УДК 624.014.04

Програма для формулювання і розв'язування задач структурно-параметричної оптимізації стрижневих металевих конструкцій

Пелешко І. Д., канд. техн. наук

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Анотація. У статті представлено структуру програми OptCAD, що призначена для оптимального проектування стрижневих металевих конструкцій, та описано взаємодію її структурних елементів. Розроблено формальне означення (синтаксис і семантику) проблемно-орієнтованої мови запису вихідних даних для аналізу та оптимізації стрижневих металевих конструкцій, що реалізована в програмі OptCAD. Розроблена мова забезпечує запис у вихідних даних програми довільних аналітичних виразів цільової функції та додаткових обмежень, а також запис виразів, що описують залежність параметрів входу математичної моделі конструкції від змінних проектування та її змінних стану. Програму OptCAD використано для розв'язування задач структурно-параметричної оптимізації стрижневих металевих конструкції різної складності з різною кількістю та типом змінних проектування.

Ключові слова: структурно-параметрична оптимізація, стрижневі металеві конструкції, програма, проблемно-орієнтована мова, математична модель, цільова функція, змінні проектування, змінні стану.

Підвищення ефективності будівельних конструкцій можна забезпечити засобами оптимального проектування, яке передбачає формулювання і розв'язування однієї чи декількох задач оптимізації (ЗО).

У статті розглянуто структуру і взаємодію елементів програми OptCAD, що призначена для оптимального проектування стрижневих металевих конструкцій.

У загальному вигляді ЗО сформульовано так: знайти значення змінних проектування $\vec{X}$, для яких цільова функція досягає мінімуму:

$$f\left(\vec{X},\vec{z}\right)\to\min, \tag{1}$$

і задовольняються нормативні обмеження (2), що формалізують вимоги нормативних документів, та додаткові обмеження (3), які відображають конкретні умови будівництва й експлуатації, що не враховані нормативними обмеженнями:

$$\boldsymbol{\psi}_n\left(\vec{X},\vec{z}\right)\le 0, \tag{2}$$

$$\boldsymbol{\psi}_a\left(\vec{X},\vec{z}\right)\begin{Bmatrix}\le\\=\end{Bmatrix}0. \tag{3}$$

Значення змінних стану (параметрів виходу математичної моделі стрижневої системи – ММСС) $\vec{z}$ визначають із рівнянь (4), що описують стан системи

$$\mathbf{K}\left(F\left(\vec{X}\right),\vec{z}\right)=0, \tag{4}$$

де $F\left(\vec{X}\right)$ – параметри входу ММСС, частина з яких повинна залежати від змінних проектування.

Компонентами вектора $\vec{X}$ є неперервні й дискретні змінні проектування, що дозволяє формулювати задачі структурно-параметричної оптимізації.

Для запису елементів ЗО, таких як параметри F входу ММСС, функції $\boldsymbol{\psi}_a$ додаткових обмежень, цільова функція f, використовують вирази, що записані на спеціально розробленій компактній і простій проблемно-орієнтованій мові [4], яка дозволяє формулювати як ЗО стрижневих металевих конструкцій, так і ЗО деяких споруд [13].

На рис. 1 показана схема структури програми OptCAD, що відображає основні реалізовані алгоритми і передачу даних між ними.

Основними елементами програми є:

- підсистема введення і зберігання ЗО;
- алгоритм обчислення значень виразів розробленої мови, який за відомими значеннями змінних проектування розраховує значення цільової функції, додаткових обмежень і параметрів входу математичної моделі об’єкта проектування – стрижневих металевих конструкцій;
- алгоритм аналізу об’єкта проектування, який за параметрами входу визначає параметри виходу – переміщення, зусилля тощо;
- алгоритм обчислення значень функцій $\boldsymbol{\psi}_n$ для нормативних обмежень;
- алгоритми розв’язування ЗО.

Підсистема введення і зберігання ЗО забезпечує цілісність даних, роботу зі змінними проектування різних типів, перевірку правильності введених виразів мови, запис ЗО на диск і її читання з диска.

