

УДК 624.071: 681.5.015

І.Д. Пелешко, В.В. Юрченко

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра БВ

ПРО ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ СТРИЖНЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

© Пелешко І.Д., Юрченко В.В., 2002

У статті запропонований новий підхід до формулювання задач оптимізації стрижневих металевих конструкцій в системі автоматизованого проектування. Він дозволяє, зокрема, при збереженні орієнтації програми на розв’язання широкого кола задач різних стрижневих систем врахувати умови, що відображають специфіку проектної конструкції та досвід її проектування.

Оптимізація стрижневих металевих конструкцій в системах автоматизованого проектування (САПР) вимагає формулювання постановки задачі, котра дозволяє описати умови експлуатації згідно з нормативними документами та досвід проектування. У роботі [4] міститься математична модель узагальненої задачі оптимального проектування стрижневих металевих систем. Постановка задачі оптимізації розглядається у формі задачі нелінійного програмування як сукупність множини змінних проектування, значення яких визначаються під час оптимізації, критеріальної функції, за допомогою якої порівнюють проектні рішення, та системи обмежень, що описує комплекс вимог технічного завдання. Зазначена математична модель є основою для існуючих вітчизняних програмних інструментів в галузі оптимізації [5, 6] і її можна використати для програм, що розробляються.

Розмаїття конструктивних рішень стрижневих металевих систем та широке коло розглядуваних задач потребує створення програмних засобів, що характеризуються універсальним підходом до формулювання постановки задачі оптимізації. Для цього САПР через діалог з користувачем повинні забезпечити залучення додаткових обмежень, що відображають специфіку проектування тої чи іншої конструкції, а також довільний характер змінних проектування та функції мети. З аналізу роботи існуючих програм [5, 6] видно, що вхідними даними для автоматизованого формулювання постановки задачі оптимізації виступає сукупність чисел, що вводиться з інтерфейсу програм. Такі програми можна пристосовувати до умов проектування конкретної конструкції, проте іноді здійснити таку адаптацію неможливо без зміни тексту програми на рівні алгоритмічної мови.

Автори пропонують вирішити описану проблему через розробку та залучення до інтерфейсу САПР мови запису постановки задачі оптимізації. Елементами такої мови повинні виступати лексичні одиниці, що повертають значення змінних проектування та змінних стану конструкції, а також забезпечують запис аналітичних виразів. Відповідно до цього, розроблено мову запису постановки задачі оптимізації стрижневих металевих систем, синтаксис котрої містить такі лексичні одиниці: цілі та дійсні числа, знаки операцій, спеціальні символи, зарезервовані імена арифметичних операторів та функцій, символічні

константи та коментарі, імена змінних проектування та виразів, введених проектувальником, імена функцій, що повертають значення змінних стану системи. Використання цієї мови при організації діалогу між конструктором і ЕОМ в системі автоматизованого проектування дає можливість проектувальнику задати закони зміни вхідних параметрів системи залежно від змінних проектування і змінних стану. Окрім того, мова запису постановки задачі дає змогу записати довільні аналітичні вирази критеріальної функції та обмежень, що відображають специфічні умови проектування. До них, як правило, належать умови компанування поперечних перерізів стрижнів, бажаного раціонального розподілу зусиль по довжині елемента, рівності напружень у вибраних перерізах, працездатності гнучких елементів, досвід проектування такого класу конструкцій тощо.

Авторами розроблене програмне забезпечення для оптимального проектування стрижневих металевих систем [2], що використовує запропоновану мову запису постановки задачі оптимізації. Програма реалізує алгоритми аналізу системи методом скінченних елементів та розв'язання оптимізаційної задачі методом неортогонального проектування градієнта функції мети [1, 3].

