

динамічні ефекти мінімальні. При ненульовій початковій швидкості збурюються більш високі частоти коливань. Це не випадково, бо відбувається низка ударів тіла по балці. При додатній початковій швидкості, спрямованій униз, через деякий час після початку руху тіла по балці порушується взаємодія між ними. При від'ємній швидкості тіло спочатку летить над балкою, а лише через деякий час починається взаємодія тіла і балки. Динамічні ефекти більше впливають на тіло, ніж на балку.

Висновки. Наведені результати впливу горизонтальної швидкості тіла на поведінку системи. Підтверджені деякі висновки попередніх робіт [1; 2].

Також наведені результати впливу початкової вертикальної швидкості тіла на поведінку системи. У технічній літературі, зокрема у довідковій [1; 2], цей вплив не наводиться. Цікаві не тільки кількісні показники, але й якісні. При ненульовій початковій швидкості збурюються більш високі частоти коливань. Це не випадково, бо відбувається низка ударів тіла по балці.

Список використаних джерел

1. Справочник по динамике сооружений / под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1972. – 511 с.
2. Филиппов А. П. Воздействие динамических нагрузок на элементы конструкций / А. П. Филиппов, С. С. Кохманюк, Ю. С. Воробьёв; под ред. А. П. Филиппова. – К.: Наукова думка, 1974.
3. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – М.: Наука, 1967. – 444 с.
4. Грицюк В. Ю. Алгоритм чисельного розрахунку малих коливань механічних систем / В. Ю. Грицюк // Вісник Чернігівського держ. технол. ун-ту. – 2001. – № 12. – С. 43-46.

УДК 539.3:534.1

О.В. Савченко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗАДАЧІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглядаються задачі багатокритеріальної оптимізації структури багатошарового стержня з композиційних в'язкопружних матеріалів, армованих волокнами.

Рассматриваются задачи многокритериальной оптимизации структуры многослойного стержня из композиционных вязкоупругих материалов, армированных волокнами.

Multi-criteria optimisation problems for structure of multilayered beam from composite viscoelastic fiber-reinforced materials are considered.

Вступ. Композиційні матеріали широко застосовуються для виготовлення несучих тонкостінних елементів оболонкових конструкцій, зокрема корпусів літальних апаратів, суднових конструкцій, корпусів двигунів, лопаток вітрових генераторів енергії, тобто конструкцій, де потрібне поєднання міцності, жорсткості, демпфірування при малій масі. Конструкції, виготовлені із сучасних композиційних матеріалів, мають істотні переваги перед конструкціями з однорідних матеріалів завдяки можливості одержання одночасно високих характеристик міцності, жорсткості, демпфірування, неможливих для конструкцій з однорідних матеріалів.

Проте ефективність композитних конструкцій залежить від вибору параметрів структури: коефіцієнтів армування, концентрації, топології, тобто розподілення матеріалу в об'ємі. Необхідність вибору оптимального рішення при проектуванні таких конструкцій обумовлює необхідність використання методів оптимізації.

Задачі оптимізації для конструкцій, які працюють в умовах динамічних навантажень, у більшості випадків формулюються як багатокритеріальні, оскільки під час проектування таких конструкцій необхідно забезпечити декілька умов оптимальності, які часто суперечать одна одній. До таких умов, як правило, відносять високі демпфіруючі властивості, мінімум амплітуд коливань, задане розподілення частот, швидкість затухання коливань, мінімальну

масу тощо. До особливостей проектування композитних конструкцій слід також віднести велику кількість проектних параметрів і багатоекстремальність задач оптимізації, необхідність програмного обчислення цільових функцій і градієнтів, що часто призводить до неможливості використання класичних методів оптимізації. Щодо задач динаміки в'язкопружних конструкцій, з'являються додаткові труднощі, пов'язані з вибором методів розв'язання рівнянь динаміки. До проектних параметрів та змінних стану можуть застосовуватися обмеження на діапазон прийнятних рішень. Як відомо, врахування обмежень суттєво ускладнює одержання розв'язку в класичних методах оптимізації, у зв'язку з чим необхідно віддати перевагу методам, які є нечутливими до характеру зміни критеріїв оптимізації і принципово не ускладнюються при наявності обмежень. Такі методи розробляються на основі еволюційних, зокрема генетичних, алгоритмів, які використовують елементи теорії спадковості Дарвіна [1]. Ефективність застосування еволюційних методів було продемонстровано, зокрема, і при розв'язанні задач оптимізації [2].