Під час формулювання ЗО в підсистемі введення і зберігання ЗО використано запропоновану мову запису вихідних даних для програми OptCAD оптимізації стрижневих металевих конструкцій. Ця мова є проблемно-орієнтованою [8], оскільки не вимагає формування детальної специфікації алгоритмів і розробки послідовності операторів для розв’язування ЗО, а забезпечує опис параметрів стрижневих металевих конструкцій на професійній мові, характерній для проектування цих конструкцій.

Під формальним означенням мови розуміють повний опис її синтаксису, що визначає, які рядки належать цій мові, та семантики – визначає зміст цих рядків [9].

Синтаксис мови наведено нижче за допомогою розробленої граматики з використанням способу, описаного в [2] і еквівалентного за потужністю нормальній формі Бекуса-Наура. Використано метасимволи <,>, [,], { , } , ::=, | , які не є термінальними символами мови (якщо явно не вказано протилежне), а служать тільки для задавання граматики мови. Нетермінальні символи мови беруть у кутові дужки виду <…>; послідовність символів у квадратних дужках […] можна не вказувати; послідовність символів у фігурних дужках {…} може або бути відсутньою, або повторюватися будь-яку кількість разів; запис виду ::= означає “визначається як”, а символ | означає “або”.

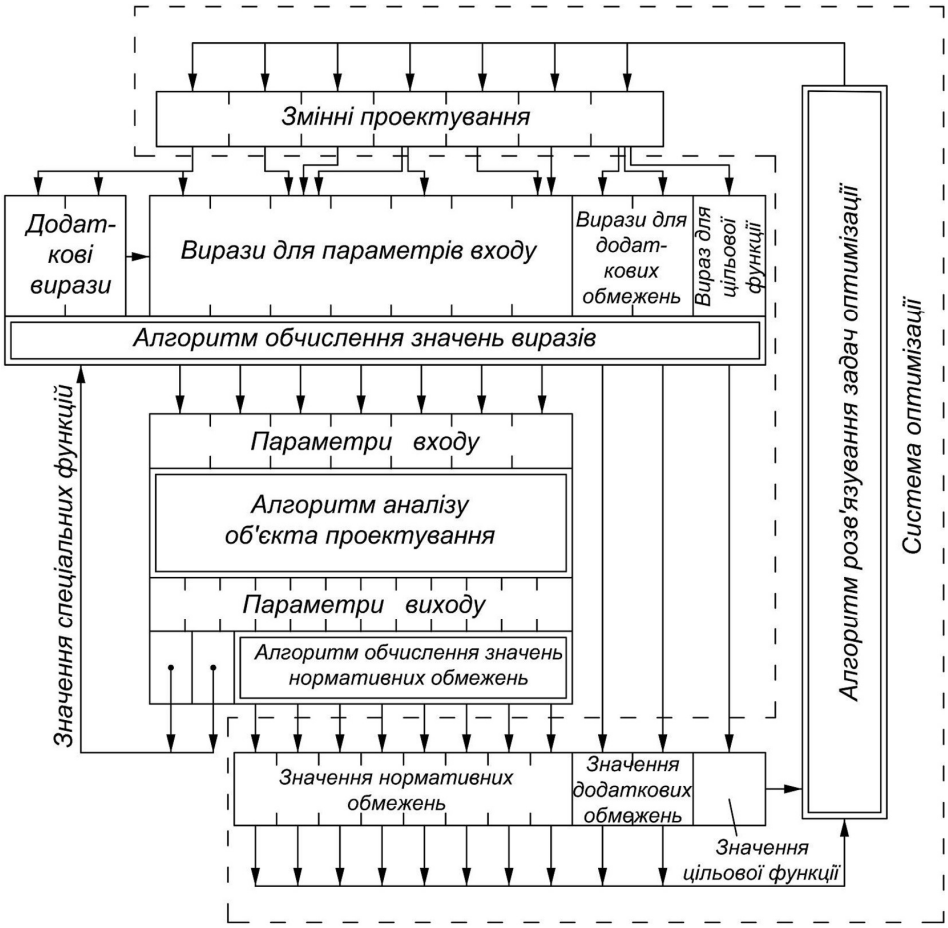

Рис. 1. Схема структури програми OptCAD

<список додаткових обмежень> ::= <додаткове обмеження> { <додаткове обмеження> }

<додаткове обмеження> ::= [<константа-рядок>] <вираз> ;