У будь-якому місці інтерфейсу програми, де очікується введення нецілочислових вхідних даних, необхідних для аналізу конструкції, передбачена можливість запису аналітичних виразів відповідно до синтаксису та семантики розробленої мови. Пошук оптимального проектного рішення представляє собою ітеративний процес, на кожному кроці якого значення змінних проектування змінюються у бік поліпшення критеріальної функції. При кожній модифікації проекту перераховуються записані вирази з використанням поточних значень змінних проектування та змінних стану системи.

Відповідно до послідовності використання вхідних даних в алгоритмах аналізу та оптимізації формулювання постановки задачі поділено на етапи. Після розрахунку конструкції на кожному етапі виділено ряд доступних змінних стану, котрі можна використати для введення вхідних даних, потрібних для наступних етапів (таблиця).

Послідовність формулювання постановки задачі оптимізації стрижневих металевих конструкцій

№ з/п	Зміст етапу формулювання задачі	Аналіз стрижневої системи	Поповнення мови запису постановки задачі оптимізації
1	2	3	4
1	Описуються змінні проектування задачі оптимізації		Імена змінних проектування
2	Вводяться координати вузлів системи, інформація про опори конструкції, описуються стрижневі елементи системи	Розрахунок довжин стрижнів	Функція $L(n)$
3	Описуються типи матеріалів, з яких виготовлено конструкцію, формуються групи нормативних обмежень, описуються обмеження на переміщення вузлів, типи жорсткості стрижневої системи з їх присвоєнням стрижням системи	Розрахунок жорсткісних параметрів стрижнів	Функції $A(n)$, $V(n)$, $M(n)$, $C(n)$, M , C

Продовження табл.

1	2	3	4
4	Описуються типи навантажень, завантаження, вводиться наявне попереднє напруження елементів конструкції та розрахункові комбінації завантажень	Розв'язання системи рівнянь методу скінченних елементів	Функції $DX(k, m)$, $DY(k, m)$, $DZ(k, m)$, $UX(k, m)$, $UY(k, m)$, $UZ(k, m)$, $N(n)$, $Ms(n)$, $QY(n, a)$, $QZ(n, a)$, $MY(n, a)$, $MZ(n, a)$
5	Вводяться довільні аналітичні вирази додаткових (не передбачених у будівельних нормах) обмежень та критерію якості проектного рішення		

Примітки: n і k – порядкові номери відповідно стрижня та вузла конструкції; m – порядковий номер випадку завантаження; функція $L(n)$ повертає значення довжини n -го стрижня, $A(n)$ – площі поперечного перерізу; $V(n)$, $M(n)$, $C(n)$ – об'єму, маси та вартості матеріалу; функції M , C , G – загальних маси, вартості та ваги матеріалів конструкції; $DX(k, m)$, $DY(k, m)$, $DZ(k, m)$, $UX(k, m)$, $UY(k, m)$, $UZ(k, m)$ – пружних переміщень k -го вузла від m -го випадку завантаження конструкції вздовж відповідних напрямків; $N(n)$, $Ms(n)$ – максимального поздовжнього зусилля та крутного моменту в n -му стрижневому елементі, $QY(n, a)$, $QZ(n, a)$, $MY(n, a)$, $MZ(n, a)$ – відповідних максимальних поперечних сил та згинальних моментів для n -го стрижня на відстані a від його початку.

Функції, вказані в таблиці, забезпечують доступ до змінних стану системи на етапі формулювання постановки задачі. Так, використання функцій $M(n)$ та $L(n)$ при описі зовнішніх навантажень дає змогу точно врахувати власну вагу стрижневих елементів, а використання функцій $MY(n, a)$ і $MZ(n, a)$ – спрямувати пошук оптимального рішення на вирівнювання епюри згинальних моментів по довжині нерозрізних елементів.

Розглянемо приклад запису частини постановки задачі оптимізації панельно-шпренгельної системи ПШС 24×3 [7] (рис. 1).