Задача проектування оптимальної конструкції полягає у визначенні параметрів армування та структури з метою одержання оптимального проекту, який забезпечує задані умови оптимальності. Зазначимо, що поняття "оптимальний проект" при багатокритеріальній оптимізації є до деякої міри некоректним, оскільки одержати розв'язок, який задовольняє умови екстремальності одночасно всіх заданих критеріїв, неможливо, і необхідно розглядати компромісні варіанти. У результаті приходимо до необхідності врахування точки зору проектувальника для вибору з множини оптимальних розв'язків, які не можна поліпшити за жодним із критеріїв, не погіршивши інших (множини Парето), такого, який буде його влаштовувати.

Постановка задачі та метод дослідження. Композитні конструкції, як правило, проектуються на декількох рівнях. Початкова структура утворюється з гомогенних матеріалів з використанням вибраної і технологічно можливої схеми армування. На цьому етапі розглядається характерний об'єм композиційного матеріалу, і визначаються його ефективні характеристики, які враховують особливості армування і властивості матеріалів, які складають композит. На відміну від однорідного, такий квазіоднорідний матеріал має ряд додаткових внутрішніх параметрів, які істотно розширюють можливості варіювання властивостей отриманого композиційного матеріалу.

Наступним етапом є отримання моношару з такого матеріалу з урахуванням виду напруженого стану і фізичних та кінематичних гіпотез.

Побудова математичної моделі багатошарової конструкції з моношарів композитного матеріалу, яка враховує особливості сумісної роботи шарів, приводить до появи додаткових параметрів, які можуть використовуватися як параметри оптимізації.

Далі одержуються розв'язки для вільних і вимушених коливань відносно параметрів стану для подальшого обчислення критеріїв оптимізації.

На останньому етапі відбувається вибір і застосування методів оптимізації для розв'язання конкретних задач.

У цій роботі використовуються варіанти генетичного алгоритму з реальним кодуванням [3] для визначення оптимальних динамічних характеристик багатошарових конструкцій з композиційних в'язкопружних матеріалів, армованих волокнами. Проектними змінними є характеристики кожного моношару: коефіцієнти армування і концентрації, геометричні параметри структури, товщини шарів, властивості матеріалів, що складають композит.

Фізичні залежності для матеріалів основи й армуючих елементів описуються за допомогою інтегральних рівнянь Больцмана-Вольтерра [4]

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t-\tau) \frac{d\varepsilon}{d\tau} d\tau,$$

або у вигляді згортки

$$\sigma_t = R * \dot{\varepsilon}_t, \quad (1)$$

де σ, ε – вектори напружень і деформацій; $R(t - \tau)$ – матриця функцій релаксації;
 t – час; $\dot{\varepsilon} \equiv \frac{d\varepsilon}{dt}$.

Обґрунтування можливості використання цих рівнянь для широкого класу матеріалів, у тому числі й відмінних від полімерів, наведено в [5]*.

Для отримання ефективних характеристик двофазних або багатофазних композиційних неідеально-пружних матеріалів використовується гіпотеза Фойхта-Рейсса [6].

Математичну модель конструкції побудовано за допомогою напіваналітичного варіанта методу скінченних елементів, при якому для апроксимації переміщень по товщині пакета шарів використовуються многочлени Лагранжа, а по двох інших осях координат переміщення описуються за допомогою глобальних функцій, що враховують умови закріплення на торцях [6; 7].

З урахуванням прийнятої лінійної апроксимації переміщень у межах шару визначено матрицю динамічної жорсткості шару, який розглядався як скінченний елемент:

$$Z(i\omega) = K(i\omega) + (i\omega)^2 M, \quad (2)$$

де $K(i\omega)$ – матриця жорсткості шару, яка залежить від ефективних комплексних модулів матеріалу; M – матриця мас; ω – частота коливань; $i = \sqrt{-1}$.

Синтез матриці динамічної жорсткості багатошарової конструкції з окремих скінченних елементів-шарів виконується за традиційною методикою методу скінченних елементів у варіанті методу переміщень [7].

Рівняння коливань конструкції записується у вигляді

$$Z(i\omega)q = F(i\omega), \quad (2)$$

де $F(i\omega)$ – інтегральне перетворення Фур'є зовнішнього навантаження; q – переміщення узагальнених координат конструкції; $Z(i\omega)$ – загальна динамічна матриця жорсткості.

Побудована математична модель дозволяє визначити масу, частоту і декремент коливань, амплітуду коливань при стаціонарних і нестаціонарних коливаннях за заданими комплексними модулями матеріалів, які складають композиційний матеріал кожного шару.

