



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2013, ТОМ 19, НОМЕР 3, 155–162

УДК 624.014.2.04

(13)-0293-0

ПРО ОДИН СПОСІБ ЗАДАВАННЯ ВАРІАНТІВ ТОПОЛОГІЇ СТРИЖНЕВИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

І. Д. Пелешко¹, В. М. Іванейко²

Національний університет «Львівська політехніка»,

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013.

E-mail: ¹ipeleshko@hotmail.com, ²iv.mybox@gmail.com

Отримана 18 липня 2013; прийнята 27 вересня 2013.

Анотація. У статті запропоновано спосіб задавання варіантів топології стрижневих металевих конструкцій для структурно-параметричних задач оптимізації геометрії, поперечних перерізів стрижнів і топології конструкції. Спосіб включає формування кортежів вузлів для опису множини варіантів топології стрижневої системи й використання дискретних змінних проектування для виділення конкретних варіантів топології в процесі оптимізації. При цьому забезпечено формування прийнятних варіантів топології з різною кількістю вузлів і стрижнів на стадії введення проектувальником даних для задачі оптимізації. Сформульовано задачу структурно-параметричної оптимізації підкрोकвяної ферми. Наведено приклад формування кортежів вузлів для цієї ферми. Описано реалізацію запропонованого способу в програмі оптимального проектування стрижневих металевих конструкцій OptCAD. Оптимізаційну задачу розв'язано методом пошуку гармонії.

Ключові слова: стрижневі конструкції, металеві конструкції, оптимізація топології, дискретні змінні проектування.

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ЗАДАВАНИЯ ВАРИАНТОВ ТОПОЛОГИИ СТЕРЖНЕВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

И. Д. Пелешко¹, В. М. Иванейко²

Национальный университет «Львовская политехника»,

ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013.

E-mail: ¹ipeleshko@hotmail.com, ²iv.mybox@gmail.com

Получена 18 июля 2013; принята 27 сентября 2013.

Аннотация. В статье предложен способ задания вариантов топологии стержневых металлических конструкций для структурно-параметрических задач оптимизации геометрии, поперечных сечений стержней и топологии конструкции. Способ включает формирование кортежей узлов для описания множества вариантов топологии стержневой системы и использования дискретных переменных проектирования для выделения конкретных вариантов топологии в процессе оптимизации. При этом обеспечено формирование приемлемых вариантов топологии с различным количеством узлов и стержней на стадии ввода проектировщиком данных для задачи оптимизации. Сформулирована задача структурно-параметрической оптимизации подстропильная фермы. Приведен пример формирования кортежей узлов для этой фермы. Описана реализация предлагаемого способа в программе оптимального проектирования стержневых металлических конструкций OptCAD. Оптимизационные задачи решены методом поиска гармонии.

Ключевые слова: стержневые конструкции, металлические конструкции, оптимизация топологии, дискретные переменные проектирования.

ON ONE WAY OF SPECIFYING TOPOLOGY VARIANTS OF STEEL BAR STRUCTURES FOR STRUCTURAL AND PARAMETRIC OPTIMIZATION PROBLEMS

Ivan Peleshko ¹, Volodymyr Ivaneiko ²

*National University «Lviv Politechnique»,
12, S. Bandery Str., Lviv, Ukraine, 79013.*

E-mail: ¹ ipeleshko@hotmail.com, ² iv.mybox@gmail.com

Received 18 July 2013; accepted 27 September 2013.

Abstract. The article suggests a method of specifying a set of variants of bar structures for structural and parametric optimization problems of geometry, cross sections of bars and structure topology. The method includes formation of tuples of nodes for describing set of topology variants of bar system and using of discrete design variables to select specific topology variants during the optimization process. In this case topology variants can be formed with different number of nodes and bars and on the stage of the data input of optimization problem. The structural and parametric optimization problem is formulated for eaves truss. The article gives the instance of the specifying of tuples with the nodes for eaves truss. It is described the implementation of the proposed method in program for optimal design of steel structures OptCAD. Structure optimization problem is solved by harmony search method.

