

МОДЕЛЮВАННЯ НДС ЗВАРНОЇ КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Я. Ковальчук, Н. Шингера, О. Качка

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Summary. The paper deals with the typical 36x9m size welded steel roof truss behavior under the influence of evenly distributed static load of different intensity on its top chord. Computer simulation is performed taking advantage of ANSYS Workbench 14.5 software that is algorithmically based on finite element method. Structural, technological and operational features of the investigated truss are considered during the formation of input information base for mathematical model. Finite-element model parameters were received from the earlier experimental researches of the authors who predicted the computer simulation experiment results verification as the result of simultaneously performed semi natural load-bearing experiments. Such methodical approach provided high validity of the modeling results to be obtained.

Постановка проблеми. Елементи кроквяної ферми сприймають навантаження від власної ваги, конструкції накриття, вітрового, дощового та снігового впливу і передають їх на фундамент через опорні колони.

Класичні розрахункові методики не враховують рівномірне розподілення зовнішніх навантажень на верхній пояс кроквяної ферми, а приводять їх до вузлових сил. Такі розрахункові припущення знижують вірогідність отриманих результатів, а, отже, передбачають використання завищених коефіцієнтів запасу міцності й матеріаломіцності.

Досліджень зварних ферм комп'ютерним моделюванням поведінки ферм дає можливість врахувати комплексний вплив конструктивних, технологічних, експлуатаційних, аварійних та стохастичних чинників і забезпечити вищу вірогідність отриманих результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розрахунок зварних ферм за допомогою програмних комплексів виклали у своїх роботах Алпатов В.Ю. (ПК ПОФСК-Мираж-ПСМК, «Лири-W», SCAD, Cosmos Works, Design Space) [1], Алдушкін Р.В. (ПК SCAD і Mathcad) [2], Шингера Н.Я. (ПК ANSYS Workbench 14.5) [3] та ін. Кожен з використаних програмних комплексів дає можливість виявити поведінку зварних ферм та визначити показники напружено-деформівного стану (НДС) в елементах конструкції при різноманітних зовнішніх впливах.

Відомі результати натурних силових досліджень зварних ферм [4] та паралельного дослідження показників НДС зварних ферм комп'ютерним моделюючим експериментом у середовищі ПК ANSYS Workbench 14.5 і напівнатурним силовим експериментом [5]. Так в роботі [5] виявлено вірогідність результатів комп'ютерного моделювання за величиною поперечної деформації ферми на рівні 0,96...0,98, що свідчить про правильно вибрані параметри скінченно-елементної моделі й методику моделювання. Однак описані дослідження виконано лише для підкруквяної зварної ферми.

Метою роботи є визначення показників НДС зварної кроквяної ферми при дії статичних навантажень за рівномірно розподіленою вздовж верхнього пояса схемою, що відповідає навантаженню кроквяної ферми в реальних умовах експлуатації.

Постановка завдання (задачі). Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- визначити величину і характер дії силових чинників на ферму, які будуть враховані в комп'ютерному моделюючому експерименті;
- розробити скінченно-елементну модель для дослідження конструкції;
- виконати комп'ютерний моделюючий експеримент для різної інтенсивності силових впливів із використанням прикладного програмного комплексу ANSYS Workbench 14.5;
- виявити параметри НДС кроквяної ферми для різних рівнів рівномірно розподіленого навантаження;

- зробити аналіз отриманих результатів моделювання та дати рекомендації щодо підвищення тримкості досліджуваної конструкції.

Результати дослідження. Для виявлення поведінки кроквяної ферми за методикою комп'ютерного моделюючого експерименту запропоновано типову плоску зварну кроквяну ферму, основні конструктивні особливості якої подано на рис. 1.

