат, 1974. – 94 с.
- [3] *Руководство по проектированию сварных ферм из одиночных уголков.* – М.: ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко, 1977. – 108 с.
- [4] *Шимановський О.В., Перельмутер А.В., Божко В.А.* Ферма з одиночних кутиків. – Заявка на винахід № а 2007 11900 від 29.10.2007 р.
- [5] *Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Стальные конструкции.* СНиП II-23-81*. – М.: Стройиздат, 1995. – 96 с.
- [6] *Надежность строительных конструкций и оснований.* ГОСТ 2.7751-88 (СТ СЭВ384-87) з доповненнями від 21.12.93 г.

Надійшла до редколегії 23.07.2008 р.