У цій роботі з використанням побудованої математичної моделі розглянуто задачі багатокритеріальної оптимізації багатошарового стержня з шарами армованих волокнами в'язкопружних матеріалів (рис. 1) з урахуванням розсіяння енергії. Значення комплексних модулів (модуля об'ємної деформації і модуля зсуву) матеріалів приймали такими:

– для матеріалу армуючих волокон $K_1 = 4 \cdot 10^{11} + i \cdot 4 \cdot 10^8 \text{ Па}$, $G_1 = 0,4 \cdot K_1$;

– для матеріалу основи $K_2 = 4 \cdot 10^9 + i \cdot 4 \cdot 10^8 \text{ Па}$, $G_2 = 0,4 \cdot K_2$.

Розглядали 7-шаровий стержень довжиною $L = 2 \text{ м}$.

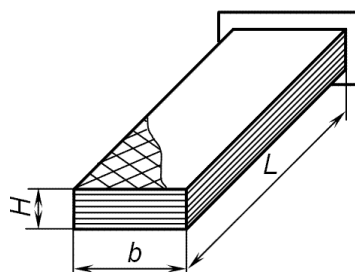


Рис. 1. Багатошаровий стержень з композиційних матеріалів

Вектор проектних параметрів в усіх задачах приймався таким:

* Використання моделі в'язкопружного матеріалу приводить до появи комплексних модулів при гармонійному деформуванні. В усіх інших випадках використання комплексних модулів передбачає перехід до простору інтегральних перетворень Фур'є.

$$x = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_7, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_7, h_1, h_2, \dots, h_7),$$

де η_i, φ_i – відповідно коефіцієнти і кути армування, h_i – товщини шарів.

Обмеження на проектні параметри в усіх випадках приймалися такими:

$$0,1 \leq \eta \leq 0,9; 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}; 0,001 \leq h \leq 0,005.$$

Задачі багатокритеріальної оптимізації. Багатокритеріальна або векторна оптимізація полягає у визначенні множини векторів параметрів оптимізації $x = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n) \in X$, які задовольняють прийнятні обмеження $g(x) = (g_1(x) \ g_2(x) \ \dots \ g_n(x)) \geq 0$ і оптимізують вектор-функцію критеріїв оптимізації $y = f(x) = (f_1(x) \ f_2(x) \ \dots \ f_n(x)) \in Y$, де X – у цьому випадку простір розв'язків, а Y – критеріальний простір. Допустима множина розв'язків D визначається як множина векторів розв'язків x , які задовольняють обмеження $g(x) \geq 0$:

$$D = \{x \in X \mid g(x) \geq 0\},$$

а допустима область у критеріальному просторі –

$$Y_D = f(D).$$

У більшості випадків критерії оптимізації $f_i(x)$ є конкуруючими, тобто покращення одного приводить до погіршення інших. У цьому випадку визначення оптимальних рішень можливе тільки на основі принципу Парето, відповідно до якого розв'язок $x_k \in D$ називається непокрощуваним, якщо в допустимій множині розв'язків не існує іншого розв'язку, який за усіма критеріями не гірше, а хоч би за одним критерієм строго краще, ніж x_k . Множину таких точок-розв'язків називають множиною Парето, а їх відображення в критеріальному просторі – фронтом Парето. Таким чином, першим етапом розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації є визначення множини і фронту Парето.

Відомо декілька найбільш поширених генетичних алгоритмів векторної оптимізації, які відрізняються один від одного способами реалізації основних операцій генетичного алгоритму і способами визначення множини непокрощуваних рішень [9]. У цій роботі застосовано варіант генетичного алгоритму, який використовує основу на Парето-домінуванні процедуру ранжирування розв'язків, де ранг кожного розв'язку (індивіда) визначається числом домінуючих його індивідів [3].

Для визначення єдиного оптимального розв'язку необхідно використовувати умови, за якими серед критеріїв оптимізації вибираються більш і менш прийнятні. Ця функція виконується проектувальником.

1. Багатшаровий стержень з максимальною швидкістю затухання коливань на першій формі при мінімальній масі.

Декремент коливань при усій важливості розсіяння енергії в динаміці конструкцій не є єдиним параметром, що визначає затухання коливань. Аналіз результатів оптимізації за критерієм максимального розсіяння енергії, зокрема максимального декременту, не завжди приводить до конструкції з максимальною швидкістю затухання коливань і не повністю враховує параметри жорсткості. Як відомо, декремент коливань пов'язаний зі швидкістю затухання коливань залежністю

$$\Delta = \frac{2\pi}{\omega a} \frac{da}{dt},$$

де ω – частота, a – амплітуда коливань, t – час.