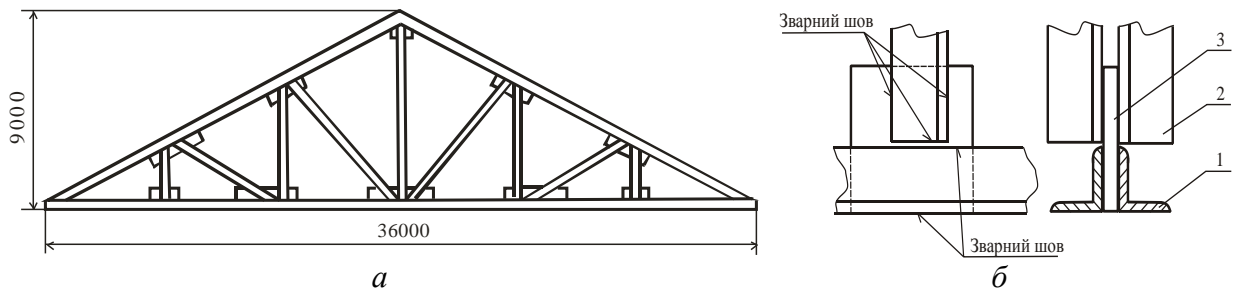


Рисунок 1. Конструкція досліджуваної ферми: а – головний вигляд; б – тригілковий вузол на нижньому поясі

Ферму виготовлено зі спареного сталюго вальцьованого кутникового профілю 120x120 мм з товщиною стінки 12 мм (рис. 1) як для поясів (поз. 1 на рис. 1б), так і розкосів (поз. 2 на рис. 1б). Ферма має різні типи вузлів – три-, чотири- і п'ятигілкові. Вузли виконано зі вставними сталюми пластинами товщиною 16 мм (поз. 3 на рис. 1б). Усі елементи досліджуваного зразка виготовлено зі сталі звичайної якості ВСт3пс ДСТУ 2651:2005, ISO 1052—82. Механічні й технологічні властивості цієї сталі вказано у вхідній інформаційній базі математичної моделі ферми.

Для визначення фактичного експлуатаційного навантаження q на 1 м^2 покриття використано методику [6].

Для виконання досліджень запропоновано схему навантажування експериментального зразка (рис. 2), яка відповідає реальним умовам експлуатації конструкції. Для цієї ферми виконано перевірочний розрахунок і виявлено її поведінку при різній інтенсивності зовнішнього навантаження. Виходячи з розмірів ферми і поздовжнього кроку встановлення сусідніх ферм, визначено значення розрахункового експлуатаційного рівномірно розподіленого навантаження на верхній пояс ферми q , яке становитиме 70 кН/м. Воно включає навантаження від власної ваги зварної кроквяної ферми, дахового накриття та критичного снігового навантаження для кліматичних умов західного регіону України.

Внаслідок такого навантаження на краях ферми (в місцях А і В) (рис. 2) виникають опорні реакції відповідно R_A і R_B . У конструктивних елементах ферми (поясах, розкосах, стояках та вузлах) формуються внутрішні напруження, а під їх впливом настають деформації, величини яких визначаються параметрами НДС цих елементів.

Значення цих параметрів і поведінку зварної кроквяної ферми при розподілених статичних навантаженнях на верхній пояс досліджуваної конструкції виявлено комп'ютерним моделюючим експериментом із використанням програмного пакета ANSYS Workbench 14.5, який алгоритмічно базується на методі скінчених елементів. При цьому враховано конструктивні й технологічні особливості конкретної досліджуваної ферми.

Комп'ютерне моделювання поведінки кроквяної ферми при дії розподілених навантажень включає такі основні кроки:

- 1) транслявання геометричної моделі з CAD системи;
- 2) формування вхідної інформаційної бази для моделі (властивостей матеріалів, конструктивних і технологічних особливостей ферми);
- 3) генерування сітки, закріплення моделі, прикладання навантаження;
- 4) формування списку розрахункових результатів і виконання розрахунків;
- 5) перегляд розрахункових результатів, генерування звіту.