<список допоміжних виразів> ::= <допоміжний вираз> { <допоміжний вираз> }

<допоміжний вираз> ::= [<константа-рядок>] <допоміжне ім'я> := <вираз> ;

<цільова функція > ::= f := <вираз> ;

<константа-рядок> ::= '{<довільний символ>}'

<вираз> ::= <простий вираз> {<операція порівнювання> <простий вираз>}

<простий вираз> ::= <терм> {<операція додавання><терм>}

<терм> ::= <множник> {<операція множення><множник>}

<множник> ::= <унарна операція> <множник> | <арифметична функція> | (<вираз>) | <арифметичне IF> | <спеціальна функція> | <ім'я змінної проектування> | <ім'я виразу> | <ціле число> | <дійсне число>

<арифметичне IF> ::= [<вираз> ? <вираз> : <вираз>]

<спеціальна функція> ::= <ім'я спеціальної функції> [(<список параметрів>)]

<список параметрів> ::= <ім'я елемента ММСС> { , <ім'я елемента ММСС> } { , <вираз> } | <вираз> { , <вираз> }

<ціле число> ::= <цифра> { <цифра> }

<дійсне число> ::= <ціле число> . [<ціле число>] [<експонента>] | <ціле число> <експонента>

<експонента> ::= <буква E> [+|-] <ціле число>

<буква E> ::= E | e

<цифра> := 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9

<арифметична функція> ::= <ім'я арифметичної функції> (<вираз>)

<ім'я арифметичної функції> ::=
SQR|SQRT|LN|EXP|COS|SIN|TAN|ARCCOS|ARCSIN|ARCTAN

<ім'я змінної проектування> ::= <буква> { <буква> | <цифра> }

<допоміжне ім'я> ::= <буква> { <буква> | <цифра> }

<ім'я елемента ММСС> ::= <буква> { <буква> | <цифра> }

<буква> :=
_|a|b|c|d|e|f|g|h|i|j|k|l|m|n|o|p|q|r|s|t|u|v|w|x|y|z|A|B|C|D|E|F|G|H|I|J|K|L|M|N|O|P|Q|R|S|T|U |V|W|X|Y|Z

<ім'я спеціальної функції> ::= L | A | VN | MN | CN | M | C | DX | DY | DZ | UX | UY | UZ | N | QY | QZ | MX | MY | MZ | AP | APST | X | Y | Z | RY | E | DIST | SCNT | FSD_N | FSD_MY

<операція порівнювання> ::= < | <= | = | <> | >= | >

<операція додавання> ::= + | - | OR | XOR

<операція множення> ::= * | / | DIV | MOD | AND

<унарна операція> ::= + | - | NOT

Примітка. Символи [та] в означенні арифметичного IF, а також символи < та > в означенні операцій порівнювання є термінальними.

У межах дійсного числа не допускаються пробіли, усі використовувані в мові імена, що набрані в різних регістрах (наприклад, SIN і Sin), вважають тотожними. Константа-рядок складається з довільних символів, які можна ввести з клавіатури, і повинна розміщатися в межах одного рядка. Якщо серед символів цієї константи необхідно вказати апостроф, то його треба набрати двічі.

Семантика мови. Опишемо основні терміни, що використані для розробки запропонованої мови. *Змінними проектування* називають незалежні величини, значення яких однозначно задають проект і визначаються під час оптимізації [10]. Від змінних проектування повинні залежати додаткові обмеження, цільова функція, а також вихідні дані, що описують металеву конструкцію. Змінними стану конструкції називають параметри, значення яких розраховують програмно під час роботи алгоритму аналізу конструкції (наприклад, довжини стрижнів, зусилля в їхніх перерізах, переміщення вузлів тощо) [10]. Для доступу до значень змінних стану запропоновано використовувати *спеціальні функції*. Спеціальним функціям, змінним проектування, а також елементам ММСС (вузлам, стрижням, типам жорсткості тощо) надають імена. Імена можна також надавати деяким часто вживаним виразам з метою скорочення обсягу вихідних даних і збільшення ступеня параметризації геометричної схеми конструкції, навантажень, поперечних перерізів стрижнів тощо. Ці імена названо *допоміжними іменами*. Набір *імен спеціальних функцій* у програмі є фіксованим. *Імена змінних проектування*, допоміжні імена та імена елементів ММСС назначає користувач під час формування математичної моделі задачі оптимізації конкретної конструкції. Після першого входження допоміжного імені в ліву частину допоміжного виразу це ім'я стає доступним для використання в

подальших виразах (наприклад, після запису допоміжного виразу H1:=3.3; можна записати H2:=H1*2;).