Звідси швидкість затухання коливань – $\frac{da}{dt} = \frac{a}{2\pi} \Delta \omega$, тобто швидкість затухання пропорційна добутку декременту на частоту при заданій величині амплітуди коливань.

Очевидно, добуток частоти на декремент можна використати як критерій швидкості затухання коливань. Врахування частоти непрямым чином впливає на жорсткість конструкції і не допускає істотного зниження коефіцієнта армування.

Критерій оптимальності приймали у вигляді

$$\Phi(x) = [-dekr1 \cdot om1, \quad mass] \rightarrow \min .$$

Результати розрахунку представлено на рисунку 2 у вигляді множини оптимальних розв'язків (фронт Парето). Будь-яка точка множини Парето є оптимальною (непокривуваною) – її неможливо покращити за жодним із критеріїв оптимальності, не погіршуючи інші критерії. Для двокритеріальної задачі фронт Парето визначається точками, що лежать у просторі критеріїв оптимальності на деякій кривій.

При максимальній швидкості затухання $dekr1 \cdot om1 = 19,0212$ і масі $mass = 89,0646$ кг вектор проектних параметрів є таким:

$$x = [0,9000 \quad 0,9000 \quad 0,1094 \quad 0,1031 \quad 0,1863 \quad 0,9000 \quad 0,9000 \\ 1,5495 \quad 1,5215 \quad 1,5708 \quad 1,5554 \quad 1,5708 \quad 1,5632 \quad 0,0262 \\ 0,0050 \quad 0,0048 \quad 0,0050 \quad 0,0050 \quad 0,0050 \quad 0,0015 \quad 0,0050].$$

При мінімальній масі $mass = 42,9153$ кг і швидкості затухання $dekr1 \cdot om1 = 8,5061$ вектор проектних параметрів є таким:

$$x = [0,9000 \quad 0,5827 \quad 0,1000 \quad 0,3966 \quad 0,2548 \quad 0,1000 \quad 0,6300 \\ 1,5065 \quad 1,5708 \quad 1,1951 \quad 1,5683 \quad 1,5708 \quad 1,5128 \quad 0 \\ 0,0050 \quad 0,0010 \quad 0,0011 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0050].$$

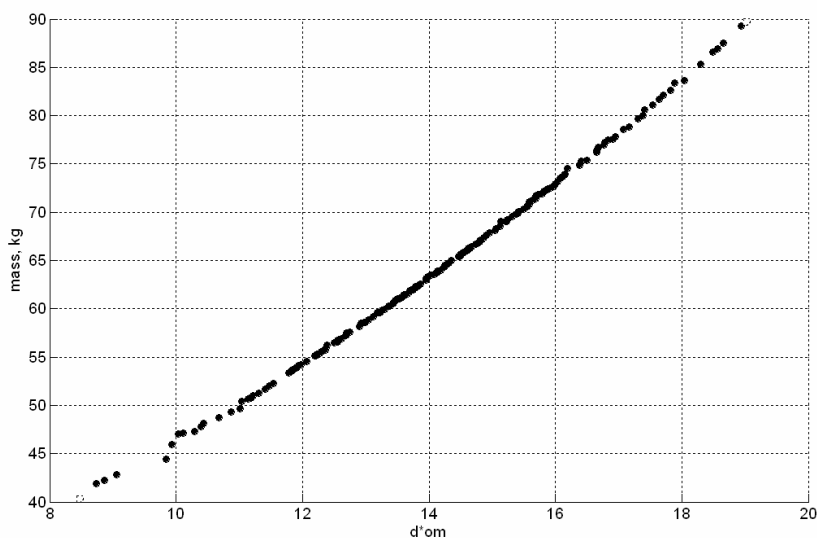


Рис. 2. Фронт Парето при оптимізації 7-шарового стержня за критеріями максимальної швидкості затухання коливань і мінімальної маси

2. Багатошаровий стержень з мінімальною першою і максимальною другою частотою. Критерій оптимальності приймали у вигляді

$$\Phi(x) = [om1, \quad -om2] \rightarrow \min .$$

Результати розрахунку у вигляді фронту Парето показано на рисунку 3.