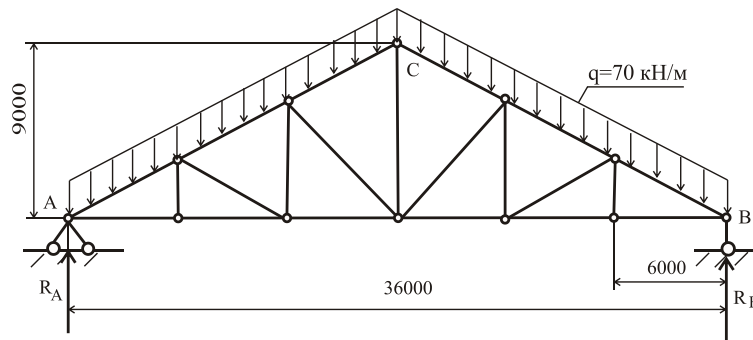


Рисунок 2. Схема навантажування досліджуваної ферми

При формуванні параметрів скінченно-елементної моделі використано масиви, аналогічно з дослідженнями [5], застосування яких забезпечило високу вірогідність отриманих показників НДС в елементах ферми.

Моделюванням отримано результати як в чисельному, так і у візуалізованому вигляді. Частину результатів дослідження НДС подано на рис. 3, 4, 5.

За рівнем прогину верхнього правого пояса ферми (рис. 3) виявлено, що досліджувана конструкція за умови навантажування верхнього пояса рівномірно розподіленим статичним зусиллям 70 кН/м працюватиме в умовах пружної деформації. Вичерпування пружної ділянки деформування настане вже при розподіленому навантаженні на рівні 100 кН/м, що дає можливість витримати без пошкоджень аварійні перевантаження до 42,8% від проектних (експлуатаційних).

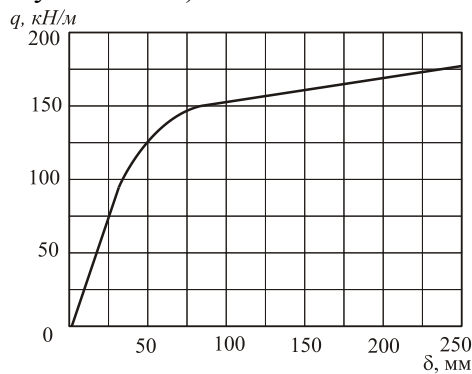


Рисунок 3. Діаграма прогину верхнього правого пояса ферми

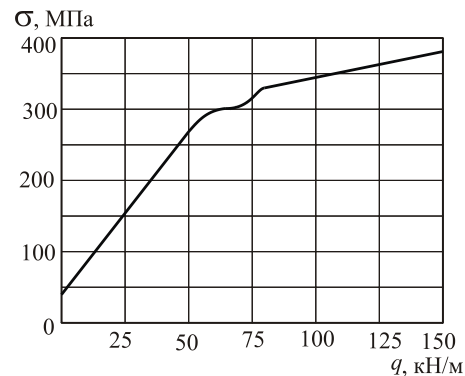


Рисунок 4. Максимальні напруження в нижньому поясі ферми при різних рівнях розподіленого навантаження

Однак з рис. 4 очевидно, що при розподіленому навантаженні $q=70$ кН/м в нижньому поясі досліджуваної ферми виникають напруження 315 МПа, які перевищують межу текучості матеріалу. Конструкція починає працювати за межею пружності. Найбільше розподілене навантаження на верхній пояс ферми, яке не зумовлюватиме пластичних деформацій елементів конструкції, що дорівнює $q=62$ кН/м (див. рис. 4). Отже експлуатаційне розподілене навантаження $q=70$ кН/м зумовлюватиме перевантаження конструкції на 12,9% і формуватиме в нижньому поясі ферми ділянки пластичних деформацій. Ці пластичні ділянки локалізовані навпроти вузлів на нижньому поясі. За таких умов для безаварійної роботи конструкції доцільно виконати локальне підсилення ділянок нижнього пояса ферми, де формуються максимальні напруження, або обмежити рівень експлуатаційного навантаження на верхній пояс до $q=62$ кН/м шляхом недопущення снігового покриву граничної товщини [6].

За результатами виконання комп'ютерного моделюючого експерименту з дослідження поведінки зварної кроквяної ферми при навантажуванні з використанням прикладного програмного пакета ANSYS Workbench 14.5 отримано візуальну картину деформування елементів досліджуваної конструкції (рис. 5).