Keywords: bar structures, steel structures, topology optimization, discrete design variables.

Постановка проблеми

Стрижневі металеві конструкції застосовуються в багатьох типах будівель і споруд. Для покращення їхньої конкурентоспроможності використовують різні способи покращення техніко-економічних показників, у тому числі методи оптимізації в процесі проектування. Найбільший ефект від методів оптимізації отримують, зазвичай, при варіюванні комплексу основних параметрів конструкції, таких як її топологія й геометрія, типи й розміри поперечних перерізів стрижнів тощо. Відповідні задачі оптимізації відносять до задач структурно-параметричної оптимізації. Розв'язок такої задачі зазвичай дозволяє зменшити вартість конструкції в порівнянні з розв'язком параметричної задачі оптимізації за рахунок варіації структури (топології) конструкції [4, 10]. Для формулювання задачі структурно-параметричної оптимізації треба задати множину варіантів топології стрижневої конструкції. Спосіб формування цієї множини повинен забезпечувати можливість описувати довільні варіанти топології, уникаючи при цьому утворення неприйнятних варіантів топології конструкції, у тому числі геометрично або миттєво змінних.

Аналіз досліджень та публікацій

У більшості робіт з оптимізації металевих конструкцій розглядаються параметричні задачі, що обмежені попередньо вибраною фіксованою топологією при можливості зміни параметрів конструкції. Менше досліджено задачі структурно-параметричної оптимізації [1] – задачі пошуку оптимальної топології стержневої системи і форми поперечних перерізів її елементів при змінних геометричних параметрах конструкції.

Задачу оптимізації стрижневої системи формулюють як задачу пошуку таких значень змінних проектування $\bar{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_{N_x}\}^T$, при яких значення цільової функції є найменшим [1, 3, 6, 9]:

$$f(\bar{X}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $f(\bar{X})$ – цільова функція;

N_x – кількість змінних проектування.

При цьому повинні виконуватися обмеження, що описують нормативні, технологічні й інші вимоги до конструкції:

$$\psi_k(\bar{X}) = 0, \quad k = \overline{1, N_\psi}, \quad (2)$$

$$\varphi_p(\bar{X}) \leq 0, \quad p = \overline{N_\psi + 1, N_\varphi}, \quad (3)$$

$\psi_k(\bar{X}), \varphi_p(\bar{X})$ – функції обмежень-рівностей і обмежень-нерівностей відповідно;

N_ψ, N_φ – кількість обмежень-рівностей і загальна кількість обмежень відповідно.

Вектор змінних проектування у задачі структурно-параметричної оптимізації (1)–(3) стрижневої системи може містити змінні, які визначають геометрію, типи й розміри поперечних перерізів елементів системи, а також змінні проектування, поточне значення яких виділяє варіант топології стрижневої системи з деякої множини варіантів топології [10]. Координати вузлів стрижневої системи і розмірів поперечних перерізів зазвичай задають неперервними змінними проектування [1]. Дискретні змінні проектування використовують для задавання типу й розмірів поперечного перерізу, що відповідають доступним профілям у сортаменті [9]. Окрім цього дискретні змінні проектування використовують для задавання варіантів топології стрижневої системи [6]. Поширеним є метод базової конструкції (ground structure) [5], в якому синтез нових топологічних рішень стрижневих конструкцій виконують без використання змінних проектування, що явно задають варіанти топології конструкції.

Згідно з [6] можливі варіанти положення одного стрижня задаються у двох кортежах (двох послідовностях) номерів вузлів, до яких може бути приєднаний початок і кінець цього стрижня. Кожна пара вузлів (по одному з кортежу) з однаковим порядковим номером у кортежі задає один можливий варіант положення стрижня. Конкретний варіант положення задається значенням змінної проектування, яке слугує порядковим номером, що виділяє два вузли з кортежів. Даний метод використовували в [6] для задавання варіантів топології конструкції з незмінною кількістю вузлів та стрижнів.