Як видно з графіка, характер кривої є складним. При мінімальній першій частоті $om1 = 8,6094$ 1/c і другій $om2 = 6976,1843$ 1/c вектор проектних параметрів має вигляд:

$$x = [0,1000 \quad 0,1959 \quad 0,8999 \quad 0,9000 \quad 0,9000 \quad 0,1000 \quad 0,1035 \\ 1,5708 \quad 1,3944 \quad 0,0746 \quad 0 \quad 1,5708 \quad 1,5081 \quad 1,5708 \\ 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010].$$

При максимальній другій частоті $om2 = 10767,92$ 1/c і першій $om1 = 40,3415$ 1/c вектор проектних параметрів має вигляд:

$$x = [0,1047 \quad 0,8697 \quad 0,9000 \quad 0,9000 \quad 0,8997 \quad 0,9000 \quad 0,1051 \\ 1,2656 \quad 0 \quad 0,0004 \quad 0,0001 \quad 0 \quad 1,4791 \quad 1,3583 \\ 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0050 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010].$$

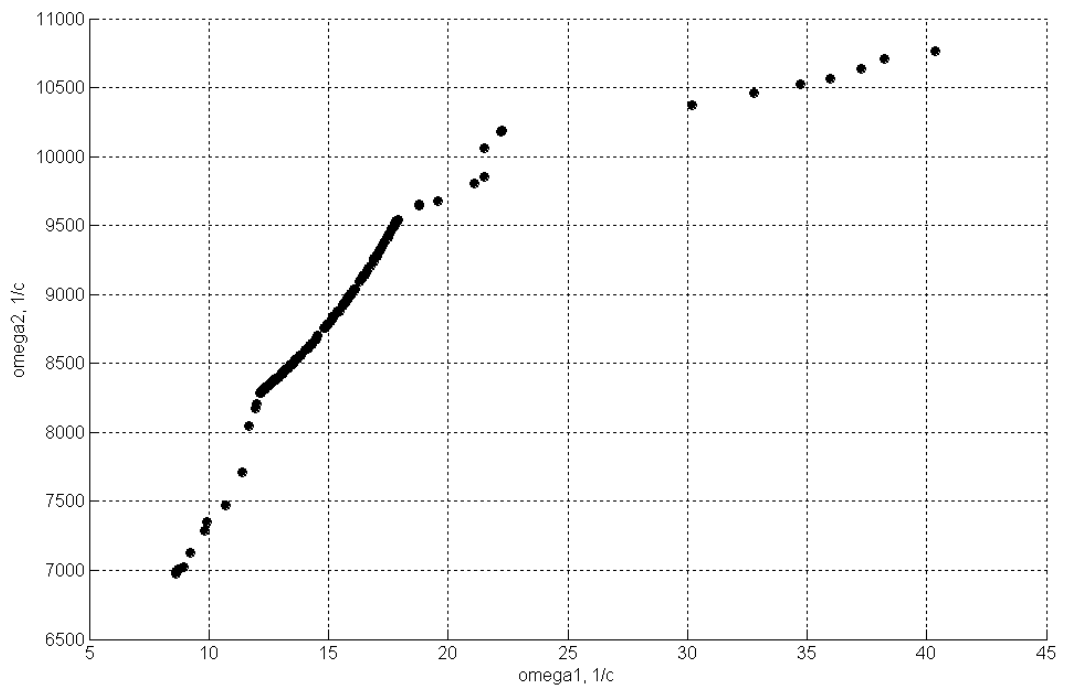


Рис. 3. Фронт Парето при оптимізації 7-шарового стержня за критеріями мінімальної першої і максимальної другої частоти

3. Багатошаровий стержень з максимальним декрементом, максимальною першою частотою і мінімальною масою.

Критерій оптимальності приймали у вигляді

$$\Phi(x) = [-dekr1, -om1, mass] \rightarrow \min .$$

Результати розрахунку показано на рисунку 4 для трьохкритеріальної задачі точки фронту Парето розташовані на деякій площині.

При максимальному декременті $dekr = 0,2194$, першій частоті $om1 = 65,0959$ 1/c і масі $mass = 65,2997$ кг вектор проектних параметрів є таким:

$$x = [0,9000 \quad 0,8945 \quad 0,8772 \quad 0,1000 \quad 0,8146 \quad 0,6769 \quad 0,9000 \\ 1,5708 \quad 1,5708 \quad 1,5708 \quad 1,5708 \quad 0,0475 \quad 0 \quad 0,0718 \\ 0,0041 \quad 0,0048 \quad 0,0038 \quad 0,0011 \quad 0,0050 \quad 0,0039 \quad 0,0045].$$

При максимальній першій частоті $om1 = 163,6266$ 1/c, декременті $dekr = 0,0147$ і масі $mass = 91,2645$ кг вектор проектних параметрів є таким:

$$x = [0,8969 \quad 0,9000 \quad 0,9000 \quad 0,6797 \quad 0,9000 \quad 0,8841 \quad 0,9000 \\ 0 \quad 1,5006 \quad 0 \quad 0 \quad 1,5667 \quad 0,4314 \quad 0,0496 \\ 0,0050 \quad 0,0050 \quad 0,0046 \quad 0,0028 \quad 0,0050 \quad 0,0046 \quad 0,0050].$$