Імена спеціальних функцій, арифметичних функцій та операцій (NOT, OR, XOR, AND, DIV, MOD, AND) є зарезервованими іменами, з якими не можуть збігатися імена змінних проектування, імена елементів ММСС та допоміжні імена.

Уведені в програму вирази компілюють і в оперативній пам'яті комп'ютера один раз перед оптимізацією формують внутрішнє представлення виразів у формі семантичних дерев [9], які під час розв'язування ЗО багаторазово, для різних значень змінних проектування, використовує алгоритм обчислення значень виразів (рис. 1).

Кожне число, ім'я, вираз має тип, який визначає операції, які можна виконувати з цим числом, іменем чи виразом. Семантикою мови передбачено три обумовлених типи: цілочисловий, дійсний (з плаваючою комою) та логічний (true або false). Цілочисловий і дійсний типи називатимемо також числовим типом. Числові типи, як правило, можна довільно комбінувати один з одним. Під час обчислення значень виразів цілий тип неявно перетворюють у дійсний тип без втрати точності розрахунків.

Імена змінних проектування можуть мати дійсний, цілочисловий або логічний тип, кожен з яких використовують у відповідному контексті. До прикладу, змінну проектування логічного типу можна застосувати в арифметичному IF як перший операнд. Допоміжні імена мають дійсний тип. Арифметичні та спеціальні функції повертають результат дійсного типу (за одним винятком – арифметична функція Sqr повертає результат цілочислового типу, якщо її параметр має цілочисловий тип). Параметри-вирази арифметичних та спеціальних функцій повинні бути числового типу. Такий самий тип повинен мати вираз у правій частині допоміжного виразу.

Арифметичне IF [1] має три операнди-вирази: перший – логічного типу, інші – числового типу. Тип результату є цілочисловим, якщо другий і третій операнди мають цей же тип. Для всіх інших типів цих операндів результат має дійсний тип. Під час визначення результату цієї операції спочатку вираховують логічне значення першого виразу. Якщо це значення – істина (true), то вираховують значення другого виразу, в іншому разі – третього. Вирахуване значення беруть за результат арифметичного IF.

Інші операції мови описано в таблиці 1. У ній використано такі позначення типів: Ц – цілочисловий; Д – дійсний; Ч – числовий; Л – логічний тип.

Якщо в таблиці вказано тип Ч результату виконання операції, то результат має цілочисловий тип тільки тоді, коли всі операнди мають цілочисловий тип (у всіх інших випадках результат має дійсний тип).

Таблиця 1

Операції мови

Опе-рація	Назва операції	Типи операндів		Тип резуль-тату
		ліво-го	пра-вого	
+	унарний плюс	-	Ч	Ч
-	унарний мінус			
NOT	логічне НЕ (заперечення)	-	Л	Л
*	множення	Ч	Ч	Ч
/	ділення	Ч	Ч	Д
DIV	цілочислове ділення	Ц	Ц	Ц
MOD	взяття за модулем (остача)			
AND	логічне І	Л	Л	Л
+	додавання (плюс)	Ч	Ч	Ч
-	віднімання (мінус)			
OR	логічне АБО	Л	Л	Л
XOR	логічне виключне АБО			
<	менше	Ч	Ч	Л
<=	менше або дорівнює			
>	більше			
>=	більше або дорівнює			
=	дорівнює	Ч	Ч	Л
<>	не дорівнює	Л	Л	

Якщо в таблиці вказано тип Ч результату виконання операції, то результат має цілочисловий тип тільки тоді, коли всі операнди мають цілочисловий тип (у всіх інших випадках результат має дійсний тип).