Мета

Розробити спосіб задавання множини варіантів топології стрижневих конструкцій із різною кількістю вузлів та стрижнів для структурно-параметричних задач оптимізації.

Основна частина

В структурно-параметричній задачі оптимізації топології використаємо дискретні змінні проектування $X_i = \{1, 2 \dots n\}$ [6], що в процесі оптимізації виділяють поточний варіант із заданих n варіантів топології. Дискретну змінну проектування X_i сформуємо так, щоб кожному її можливому значенню відповідав один варіант топології конструкції. Для цього використаємо кортежі вузлів $K_i, i = 1, m$, де m – кількість кінців стрижнів, що можуть мати різне положення в різних варіантах топології. Тоді множина варіантів топології конструкції буде повністю задана на стадії введення вихідних даних задачі оптимізації. Множину варіантів формує проектувальник. Це дозволяє задавати і аналізувати в процесі оптимізації лише раціональні можливі варіанти топології конструкції.

Опишемо спосіб формування варіантів топології з різною кількістю вузлів та стрижнів. На основі аналізу можливих варіантів конструкції сформуємо множину вузлів \mathbf{N} і множину стрижнів \mathbf{B} , з яких будемо формувати потрібні варіанти топології конструкції. Кількість вузлів та стрижнів у множинах \mathbf{B} і \mathbf{N} повинна бути достатньою для формування будь-якого варіанта топології. Для більшості задач кількість вузлів у множині \mathbf{N} визначають із варіанта топології, в якому є максимальна кількість вузлів, а кількість стрижнів у множині \mathbf{B} – з варіанта, в якому є максимальна кількість стрижнів.

На відміну від [6] варіанти топології утворюємо, по-різному розділяючи вузли й стрижні між двома стрижневими підсистемами – базовою і додатковою. Під час розв'язування задачі оптимізації при обчисленні значення цільової функції будемо враховувати лише базову підсистему. Кожен варіант базової підсистеми відповідає одному із можливих варіантів топології системи. З елементів, що не ввійшли в базову підсистему в деякому варіанті топології, формуємо відповідну додаткову підсистему.

Додаткова й базова підсистеми повинні бути геометрично й миттєво незмінними, і не впливати на напружено деформований стан одна одної.

Нехай підмножини \mathbf{N}_1 і $\mathbf{N}_2, \mathbf{B}_1$ і \mathbf{B}_2 такі, що

$$\mathbf{N}_1 \subseteq \mathbf{N}, \mathbf{N}_2 \subseteq \mathbf{N},$$

$$\mathbf{N}_1 \cup \mathbf{N}_2 = \mathbf{N}, \mathbf{N}_1 \cap \mathbf{N}_2 = \emptyset, \quad (4)$$

$$\mathbf{V}_1 \subseteq \mathbf{V}, \mathbf{V}_2 \subseteq \mathbf{V},$$

$$\mathbf{V}_1 \cup \mathbf{V}_2 = \mathbf{V}, \mathbf{V}_1 \cap \mathbf{V}_2 = \emptyset, \quad (5)$$

Підмножини \mathbf{N}_1 і \mathbf{V}_1 містять вузли й стрижні базової підсистеми, а підмножини \mathbf{N}_2 і \mathbf{V}_2 – додаткової.

Підмножини \mathbf{N}_2 і \mathbf{V}_2 , окрім вузлів та стрижнів, що використовуються для формування деяких варіантів топології в базовій підсистемі, можуть містити спеціальні вузли й стрижні, що ніколи не належать до множин \mathbf{N}_1 і \mathbf{V}_1 . Їх використовують для забезпечення геометричної незмінності додаткової підсистеми. У множині \mathbf{N}_2 завжди є два спеціальні вузли. Вони закріплені від зміщення у всіх напрямках і служать опорами додаткової підсистеми. У множині \mathbf{V}_2 додають спеціальні стрижні тільки тоді, коли в деякому варіанті топології всі стрижні використані для формування базової підсистеми ($\mathbf{V}_2 = \emptyset$), але при цьому використано не всі вузли із множини \mathbf{N} (не враховуючи спеціальні вузли). У цьому разі не використані вузли потрібно додати до додаткової системи, де їх треба закріпити з допомогою спеціальних стрижнів. Кожен такий вузол задають двома спеціальними стрижнями.