При мінімальній масі $mass = 29,5191$ кг, першій частоті $om1 = 56,1504$ 1/c і декременті $dekr = 0,0074$ вектор проектних параметрів є таким:

$$x = [0,8984 \quad 0,8643 \quad 0,9000 \quad 0,8692 \quad 0,8794 \quad 0,1000 \quad 0,9000 \\ 0 \quad 0,2765 \quad 1,5708 \quad 0 \quad 1,5708 \quad 0,1662 \quad 0,0801 \\ 0,0015 \quad 0,0021 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0027].$$

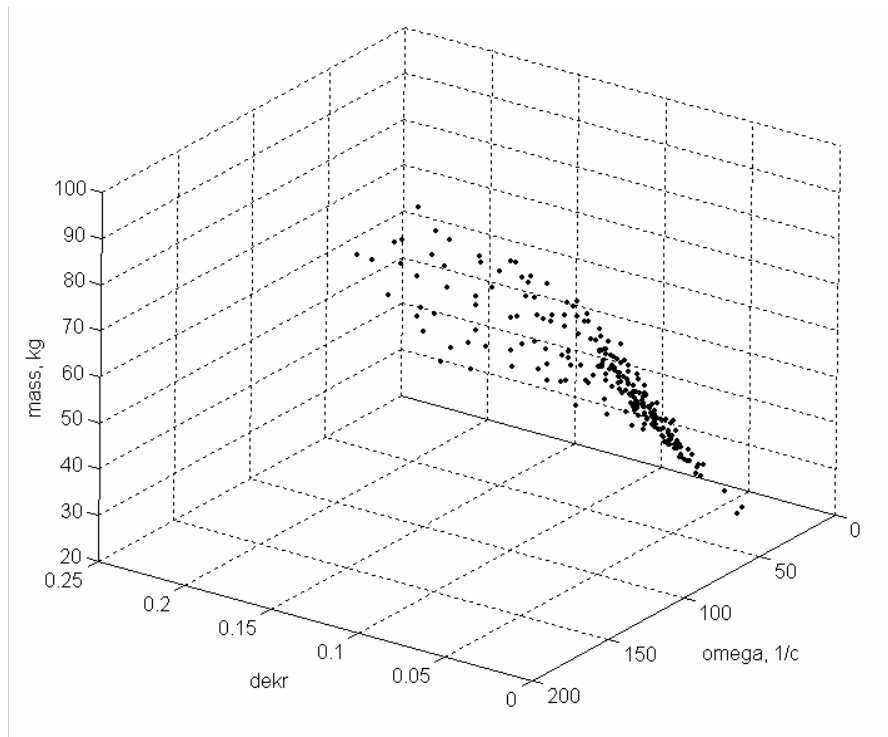


Рис. 4. Фронт Парето при оптимізації 7-шарового стержня за критеріями максимального декременту коливань, максимальної частоти і мінімальної маси

4. Багатошаровий стержень з максимальним декрементом, максимальною швидкістю затухання коливань і мінімальною масою.

Критерій оптимальності приймали у вигляді

$$\Phi(x) = [-dekr1, -dekr1 \cdot om1, mass] \rightarrow \min .$$

Результати розрахунку показано на рисунку 5.

При максимальному декременті $dekr = 0,3049$, швидкості затухання $dekr \cdot om1 = 7,1286$ і масі $mass = 64,9725$ кг вектор проектних параметрів є таким:

$$x = [0,6385 \quad 0,2078 \quad 0,3101 \quad 0,6722 \quad 0,7980 \quad 0,9000 \quad 0,4528 \\ 1,5685 \quad 1,5708 \quad 1,5708 \quad 1,4666 \quad 1,5708 \quad 1,5516 \quad 1,5708 \\ 0,0047 \quad 0,0011 \quad 0,0050 \quad 0,0050 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0050].$$

При максимальній швидкості затухання коливань $dekr1 \cdot om1 = 16,7840$, декременті $dekr1 = 0,2840$ і масі $mass = 86,9889$ кг вектор проектних параметрів є таким:

$$x = [0,9000 \quad 0,9000 \quad 0,1139 \quad 0,9000 \quad 0,9000 \quad 0,9000 \quad 0,8984 \\ 1,5708 \quad 1,5708 \quad 1,5708 \quad 1,3552 \quad 1,2629 \quad 1,4419 \quad 1,5708 \\ 0,0038 \quad 0,0050 \quad 0,0028 \quad 0,0050 \quad 0,0039 \quad 0,0050 \quad 0,0050].$$