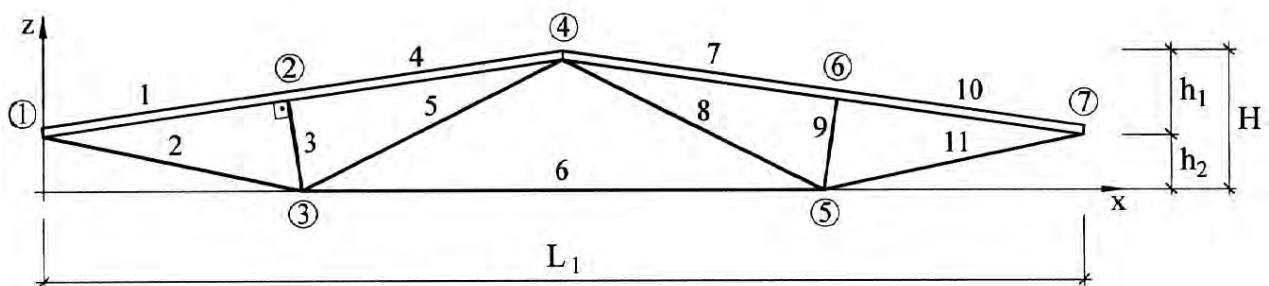


Рис. 1. Розрахункова схема панельно-шпренгельної системи ПШС24×3

Прогон панельно-шпренгельної системи $L_1 = 24$ м приймемо сталим. Змінними проектування розглянемо параметри h_1 та h_2 (рис. 2).

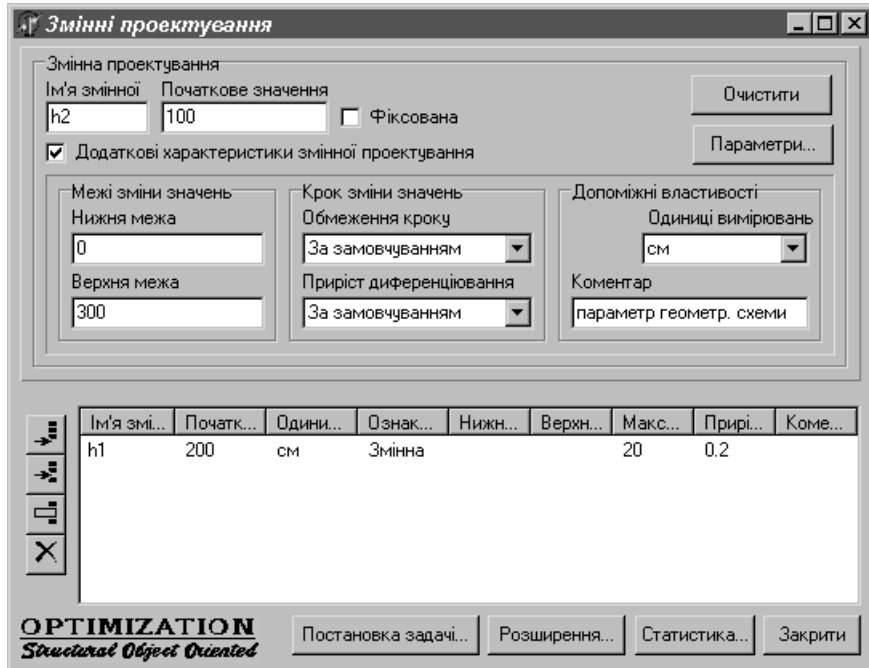


Рис. 2. Вікно програми для опису змінних проектування

Координати вузлів виразимо як функції змінних проектування (рис. 3). Прийmemo розташування другого та шостого вузлів посередині прогонів відповідно 1–4 та 4–7 і спрямування стоеків шпренгеля перпендикулярно до верхнього поясу конструкції. Тоді

$$x_2 = \frac{1}{4}L_1, \quad x_6 = \frac{3}{4}L_1; \quad x_3 = \frac{L_1}{4} \left(1 + \frac{h_1}{h_1 + 2h_2} \right), \quad x_5 = \frac{L_1}{4} \left(3 + \frac{h_1}{h_1 + 2h_2} \right).$$