Щоб додати стрижень до базової (додаткової) підсистеми треба задати його положення за допомогою вузлів підмножини \mathbf{N}_1 (\mathbf{N}_2). Щоб додати вузол до базової (додаткової) підсистеми його приєднують стрижнями до вузлів підмножини \mathbf{N}_1 (\mathbf{N}_2).

Для кожного варіанту топології задають координати вузлів базової і додаткової підсистеми. Координати вузлів додаткової підсистеми треба задавати так, щоб уникнути утворення миттєво змінної системи, а також так, щоб довжина стрижнів додаткової підсистеми була незначною. Невелика довжина стрижнів додаткової підсистеми забезпечує незначний вплив її параметрів на цільову функцію при дотриманні всіх вимог нормативних обмежень (2).

Для кожного варіанту топології координати (X, Y, Z) вузлів системи можна записати у вигляді умовної функції, яка залежить від значень змінної проектування X_i :

$$(X, Y, Z) = \begin{cases} f_{xy=1}(\bar{X}), & \text{при } X_i = 1 \\ \dots & \\ f_{xy=n}(\bar{X}), & \text{при } X_i = n \end{cases} \quad (6)$$

Схожим чином для кожного варіанту топології можна записати й інші параметри стрижневої системи, наприклад, навантаження.

Формулювання і розв'язання структурно-параметричної задачі оптимізації з допомогою програми OptCAD

Розв'яжемо узагальнену задачу структурно-параметричної оптимізації підкрюв'яної ферми. Підкрюв'яна ферма шарнірно оперта, прольотом 18 м. На середній вузол верхнього пояса ферми діє зосереджене навантаження 100 кН. Визначимо тип решітки ферми, кількість панелей ферми, розміри поперечних перерізів стрижнів ферми і висоту ферми, при яких маса підкрюв'яної ферми буде найменшою.

Неперервною змінною проектування в задачі є висота ферми H , яка може змінюватися в межах від 1,5 до 3,5 м. Стрижні ферми можуть мати три типи перерізів із прямокутних труб, окремо для верхнього, нижнього пояса й розкосів. Дискретними змінними проектування є номери профілів стрижнів ферми в сортаменті [9] і варіанти її топології [6]. На основі аналізу конструкції ферми нами прийнято 12 варіантів топології, шість із них зображено на рисунку 1.

На рис. 1 для кожного варіанта топології зображено базову (ліворуч) і додаткову (праворуч) підсистему. Вузли й стрижні, які використані для формування базової підсистеми пронумеровано (номери стрижнів зображено в рамці). Додаткові підсистеми зображені умовно, в збільшеному масштабі й містять вузли та стрижні, що не попали в базову підсистему. У варіанті I, з найбільшою кількістю вузлів і стрижнів, усі стрижні й вузли використано для формування топології базової підсистеми. У додатковій підсистемі варіанта I є лише два спеціальні вузли n_{d1} і n_{d2} , а стрижні відсутні.

Сформуємо змінні проектування X_i [6] для задавання варіантів топології стрижневої системи в програмі OptCAD [8]. Для цього сформуємо потрібну кількість кортежів K_{ib} , K_{ie} вузлів, до яких можуть бути приєднані відповідно початок і кінець i -го стрижня в кожному варіанті топології ферми. Кортежі формуємо з урахуванням розподілу стрижнів між підсистемами в кожному варіанті топології.

У таблиці 1 наведено приклади кортежів K_{ib} , K_{ie} для стрижнів 18, 19 і 30. Ці стрижні нале-

жать базовій підсистемі у варіантах I, III, VIII топології зі стійкою по середині прольоту ферми. У варіантах топології V, X, XII додатковій підсистемі належить вузол 18, а стрижень 18 має різне положення в базовій підсистемі. Вузол 18 приєднано до кінців стрижнів 19 і 30, які іншими кінцями приєднанні до спеціальних вузлів n_{d1} і n_{d2} додаткової підсистеми. Кортежі для початку стрижня 19 і кінця стрижня 30 відсутні, тому що у всіх варіантах топології вони приєднані до вузла 18.