У кожній відкресленій суцільною лінією частині таблиці вказано операції з однаковим пріоритетом. Операція, яка розміщена в таблиці вище, має більший пріоритет, ніж операція з частин, розміщених нижче. Наприклад, h + f*g означає h + (f*g), оскільки * має вищий пріоритет, ніж +. Операції з однаковим пріоритетом виконують зліва направо. Наприклад, h – f – g означає (h – f) – g.

Функція SQR повертає квадрат аргументу, SQRT – квадратний корінь, LN – натуральний логарифм, EXP – експоненту аргументу. Тригонометричні функції SIN, COS, TAN мають загальновідомий зміст, їхні аргументи задають у градусах. Аргументами обернених тригонометричних функцій ARCSIN, ARCCOS та ARCTAN функцій можуть бути вирази, а результат подається в градусах. Ці функції спрощують, наприклад, задавання значень снігових навантажень, що залежать від кута нахилу покрівлі [5].

Кореневою вершиною семантичного дерева виразу додаткового обмеження повинна бути одна з операцій <, <=, >=, >, = з двома операндами числового типу. За знаком операції визначають тип обмеження – нерівність (операції <, <=, >=, >) чи рівність (операція =). Потім операції <, > замінюють операціями <=, >= відповідно. Після цього додаткове обмеження-нерівність зводять до виду $\psi_a \le 0$, а рівність – до виду $\psi_a = 0$. Для кожного додаткового обмеження запам'ятовують ознаку типу обмеження та формують семантичне дерево виразу дійсного типу для ψ_a, яке використовують під час оптимізації для розрахунку значень додаткових обмежень (рис. 1).

Для забезпечення зручності, узгодженості та цілісності даних під час формулювання ЗО в списку параметрів спеціальних функцій використовують імена елементів ММСС (вузлів, стрижнів, типів жорсткості, завантажень тощо).

У програмі є фіксованими кількості аргументів типу <ім'я елемента ММСС> та дійсних аргументів для спеціальних функцій. Наприклад, для спеціальних функцій VN, MN, CN, які повертають значення відповідно об'єму, маси, вартості матеріалу стрижня з іменем Br1, очікується як аргумент лише одне ім'я елемента ММСС – ім'я стрижня, тобто функція MN(Br1) поверне масу стрижня з іменем Br1. Функцію MN можна використати для задавання навантаження на конструкцію. Зауважимо, що розглянуті функції стають доступними після опису стрижнів і їхніх типів жорсткості.

Функція MY, що повертає значення згинального моменту відносно осі *y-y* локальної системи координат стрижня, очікує три аргументи – два аргументи типу <ім'я елемента ММСС> (ім'я завантаження й ім'я стрижня) і один дійсний аргумент, тобто MY(Load1, Br1, 2) поверне значення відповідного моменту, що виникає у стрижні Br1 від дії завантаження Load1 в поперечному перерізі, розташованому на відстані 2 м від початку стрижня. Аналогічно задають параметри спеціальних функцій N, QY, QZ, MX, MZ, що забезпечують доступ до значень відповідних силових факторів у поперечних перерізах стрижнів.

Множина спеціальних функцій також містить, зокрема, функції Ap, Apst, X, Y, Z, Ry, E, Dist, SCnt, FSD_N та FSD_MY. Функції Ap та Apst повертають відповідно площу нестельової та стельової поверхні для пофарбування стрижнів системи. Функції X, Y та Z визначають відповідні поточні координати вказаного вузла стрижневої системи. Для доступу до значення розрахункового опору та модуля пружності матеріалу деякого стрижня передбачені спеціальні функції Ry та E. Функція Dist служить для визначення поточної відстані між двома вузлами, імена яких указані в списку параметрів.

Спеціальна функція SCnt повертає кількість фактично використовуваних типорозмірів поперечних перерізів стрижнів. Цю функцію, з урахуванням досвіду дослідження [11] впливу кількості типорозмірів стрижнів на оптимальні параметри й техніко-економічні показники просторових решітчастих покриттів, використано в [3] під час формулювання задачі оптимального закріплення обмеженої кількості типорозмірів за стрижнями конструкції. Спеціальні функції FSD_N та FSD_MY розраховують значення показників рівнонапруженості, які можна використати під час проектування ферм та балок відповідно.

Семантика інших спеціальних функцій описана в [7]. Наголосимо, що клас розв'язуваних ЗО можна розширити залученням до запропонованої мови додаткових потрібних спеціальних функцій.