При мінімальній масі $mass = 24,5517$ кг, швидкості затухання $dekr1 \cdot om1 = 4,0745$ і декременті $dekr = 0,2923$ вектор проектних параметрів є таким:

$$x = [0,8390 \quad 0,7618 \quad 0,1000 \quad 0,5833 \quad 0,9000 \quad 0,1020 \quad 0,9000 \\ 1,4993 \quad 1,5488 \quad 1,5416 \quad 1,5133 \quad 1,5708 \quad 1,4430 \quad 1,4782 \\ 0,0010 \quad 0,0014 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0010 \quad 0,0022].$$

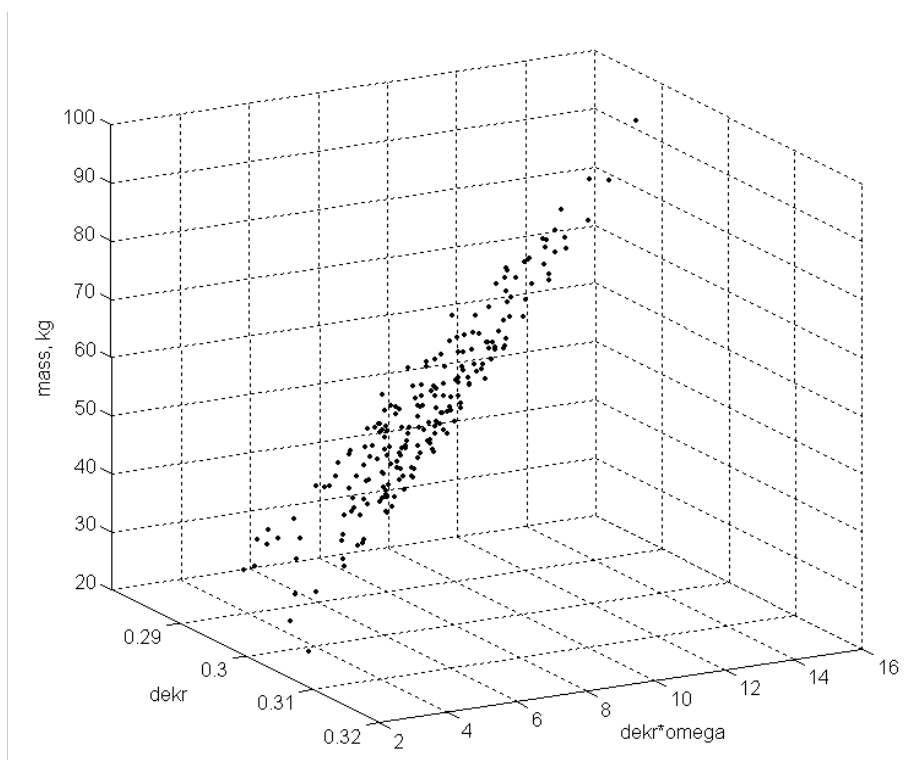


Рис. 5. Фронт Парето при оптимізації 7-шарового стержня за критеріями максимального декремента, максимальної швидкості затухання коливань і мінімальної маси

Як видно з наведених рисунків 2-5, розроблена методика оптимізації дозволяє отримувати множину непокреслених розв'язків (точок Парето) і відповідний фронт Парето в задачах оптимального проектування багат шарових конструкцій з в'язкопружних матеріалів при великій кількості параметрів проектування. Для вибору єдиного оптимального проекту з множини розв'язків Парето необхідно вибрати варіант, прийнятний для проектувальника або особи, що приймає рішення (ОПР) [10]. З метою зменшення суб'єктивного чинника при виборі найбільш прийняттого варіанта запропоновано ряд методів, зокрема методів, які ґрунтуються на приведенні задачі багатокритеріальної оптимізації до задачі однокритеріальної оптимізації [11]. Отримувані при цьому проекти, як правило, можна поліпшити за одним або декількома окремими критеріями, тобто, власне кажучи, вони не є оптимальними. У зв'язку з цим для вибору прийняттого оптимального проекту доцільно спочатку визначити множину точок Парето і вже потім, при необхідності, використовувати формалізовані процедури вибору.

