

УДК 624.074.5

Б.С. Крохмальний, В.М. Фірута, А.З. Ольшанський, А.П. Сорочак, к.т.н., доцент
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СТОХАСТИЧНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОСТОРОВОЇ ФЕРМИ

B.S. Krohmalnyi, V.M. Firuta, A.Z. Olshanskii, A.P. Sorochak, Ph.D., Assoc. Prof.
**APPLICATION OF STOCHASTIC SIMULATION MODELING METHOD FOR
OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF SPATIAL TRUSS**

Галузь застосування металевих ферм в будівництві дуже широка, найбільше розповсюдження вони знайшли в покриттях виробничих та громадських будівель, а також у великогабаритних спорудах (великопролітні конструкції, башти, опори ліній електропередач, транспортерні галереї, прольоти мостів, в'язеві системи каркасів будівель тощо).

Фермою є наскрізна конструкція, що працює на згин або згин зі стиском та складається з окремих стержнів, які, з'єднуючись у вузлах, утворюють геометрично незмінну систему. При прикладанні зовнішніх навантажень у вузлах, елементи ферм сприймають тільки поздовжні зусилля стиску або розтягу. Якщо зовнішні навантаження утворюють моменти (при поза вузловому прикладанні зосереджених сил, при наявності вузлових ексцентриситетів або вузлових моментів), стержні працюють як позацентрово-стиснуті або позацентрово-розтягнуті.

На ефективність роботи ферми впливає ряд конструктивних параметрів, основні з яких було проаналізовано в роботі [1]: 1) статична схема ферми; 2) тип решітки; 3) висота та довжина ферми; 4) перерізи елементів.

Задача оптимізації конструкції ферм на практиці вирішується шляхом застосування рекомендацій, отриманих з досвіду їх експлуатації [2], або перевіркою кількох найбільш очевидних варіантів, що відрізняються одним чи кількома з наведених параметрів. Перший спосіб ґрунтується на узагальнених емпіричних даних та жодним чином не враховує особливостей конкретної конструкції, що проектується.

Якість оптимізації способом перебору різних варіантів конструкції значною мірою залежить від кількості таких варіантів та ширини охоплення можливих комбінацій конструктивних параметрів при їх створенні. Очевидно, що розв'язок задачі оптимізації в цьому випадку буде значною мірою залежати від досвіду проектувальника, на основі якого він обиратиме як самі конструктивні параметри, значення яких змінюватиметься, так і можливі значення даних параметрів. Такий підхід є доволі суб'єктивним та не гарантує включення до розгляду та порівняння варіантів конструкції з найбільш оптимальними параметрами, тобто знаходження глобального мінімуму обраної функції оптимізації.

Разом з тим традиційний спосіб порівняння кількох варіантів є досить трудозатратним, оскільки вимагає значних затрат часу проектувальника на створення якісних варіантів конструкції для розгляду. Навіть якщо сам розрахунок варіантів виконується автоматизованим способом з використанням розрахункових комплексів, побудова ряду моделей з різними значеннями конструктивних параметрів, аналіз та порівняння результатів їх розрахунку виконується вручну. Це робить оптимізацію багатьох типів металоконструкцій недоцільною з економічної точки зору, оскільки ефект від оптимізації при дрібносерійному виготовленні може виявитися меншим, ніж власне затрати на оптимізацію.

В даній роботі пропонується генерувати варіанти конструкції просторової металевої ферми автоматично з використанням стохастичного імітаційного моделювання. Воно набуло широкого поширення для розв'язку задач оптимізації в економіці, теорії управління, фізиці тощо [3].

Даний підхід використовує метод Монте-Карло для генерування випадкових значень конструктивних параметрів в заданих межах (для прикладу, типу решітки чи довжини різних

прольотів ферми), на основі яких створюється скінченно-елементна модель та виконується перевірка її тримкої здатності. Якщо одержаний варіант конструкції задовольняє вимоги міцності та жорсткості та при цьому дає менше значення цільової функції (найчастіше – маса чи собівартість ферми), то його приймають як локальний розв'язок.

Очевидно, що для одержання якісного результату необхідне проведення значного числа ітерацій в процесі імітаційного моделювання. Для забезпечення збіжності даного процесу встановлюють обмеження на максимальну кількість ітерацій чи на досягнення цільовою функцією певного значення.

Для реалізації описаного підходу за допомогою мови програмування Python було створено програму, яка виконує генерацію значень для обраних конструктивних параметрів просторової ферми методом Монте-Карло та виконує побудову скінченно-елементних моделей за згенерованими параметрами. Розрахунок одержаних моделей виконувався за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2015 в лінійній постановці. Під час розрахунку враховувалися власна вага ферми та навантаження від покриття і їх розрахункові сполучення. Виконувався автоматичний підбір необхідних перерізів за граничними станами згідно вимог [4]. На основі отриманих перерізів виконувалася оцінка загальної маси ферми, мінімізація якої була обрана в якості цільової функції задачі оптимізації.

В результаті застосування описаного підходу до оптимізації конструкції просторової ферми з довжиною прольоту 30 м було досягнуто зниження загальної ваги конструкції на 6,78% при виконанні 1000 циклів імітаційного моделювання.

Серед недоліків даного методу слід вказати значну кількість обчислень, оскільки потрібно визначати значення цільової функції на кожному кроці, що вимагає побудови та розрахунку окремої скінченно-елементної моделі, та ймовірність того, що глобальний мінімум не буде знайдено за задану максимальну кількість ітерацій.

Слід також зазначити, що в роботі не враховувалися вимоги до модульності основних розмірів ферми, уніфікації її елементів та технологічності їх виготовлення. Дані особливості можуть суттєво підвищити собівартість виготовлення ферми в умовах конкретного виробництва та вплинути на результати оптимізації за критерієм мінімальної собівартості.

Література:

1. Свідер В.С., Сорочак А.П. Дослідження впливу конструктивних параметрів на несучу здатність просторових ферм // Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 27-28 листопада 2019). – Т. 1. – С. 31-32.
2. Металеві конструкції / Ф.Є. Клименко, В.М. Барабаш, Л.І. Стороженко. За ред. Ф.Є. Клименка. – К.: Світ, 2002. – 191 с.
3. Зеленський К. Комп'ютерне моделювання систем / Кирило Зеленський. – К: Університет «Україна», 2014. – 315 с.
4. ДБН В.2.6-163:2010: Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 249 с.