Покажемо формування кортежів K_{ib} , K_{ie} і змінної проектування X_t у програмі оптимального проектування стрижневих металевих конструкцій OptCAD. Для створення змінної проектування X_t у програмі OptCAD спершу формують кортежі можливих значень, а потім змінну проектування у вікні «Зміні проектування: Вузли» (рис. 2а). Використовують цю змінну для задавання варіанти топології конструкції при описі положення кінців стрижня у вікні «Геометрія конструкції: Стрижні» (рис. 2б).

Для формування кортежу, з поля «Список варіантів» вибирають потрібні вузли. Вибрані

вузли відображаються в полі «Вибрані варіанти». Після цього заповнюють обов'язкові поля: «Ім'я змінної», «Поточне значення» і за допомогою кнопок у полі «Список змінних проектування» створюють новий кортеж. Усі створені кортежі відображаються в полі «Список варіантів» в низу списку.

Для створення змінної проектування X_t виконують в основному ті самі дії, що й для створення кортежу, але замість вузлів у нижній частині поля «Список варіантів» вибирають попередньо створені кортежі. Кожен варіант поточного значення змінної X_t має ім'я, яке утворюється з імені змінної з додаванням відповідного суфікса .Var1, .Var2, .VarN, наприклад, X_t .Var2.

Положення кінців стрижня відповідно до варіантів топології задають у діалоговому вікні «Геометрія конструкції: Стрижні» (рис. 2б) використовуючи імена X_t .VarN у полях «Початковий вузол» і «Кінцевий вузол».

Для розв'язання задачі оптимізації топології підкроквяної ферми використано метаевристичний ітераційний алгоритм – метод пошуку гармонії [3, 7]. Результат оптимізації наведено в табл. 2.