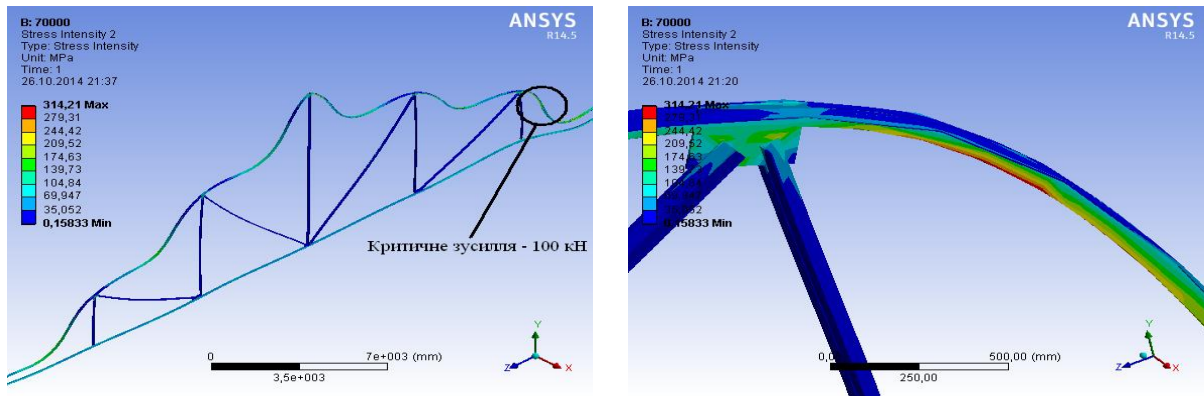


Рисунок 5. Деформування верхнього пояса ферми на рівні граничного стану

Таким чином, за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту виявлено кількісну та якісну картину поведінки зварної кроквяної ферми під дією розподілених статичних навантажень на верхній пояс.

Описаний комп'ютерний моделюючий експеримент доцільно виконувати при конструюванні зварних кроквяних ферм та для попередження настання граничного стану в існуючій конструкції зварних кроквяних ферм.

Висновки. За результатами дослідження отримано параметри НДС в елементах ферми при її навантажуванні. Виявлено, що проектне рівномірно-розподілене на верхній пояс ферми навантаження становить $q=70$ кН/м. При такому навантаженні верхній пояс ферми працює в умовах пружної деформації з запасом за зусиллям 42,8%. Критичні напруження виникають у нижньому поясі на ділянках навпроти вузлів. Рівень перевантаження тут становить 12,9%. Для надійної експлуатації досліджуваної конструкції доцільно виконати локальне зміцнення вузлових ділянок на нижньому поясі або зменшити рівень граничного розподіленого навантаження на верхній пояс ферми з $q=70$ кН/м до $q=62$ кН/м. Практично досягти цього можна зменшенням кроку між фермами.

Описані дослідження і їх результати доцільно застосовувати для перевірочних розрахунків ферм, які знаходяться в експлуатації, та при проектуванні чи реконструкції кроквяних ферм.

Список використаної літератури

1. Алпатов, В.Ю. Оптимальное проектирование металлических структур: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність ВАК 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» [Текст] / А.В. Дрокин. – Самара, 2002. – 23 с.
2. Алдушкин, Р.В. Развитие и совершенствование рациональных методов усиления и регулирования усилий в металлических конструкциях балочного типа и фермах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність ВАК 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» [Текст] / Р.В. Алдушкин. – Орел, 2008. – 20 с.
3. Шингера, Н.Я. Статистична модель для визначення залишкового ресурсу типової зварної ферми при циклічних навантаженнях: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи [Текст] / Наталія Ярославівна Шингера. – Тернопіль, 2012. – 166 с.
4. Еремін, К.И. Оценка остаточного ресурса строительных металлоконструкций по результатам натуральных испытаний [Текст] / К.И. Еремін, С.А. Ницета // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 1997. – №3. – С. 39–41.
5. Верифікація результатів моделювання напружено-деформованого стану зварної ферми [Текст] / П.В. Ясній, Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І. Рибачок // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: Зб. наук. статей; / за заг. ред. Лучка Й.Й. – Львів: Каменяр, 2014. – Вип. 10. – С. 461–471.
6. ДБН В.1.2-2:2006 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування». – Київ, Мінбуд України, 2006, – 75 с.