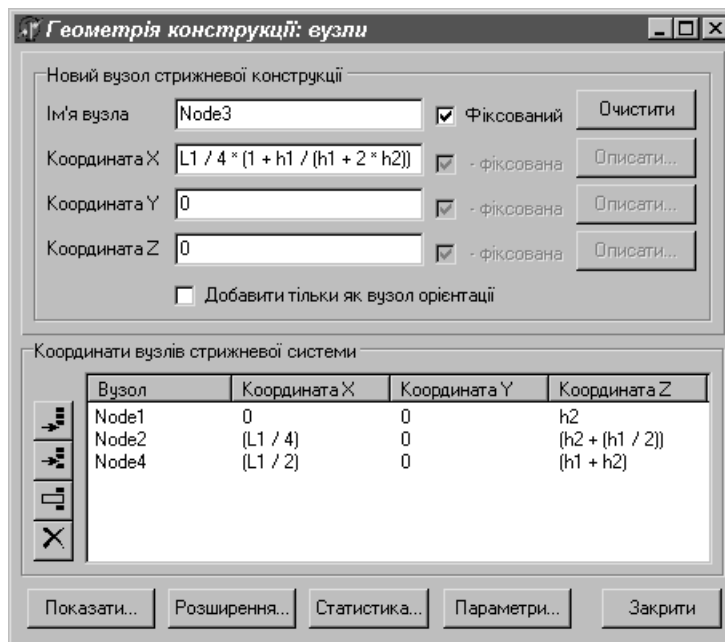


Рис. 3. Вікно програми для опису координат вузлів конструкції

З врахуванням прямолінійності осі верхнього поясу конструкції

$$z_2 = h_2 + \frac{h_1}{2}, \quad z_6 = z_2 = h_2 + \frac{h_1}{2}.$$

Отже, залучення до САПР розробленої мови запису постановки задачі оптимізації дозволяє при збереженні орієнтації програми на розв'язок широкого кола задач різного типу стрижневих металевих систем:

- 1) визначити оптимальні значення довільного набору змінних параметрів системи, вибраних проектувальником;
- 2) виконати оптимізацію за довільним критерієм якості, для котрого можливо сформулювати аналітичний вираз;
- 3) врахувати під час пошуку оптимального проектного рішення специфічні обмеження, що відображають умови конструювання та виготовлення конкретної конструкції.

Запропонований підхід до формулювання постановки задачі оптимізації і його програмна реалізація сприятиме ширшому використанню методів оптимізації в практиці проектування стрижневих конструкцій.

1. Методы оптимизации в строительной механике: Учеб. пособие // В.И. Гуляев, В.А. Баженов, В.Л. Кошкин. – К., 1988. – 192 с. 2. Пелешко І. Д., Юрченко В. В. Програма для оптимізації стрижневих металевих систем // VI Міжнар. наук. конф. “Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля”: Зб. матеріалів конф. – Львів-Кошице-Жешув, 2001. – Ч.1: Будівництво. – С. 176–182. 3. Пелешко І. Д., Юрченко В. В. Про удосконалення одного з методів оптимізації сталевих конструкцій // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. – 1998. – № 360. – С. 166–174. 4. Пермяков В. А. Обобщенная задача оптимального проектирования стержневых систем // Актуальные проблемы строительства: Докл. II Междунар. конф. – Олыштын, 1990. – С. 81–85. 5. Пермяков В. А., Ременников А. М. Комплекс программ для решения задач оптимизации стержневых конструкций // Металлические конструкции и испытания сооружений: Межвуз. темат. сб. тр. – Л., 1989. – С. 60–64. 6. Пермяков В. А., Шаучювенас Г. Л. Оптимальное проектирование пространственных стержневых конструкций // Пром. стр-во и инж. сооружения. – 1992. – № 1. – С. 38–42. 7. Ременников А. М. Оптимизация параметров состояния и геометрии стержневых металлических конструкций: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – К., 1992.