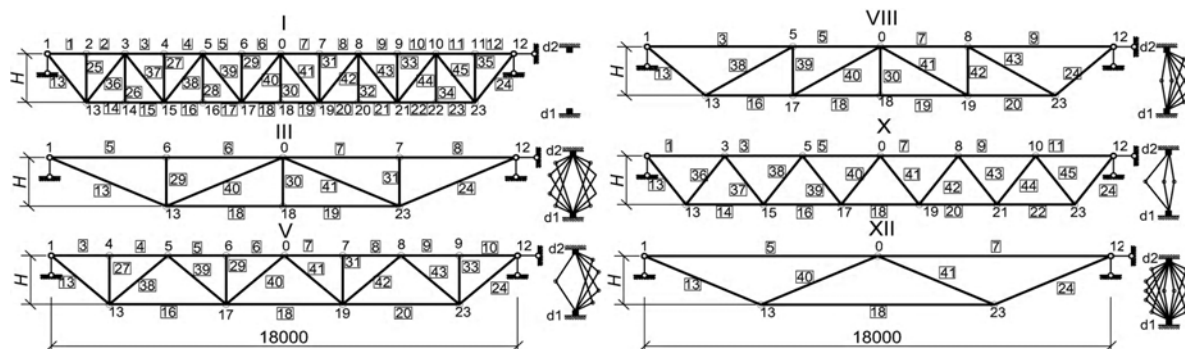


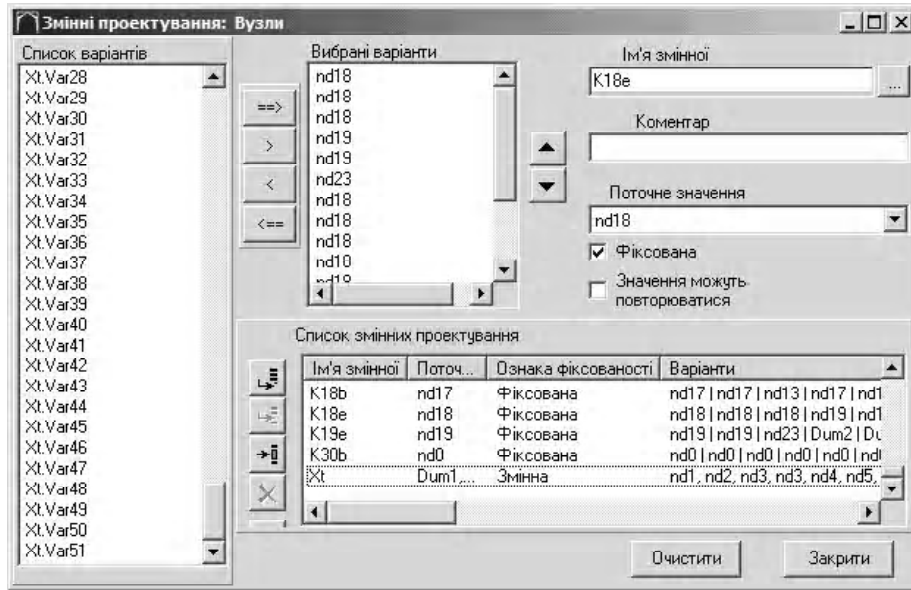
Рисунок 1. Приклади варіантів топології підкроквяної ферми.

Таблиця 1. Приклади кортежів, що задають положення стрижня у варіантах топології ферми

Стрижень №	Кортеж	Варіанти топології (значення змінної X_t)						
		I (1)	III (3)	V (5)	VIII (8)	X (10)	XII (12)	
18	поч.	K_{18b}	n_{17}	n_{13}	n_{17}	n_{17}	n_{17}	n_{13}
	кін.	K_{18e}	n_{18}	n_{18}	n_{19}	n_{18}	n_{19}	n_{23}
19	поч.	—	n_{18}	n_{18}	n_{18}	n_{18}	n_{18}	n_{18}
	кін.	K_{19e}	n_{19}	n_{23}	n_{d1}	n_{19}	n_{d1}	n_{d1}
30	поч.	K_{30b}	n_0	n_0	n_{d1}	n_0	n_{d2}	n_{d2}
	кін.	—	n_{18}	n_{18}	n_{18}	n_{18}	n_{18}	n_{18}

Примітка: Вузли додаткової підсистеми в таблиці виділені напівжирним шрифтом.

а)



б)

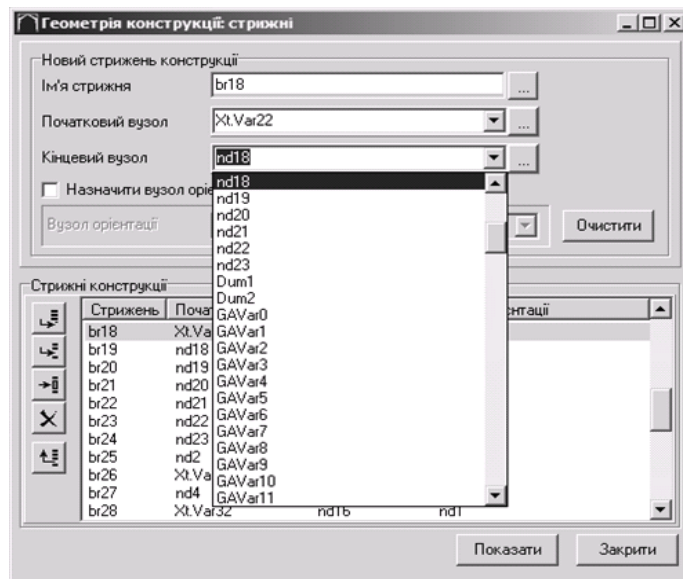


Рисунок 2. Діалогові вікна програми OptCAD: а) для формування змінних проектування, що використовуються для опису положення кінців стрижня, б) для опису стрижнів стрижневої системи.