Запропоновану мову запису ЗО залучено до програми OptCAD. Змінні проектування, допоміжні вирази, додаткові обмеження та цільову функцію вводять як вихідні дані програми в спеціально розроблених вікнах, приклади яких наведено в [7]. Можна також записувати вирази числового типу відповідно до синтаксису й семантики запропонованої мови в усіх полях програмного інтерфейсу, де вводяться вихідні дані для аналізу та оптимізаційного розрахунку стрижневої системи. Це суттєво відрізняє програму OptCAD від існуючих програм аналізу стрижневих систем.

Алгоритми розв'язування ЗО реалізують удосконалений градієнтний метод [12], генетичний алгоритм [14] і метод пошуку гармонії [6]. Алгоритми розв'язування ЗО спочатку формують набір певних точок простору змінних проектування, потім для кожної точки з набору запускають послідовність алгоритмів, що розраховують відповідні значення функцій $\boldsymbol{\psi}_n$, $\boldsymbol{\psi}_a$ і f. На підставі аналізу цих значень завершують або продовжують оптимізацію.

Ефективність запропонованих підходів до формулювання і розв'язування ЗО підтверджена числовими результати структурно-параметричної оптимізації стрижневих металевих конструкції різної складності з різною кількістю змінних проектування. Наприклад, у [12] наведено формулювання і результати розв'язування удосконаленим градієнтним методом задачі оптимізації з неперервними змінними проектування для тестових конструкцій – 10-елементної плоскої ферми і 25-елементної трансляційної вежі. Отримані результати збігаються з опублікованими результатами інших авторів. У [3] сформульовано задачу оптимального закріплення поперечних перерізів за стрижнями металевих конструкцій при обмеженій кількості використовуваних типів жорсткості і наведено приклади постановки та результати розв'язування такої задачі для 10-елементної консольної ферми. Отримані з допомогою генетичного алгоритму результати збігаються з результатами [10] для граничного випадку десяти типів жорсткості.

Висновки

Розроблено структуру програми OptCAD, що призначена для оптимального проектування стрижневих металевих конструкцій, і описано взаємодію її структурних елементів.

Розроблено формальне означення (синтаксис і семантику) *проблемно-орієнтованої мови запису вихідних даних* для аналізу та оптимізації стрижневих металевих конструкцій, що реалізована в програмі OptCAD. Розроблена мова забезпечує запис у вихідних даних програми довільних аналітичних виразів цільової функції та додаткових обмежень, а також запис виразів, що описують залежність параметрів входу математичної моделі конструкції від змінних проектування та її змінних стану.

Програму OptCAD використано для розв'язування задач структурно-параметричної оптимізації стрижневих металевих конструкції різної складності з різною кількістю та типом змінних проектування.

Література

[1] Страуструп Б. Язык программирования C++. Часть первая : пер. с англ / Бьёрн Страуструп. – К. : ДиаСофт, 1993. – 264 с.

[2] Грис Д. Конструирование компиляторов для цифровых вычислительных машин : пер. с англ. / Д. Грис. – М. : Мир, 1975. – 544 с.

[3] Пелешко І. Д. Оптимізація типорозмірів поперечних перерізів стрижнів сталевих конструкцій / І. Д. Пелешко, І. М. Балук // Збірник наукових праць УкрНДІПСК ім. В.М. Шимановського. – К. : Сталь, 2009. – Вип. 4. – С. 142–151.

[4] Пелешко І. Д. Удосконалення та використання мови для запису задач оптимізації стрижневих металевих конструкцій / І. Д. Пелешко, І. М. Балук // Збірник наукових праць УкрНДІПСК ім. В.М. Шимановського. – К : Сталь, 2010. – Вип. 6. – С. 172–179.

[5] Пелешко І. Д. Формалізація снігових навантажень для системи оптимізації стрижневих конструкцій OptCAD / І. Д. Пелешко, І. М. Балук // Будівельні конструкції : Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – К. : ДП НДІБК, 2009. – Вип. 72. – С. 257–264.

[6] Пелешко І. Д. Ефективність застосування методу пошуку гармонії для розв'язування задач оптимізації металевих конструкцій / І. Д. Пелешко, М. В. Гоголь, В. М. Іванейко // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К : Сталь, 2012. – № 10. – С. 119–131.