Висновки. У цій роботі представлено комплексну методику багатокритеріальної оптимізації стержня з в'язкопружних композиційних матеріалів, яка базується на методі визначення ефективних властивостей армованого матеріалу, скінченно-елементному моделюванні багат шарових конструкцій у просторі перетворень Фур'є і еволюційних методах оптимізації. Представлені ілюстрації методики оптимального проектування за допомогою генетичних алгоритмів показують, що ця методика дозволяє одержати конструкцію з оптимальними або заданими параметрами і може використовуватися для проектування композитних конструкцій з великою кількістю проектних параметрів.

Список використаних джерел

1. Гладков Л. А. Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик; под ред. В. М. Курейчика. – 2-е изд., исправл. и дополн. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.
2. Liu G. P., Yang J B., Whidborne J. F. Multiobjective Optimization and Control / Research Studies Press LTD. – 2003. – 320 p.

3. Савченко О. В. Метод пошуку глобального екстремуму в задачах оптимізації конструкцій з композиційних матеріалів / О. В. Савченко, І. О. Савченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2009. – № 36. – С. 72-81.
4. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости / Р. Кристенсен; пер. с англ. М. И. Рейтмана. – М.: Мир, 1974. – 338 с.
5. Сорокин Е. С. Об учете упругих несовершенств материалов методами теории наследственной упругости / Е. С. Сорокин, Г. Н. Муравский // Строительная механика и расчет сооружений. – 1975. – № 4. – С. 52-58.
6. Дубенец В. Г. Колебания демпфированных композитных конструкций / В. Г. Дубенец, В. В. Хильчевский. – К.: Вища школа, 1995. – 226 с.
7. Савченко Е. В. Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций: монография / Е. В. Савченко. – Нежин: Аспект-Полиграф, 2006. – 232 с.
8. Дубенец В. Г. Моделирование несовершенно-упругих свойств композитных материалов // Проблемы прочности. – 1988. – № 12. – С. 81-86.
9. Luke S. Essentials of Metaheuristics [online resource] // Online Version 1,2. – July, 2011. – <http://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/Essentials.pdf>.
10. Лотов А. В. Многокритериальные задачи принятия решений / А. В. Лотов, И. И. Поспелова. – М.: МГУ, 2008. – 197 с.
11. Карпенко А. П. Методы оптимизации. Базовый курс [Электронный ресурс] / А. П. Карпенко. – Режим доступа: <http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=МО/base.cou>.

УДК 677.055

С.А. Плешко, аспірант

Б.Ф. Піпа, д-р техн. наук

А.І. Марченко, канд. техн. наук

Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна

ЭФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРУЖНИХ КЛИНІВ В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН

Представлено результати досліджень впливу конструкції клина в'язальної машини на динамічні навантаження, що виникають у зоні взаємодії голки з клином. Запропоновано конструкцію пружного клина, здатної ефективно знизити динамічні навантаження в механізмі в'язання в'язальної машини.

Представлены результаты исследований влияния конструкции клина вязальной машины на динамические нагрузки, возникающие в зоне взаимодействия иглы с клином. Предложено конструкцию упругого клина, способного эффективно снизить динамические нагрузки в механизме вязания вязальной машины.

The results of researches of influence of design of a wedge of knitting machine on dynamic loadings arising in a zone of interaction of a needle with a wedge are submitted. It is offered a design of an elastic wedge capable effectively to lower dynamic loadings in the mechanism of knitting of knitting machine.

Постановка проблеми. Зниження динамічних навантажень, що виникають у зоні ударної взаємодії голок в'язальної машини з клином, є однією з актуальних проблем трикотажного машинобудування [1; 2]. Одним із перспективних напрямків її вирішення є заміна традиційних клинів з жорсткою робочою поверхнею (жорсткі клини) клинами, що містять пружну робочу поверхню (пружні клини) [3-6]. Оцінка доцільності та ефективності використання таких клинів є невід'ємною частиною розробки нових конструкцій пружних клинів.

Аналіз досліджень і публікацій. Численні теоретичні та експериментальні дослідження [3-5], проведені проф. В.М. Гарбаруком, О.М. Хомяком та ін., показують, що зниження динамічних навантажень у механізмах в'язання в'язальних машин може бути досягнуто шляхом використання клинів з пружними робочими поверхнями (поверхня, що взаємодіє з п'ятками голок). У роботі [6] пропонується ряд конструкцій пружних клинів, здатних підвищити ефективність роботи в'язальних машин. Проте, незважаючи на накопичений досвід у практиці досліджень по удосконаленню конструкцій клинів в'язальних машин, вирішення проблеми зниження динамічних навантажень у в'язальних системах шляхом удосконалення клинів все ще залишається актуальною.