Таблиця 2. Результати розв'язання задачі оптимізації топології підкресленої ферми

№ вар.	Маса, кН	Висота, м	Переріз стрижнів із прямокутної труби $A \times B \times t$, мм		
			верхнього пояса	нижнього пояса	розкосів
XII	18,8	1,75	$200 \times 200 \times 8$	$160 \times 200 \times 8$	$200 \times 160 \times 6$

Розв'язано також 12 задач оптимізації зі змінними перерізами і висотою ферми для кожного з варіантів топології зокрема. Задачі розв'язувалися при різних фіксованих значеннях змінної X_7 . Маса ферми після розв'язання

задачі для наведених у статті варіантів топології: I варіанта – 24,1 кН, III – 20,4 кН, V – 21,9 кН, VIII – 22,9 кН, X – 21,7 кН, XII – 18,8 кН. В інших варіантах маса ферми також є більшою, ніж у XII варіанті.

Висновок

Розроблено спосіб задавання варіантів топології конструкції, які можуть мати різну кількість вузлів і стрижнів, для формулювання структурно-параметричних задач оптимізації топології конструкцій. У розробленому способі використано дискретні змінні проектування, що виділяють конкретний варіант топології у процесі оптимізації. Множину

варіантів топології стрижневої системи описано з допомогою кортежів вузлів. Наведено приклад формування кортежів вузлів на прикладі підкрюквяної ферми у програмі OptCAD.

У подальшому потрібно дослідити ефективність використання цього способу для структурно-параметричних задач оптимізації з великою кількістю змінних проектування.

Література

1. Пермяков, В. О. Оптимальне проектування металевих стержневих конструкцій на базі гібридного генетичного алгоритму [Текст] / В. О. Пермяков, В. В. Юрченко, І. Д. Пелешко // Ресурсо-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Збірник наукових праць. – Рівне, 2008. – Вип. 16. Ч. 1. – С. 303–310.
2. Kirsch, U. On relationship between optimum structural topologies and geometries [Текст] / U. Kirsch // *Structural optimization: Springer-Verlag*. – 1990. – № 2. – P. 39–45.
3. Пелешко, І. Д. Ефективність застосування методу пошуку гармонії для розв'язування задач оптимізації металевих конструкцій [Текст] / І. Д. Пелешко, М. В. Гоголь, В. М. Іванейко // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. – 2012. – № 10. – С. 119–131.
4. Bendsoe, M. P. Topology optimization theory, methods and applications [Текст] / M. P. Bendsoe, O. Sigmund. – Berlin : Springer-Verlag, 2003. – 370 p.
5. Dorn, W. S. Automatic design of optimal structures [Текст] / W. S. Dorn, R. E. Gomory, H. J. Greenberg // *J. de Mecanique*. – 1964. – № 3. – P. 25–52.
6. Пелешко, І. Д. Змінні проектування для формулювання задач оптимізації топології стрижневих конструкцій [Текст] / І. Д. Пелешко, В. М. Іванейко, В. В. Юрченко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки. – Рівне, 2013. – № 3(63). – С. 365–373.
7. Geem, Z. W. J. H. Kim, and G. V. Loganathan, A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search [Текст] / Z. W. Geem, J. H. Kim and G. V. Loganathan // *Simulations*. – 2001. – Vol. 76. – P. 60–68.
8. Peleshko, I. D. Computer-aided design and optimization of steel structural systems [Текст] / I. D. Peleshko, Y. Y. Yurchenko, N. A. Beliaev // *Zeszyty Naukowe*. – Львів, 2009. – № 52 [264]. – P. 145–154.
9. Пелешко, І. Оптимізація стрижневих конструкцій з урахуванням скорочених сортментів металопрокату [Текст] / І. Пелешко, І. Балук,