[7] Пелешко І. Д. Про формулювання задач оптимізації металевих стрижневих конструкцій в системах автоматизованого проектування /

І. Д. Пелешко, В. В. Юрченко // Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – Львів : НУ "Львівська політехніка", 2002. – № 441. – С. 148–152.

[8] Рвачев В. Л. Проблемно-ориентированные языки и системы для инженерных расчетов / В. Л. Рвачев, А. Н. Шевченко. – К. : Техника, 1988. – 197 с.

[9] Рейуорд-Смит В. Дж. Теория формальных языков. Вводный курс : пер. с англ. / В. Дж. Рейуорд-Смит – М. : Радио и связь, 1988. – 128 с.

[10] Хог Э. Прикладное оптимальное проектирование: механические системы и конструкции : пер. с англ. / Э. Хог, Я. Арора. – М. : Мир, 1983. – 478 с.

[11] Шимановский В. Н. Оптимальное проектирование пространственных решетчатых покрытий / В. Н. Шимановский, В. Н. Гордеев, М. Л. Гринберг. – К. : Будівельник, 1987. – 224 с.

[12] Peleshko I. An optimum structural computer-aided design using update gradient method / I. Peleshko, V. Yurchenko // Modern building materials, structures and techniques : Selected papers of the 8-th International Conference. – Vilnius, 2004. – pp. 860–865.

[13] Perelmuter A. Parametric Optimization of Steel Shell Towers of High-Power Wind Turbines / A. Perelmuter, V. Yurchenko // Proc Eng., 2013. – Vol. 57 – pp. 895–905.

[14] Permyakov V. O. An optimum structural computer-aided design using hybrid genetic algorithm / V. O. Permyakov, V. V. Yurchenko, I. D. Peleshko // Proceeding of the International conference "Progress in Steel, Composite and Aluminium Structures" / Giżejowski, Kozłowski, Ślęczka & Ziołko (eds). ICMS-2006. – London : Taylor & Francis Group, 2006. – pp. 819–826.

Программа для формулирования и решения задач структурно-параметрической оптимизации стержневых металлических конструкций

Пелешко И. Д., канд. техн. наук

Национальный университет «Львовская политехника», Украина

Аннотация. В статье представлена структура программы OptCAD, предназначенной для оптимального проектирования стержневых металлических конструкций, а также описано взаимодействие ее структурных элементов. Разработано формальное определение (синтаксис и семантика) проблемно-ориентированного языка записи исходных данных для анализа и оптимизации стержневых металлических конструкций, реализованного в программе OptCAD. Предложенный язык обеспечивает запись в исходных данных программы произвольных аналитических выражений целевой функции и дополнительных ограничений, а также запись выражений, описывающих зависимость входящих параметров математической модели конструкции от переменных проектирования и переменных состояния. Программа OptCAD

использована для решения задач структурно-параметрической оптимизации стержневых металлических конструкций разной сложности с различным количеством и типом переменных проектирования.

Ключевые слова: структурно-параметрическая оптимизация, стержневые металлические конструкции, программа, проблемно-ориентированный язык, математическая модель, целевая функция, переменные проектирования, переменные состояния.

Software for formulation and solving structural-parametric optimization problems of steel structures

I. Peleshko, Cand. Sc. (Eng.)

Lviv Polytechnic National University, Ukraine

Abstract. The paper presents a structure of computer program OptCAD devoted to optimum design and analysis of steel bar systems. Interaction between different structural elements of the program has been also described by the paper. Formal definition (syntax and semantics) of problem-oriented language for writing initial data for analysis and optimization of steel structures has been developed and realized in program OptCAD. Elaborated language ensures writing as program initial data arbitrary analytical expressions of purpose function and additional constraints as well as writing of expressions which describe dependencies between input parameters of mathematical model of a steel structure and design and/or state variables. Program OptCAD has been used for solving structural-parametric optimization problems of steel bar systems of various complexities with different number and types of design variables.

Key words: structural-parametric optimization, steel structures, software, problem-oriented language, mathematical model, purpose function, design variables, state variables.

Надійшла до редакції 06.12.2017 р.