УДК 519.8+539.3

ІМІТАЦІЙНЕ ТА НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ОПТИМАЛЬНОМУ ПРОЕКТУВАННІ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ВИПАДКОВОЇ І НЕЧІТКОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВИХІДНІ ДАНІ

В. О. Бараненко*, д.т.н., професор,* ***Д. Л. Волчок****, к.т.н., доцент*
ДВНЗ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", VolchokDL@yandex.ru

Мета дослідження полягає в адаптації методів теорії ймовірності і теорії нечітких множин до задач невизначеної оптимізації в механіці оболонок.

Baranenko V.A., Volchok D.L. Modeling and simulation of fuzzy in the optimal design of thin-walled structures under random and fuzzy information about source data. The purpose is to adapt modern techniques of probability theory and the theory of fuzzy sets to problems of uncertain optimization in mechanics of shells.

Ключові слова: ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, НЕЧІТКІ МНОЖИНИ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ОРТОТРОПНА ОБОЛОНКА
Keywords: SIMULATION MODELING, FUZZY SETS, OPTIMIZATION, ORTHOTROPIC SHELL

1. Розглядаються дві задачі нелінійної оптимізації

$$(W^*, x^*) = \arg\{ \min_x \Big| p_j = \mathrm{Prob}\Big(g_j(x,u,\xi) \le 0 \Big) \ge \alpha_j \ \}; \qquad (1)$$

$$(W^\circ, x^\circ) = \arg\Big\{ \min_x \Big| \mathrm{Pos}\Big(g_j(x,u,\psi) \le 0 \Big) \ge \beta \Big\}; \ \ j = 1,2,...,m, \qquad (2)$$

де α_j, β - задані довірчі рівні; $x = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$, $u = \{u_1, u_2, ..., u_r\}$, $\xi = \{\xi_1, \xi_2, ..., \xi_q\}$, $\psi = \{\psi_1, \psi_2, ..., \psi_t\}$ - відповідно вектори шуканих змінних, вихідних даних, випадкових та нечітких величин. Припускається, що функції $W(x)$, $g_j(x,u,\xi)$, $g_j(x,u,\psi)$; $j = 1,2,...,w$ є дійснозначні, нелінійні та опуклі. Вказані моделі описують задачі оптимального проектування конструкції в умовах невизначеної інформації за критерієм вартості при виконанні вимог несучої здатності.

2. Основною складовою реалізації моделі (1) є операція визначення ймовірності появи випадкових подій $S_j = g_j(x,u,\xi) \le 0$, а в моделі (2) є операція визначення можливості $S_j = g_j(x,u,\psi) \le 0$; $j = 1,2,...,m$. Припускається, що події S_j незалежні.

3. Реалізація операції визначення $\mathrm{Prob}(S_j)$ здійснюється на основі використання методу Монте-Карло. Нехай виконано N незалежних випробувань, в яких генерується випадковий вектор $a_i(\xi_{i1},\xi_{i2},...,\xi_{iN},)$; $i = 1,2,...q$ у відповідності до заданих функцій $f_i(\xi)$ розподілу. Припускається, що серед векторів, очевидно, є такі, для яких виконуються всі обмеження $g_j(x,u,a) \le 0$; $j = 1,2,...,m$. Нехай їх число буде N^*, причому $N^* \le N$. Уведемо до розгляду таку функцію

$$s(a_i) = \begin{cases} 1, & \textit{якщо } g_j(x,u,a) \le 0;\ j = 1,2,...,m; \\ 0, & \textit{в інших випадках.} \end{cases}$$

Тоді число $\sum_{i=1}^{N} s(a_i)$ буде шуканим числом N^*. Розглянемо відношення $N^* / N = \sum_{i=1}^{N} s(a_i) / N$. Воно уявляє собою відносну частоту появи випадкової події S_j. У відповідності до теореми підсиленого закону великих чисел із збільшенням N незалежних випробувань відношення збігається до істинної ймовірності p_j події S_j.

4. Алгоритм обчислення можливості $Pos(S_j)$. Виходячи із наперед заданої оцінки можливості α, визначається α - рівневі множини $Q_i(\alpha)$ для $\psi_i = 1,2,...,t$; нечіткої величини ψ як $Q_i = \left[X_{Li}(\alpha), X_{Ri}(\alpha)\right]$; $X_{Ri} > X_{Li}$; $0 \le \alpha \le 1$, де X_{Li}, X_{Ri} є розв'язком рівняння $\mu(x) = \alpha$, де $\mu(x)$ - функція належності. Із

множин Q_i будується множина $Q_i = Q_1 \times Q_2 \times \ldots \times Q_t$.

Крок 1. Випадковим чином в множині Q отримується вектор $v = (v_1, v_2, \ldots, v_t)$, компоненти якого обчислюються за формулами $v_i = X_{Li} + (X_{Ri} - X_{Li})\zeta$; $\zeta = random$; $\zeta \in [0,1]$; $i = 1,2,\ldots,b$. Випадкова величина ζ розподіляється за рівномірним законом.

Крок 2. Обчислюються $U = \max(U, z)$; $G = \min(U, w)$, де $z = \min_j(g_j(x,u,v))$; $w = \max_j(g_j(x,u,v))$; $j = 1,2,\ldots,m$. Початкові значення величини призначаються як $U = -\infty$; $G = \infty$.

Крок 3. Кроки 1-2 повторюються N разів (N - достатньо велике). В результаті будемо мати $W_L(\alpha) = G$; $W_R(\alpha) = U$.

5. Наведені обчислювальні процедури застосовуються для оптимального проектування циліндричної ортотропної оболонки, яка стискається повздовжньою силою F^*. Для неї критерій є маса $W(x) = AhRL$; $A = 2\pi\rho$, а функції обмеження будуть: $g_1(x,u,\xi) = Bh^2\sqrt{\theta(1-\theta)} - F^*$; $g_2(x,u,\xi) = ChR^3\theta - F^*$;

$$g_3(x,u,\xi) = DhR\sqrt[3]{\theta^2} - F^*; B = \frac{2\pi}{\sqrt{3}}E;\ C = \frac{\pi^3}{L^2}E;\ D = 2\pi\sigma_0$$

де h, R, L - відповідно товщина, радіус та довжина оболонки; θ - відносний зміст армованих волокон в повздовжньому напрямку; E - модуль пружності, σ_0 - границя міцності. Вираз g_1 першого обмеження визначає можливість місцевої втрати стійкості оболонки; g_2 в другій нерівності обмежує значення параметрів оптимізації з урахуванням можливості загальної втрати стійкості оболонки, як стрижня; третє обмеження встановлює границі зміни параметрів h і R з урахуванням можливості руйнування конструкції при стисканні її силою F^*. Вихідними параметрами взято E, σ_0, L, а шуканими змінними взято h, R, θ. Невизначеним параметром взято F^*. Таким чином, виконано адаптацію сучасних підходів "м'яких" обчислень до задачі нелінійного програмування в механіці оболонок.