References

1. Permiakov, V. O.; Yurchenko, V. V.; Peleshko, I. D. Optimal design of steel bar structures based on hybrid genetic algorithm. In: *Resource efficient materials, constructions, buildings and structures. Edited volume*. Rivne, 2008. Issue 16, part 1, p. 303–310. (in Ukrainian)
2. Kirsch, U. On relationship between optimum structural topologies and geometries. In: *Structural optimization: Springer-Verlag*, 1990, № 2, p. 39–45.
3. Peleshko, I. D.; Gogol, M. V.; Ivaneiko, V. M. Utilization efficiency of search method of harmony of problem solving of steel structures optimization. In: *Edited volume of Shymanovsky Ukrainian Institute of Steel Structures*, 2012, № 10, p. 119–131. (in Ukrainian)
4. Bendsoe, M. P.; Sigmund, O. Topology optimization theory, methods and applications. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 370 p.
5. Dorn, W. S.; Gomory, R. E.; Greenberg, H. J. Automatic design of optimal structures. In: *J. de Mecanique*, 1964, № 3, p. 25–52.
6. Peleshko, I. D.; Ivaneiko, V. M.; Yurchenko, V. V. Changeable designing for formation of optimization problems of topology of bar structures. In: *Mercury of National University of Water Industry and Nature Utilization. Engineering sciences*. Rivne, 2013, № 3(63), p. 365–373. (in Ukrainian)
7. Geem, Z. W.; Kim, J. H.; Loganathan, G. V. A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. In: *Simulations*, 2001, vol. 76, p. 60–68.
8. Peleshko, I. D.; Yurchenko, Y. Y.; Beliaev, N. A. Computer-aided design and optimization of steel structural systems. In: *Zeszyty Naukowe*, Lviv, 2009, № 52 [264], p. 145–154.
9. Peleshko, I.; Baluk, I.; Kovalchuk, Yu. Optimization of bar structures taking into account run down dimensions of rolled stock. In: *Geodesy, Architecture and Civil Engineering: materials of the second international conference of young scientists GAC-2009, 14–16th of May, 2009 Ukraine, Lviv*. Lviv: [s. l.], 2009, p. 95–97. (in Ukrainian)
10. Rozvany, G.; Olhoff, N. Topology optimization of structures and composite continua. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 2001. 392 p.

- Ю. Ковальчук // Геодезія, архітектура та будівництво : матеріали II Міжнар. конф. молодих вчених GAC-2009, 14–16 травня, 2009 Україна, Львів / Національний ун-т «Львівська політехніка», Міжнародний молодіжний фестиваль науки. – Л. : [б. в.], 2009. – С. 95–97.
10. Rozvany, G. Topology optimization of structures and composite continua [Текст] / G. Rozvany, N. Olhoff. – Dordrecht : Kluwer academic publishers, 2001. – 392 p.

Пелешко Іван Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельного виробництва Національного університету «Львівська політехніка». Наукові інтереси: оптимальне проектування складних технічних систем, оптимізація лінійно-деформованих стержневих конструкцій, різноманітні методології пошуку оптимального рішення.

Іванейко Володимир Михайлович – аспірант кафедри будівельного виробництва Національного університету «Львівська політехніка». Наукові інтереси: оптимальне проектування складних технічних систем, оптимізація лінійно-деформованих стержневих конструкцій, різноманітні методології пошуку оптимального рішення.

Пелешко Іван Дмитрієвич – кандидат технічних наук, доцент кафедри строительного производства Национального университета «Львовская политехника». Научные интересы: оптимальное проектирование сложных технических систем, оптимизация линейно-деформируемых стержневых конструкций, различные методологии поиска оптимального решения.

Іванейко Владимир Михайлович – аспірант кафедри строительного производства Национального университета «Львовская политехника». Научные интересы: оптимальное проектирование сложных технических систем, оптимизация линейно-деформируемых стержневых конструкций, различные методологии поиска оптимального решения.

Peleshko Ivan – PhD (Eng.), Associate Professor, Building Production Department, Lviv Politechnique National University. Scientific interests: optimum designing of complex technical systems, optimization of elastic frame structures, development of different techniques for optimum search decision.

Ivaneiko Volodymyr – the post-graduate student, Building Production Department, Lviv Politechnique National University. Scientific interests: optimum designing of complex technical systems, optimization of elastic frame structures, development of different techniques for optimum search decision.