

ефіцієнта опору) від геометрії внутрішньої поверхні інструменту і продуктивності. Визначена робоча характеристика екструдера.

Запропонований новий профіль конусної частини інструменту, яка значно зменшує перепади параметрів формування на виході із фільтери.

Список використаних джерел

1. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров / Р. В. Торнер. – М.: Химия, 1977. – 462 с.
2. Шенкель Г. П. Шнековые прессы для пластмасс / Г. П. Шенкель. – Л.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1962. – 358 с.

УДК 539.3:534.1

О.В. Савченко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОБОЛОНОК ДЛЯ РОБОТИ У ЗАДАНОМУ ЧАСТОТНОМУ ДІАПАЗОНІ

Пропонується метод мінімізації амплітуд резонансних коливань композитних конструкцій у заданому частотному діапазоні. Наведено приклад оптимального проектування багатошарових пологих оболонок, працюючих у вибраному діапазоні частот.

Вступ

Характерним для більшості робіт, присвячених проблемі демпфірування коливань у конструкціях, є аналіз одночастотних режимів коливань. Відповідно і пошук оптимальних проектів конструкцій з високим демпфіруванням проводився для одночастотних коливань. В основному, це пов'язано з тим, що основну небезпеку становлять саме одночастотні режими при резонансних коливаннях, для характеристики яких можна застосувати такий параметр, як декремент коливань. Разом із тим очевидно, що проекти, оптимальні для однієї форми коливань, можуть не бути оптимальними для іншої форми, тобто, зменшуючи амплітуду коливань на одній частоті, можна збільшити амплітуду на іншій частоті.

У зв'язку з цим актуальною є розробка методики демпфірування коливань у заданому частотному діапазоні. Така необхідність виникає при багаточастотному і випадковому характері зовнішніх збуджень, тобто при дії збуджень з широким спектром частот. Очевидно, при цьому існує вірогідність потрапляння конструкції у резонансний режим на різних частотах.

Таким чином, задача мінімізації амплітуд коливань у заданому частотному діапазоні виникає при дії навантажень із широким спектром частот, зокрема полігармонічних, імпульсних і випадкових навантажень [1].

Метод, який пропонується у цій роботі, узагальнює запропоновані у наших роботах [1; 2] методи оптимального проектування композитних конструкцій з високими демпфіруючими властивостями на випадок дії навантажень із широким спектром частот.

Математична модель оболонки і побудова цільової функції для параметричної оптимізації

Розглядається багатошарова полого оболонка з шарами в'язкопружного матеріалу, армованого волокнами теж в'язкопружного матеріалу з іншими механічними характеристиками. Для побудови математичної моделі оболонки використовується напіваналітичний метод скінченних елементів у варіанті методу переміщень, згідно з яким на першому етапі розглядається моношар оболонки, після чого проводиться синтез багатошарової оболонки відповідно до умов з'єднання шарів.

Для побудови скінченно-елементної моделі моношару використовується апроксимація переміщень по товщині у вигляді поліномів Лагранжа, а у двох інших напрямках (осі x , y) – у вигляді ортогональних рядів Фур'є.

Для врахування в'язкопружних властивостей матеріалів використовується перехід до простору інтегральних перетворень Фур'є.

Відповідне розрахункове рівняння динаміки оболонки у частотному просторі одержано у вигляді:

$$Z(i\omega)q = F(i\omega), \quad (1)$$

де $Z(i\omega) = K(i\omega) + (i\omega)^2 M$ – матриця динамічної жорсткості; $F(i\omega)$ – інтегральне перетворення Фур'є зовнішнього навантаження; q – переміщення узагальнених координат конструкції; $K(i\omega)$ – матриця жорсткості шару, яка залежить від комплексних модулів матеріалів і структури армованого матеріалу; M – матриця мас; ω – частота коливань; $i \equiv \sqrt{-1}$.

Рівняння (1) можна використати для аналізу вимушених коливань, для чого необхідно одержати розв'язок

$$q = Z(i\omega)^{-1} \cdot F(i\omega), \quad (2)$$

а також аналізу вільних коливань (форм, частот, декрементів коливань) шляхом розв'язання рівняння

$$|Z(i\omega)| = 0. \quad (3)$$

Ефективність використання частотного методу скінчених елементів для розв'язання задач динаміки показано у [1; 2].

У цій роботі рівняння (1) використовується для побудови амплітудно-частотного спектра коливань оболонки.

Для одержання спектральних характеристик, які визначають переміщення вузлів конструкції (компонент вектора q), знайдемо розв'язки для вектора q у заданому частотному діапазоні при навантаженні на задану координату у вигляді δ -імпульсу (у просторі перетворень Фур'є δ -функція буде одиницею):

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1N} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{i1} & q_{i2} & \dots & q_{iN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nN} \end{bmatrix}.$$

В одержаній таким чином матриці переміщень кожний рядок дає залежність переміщення по i -й координаті від частоти. Відповідна амплітудно-частотна характеристика визначається як залежність абсолютних значень комплексних амплітуд від частоти.

Задача мінімізації амплітуд коливань i -ї узагальненої координати у заданому частотному діапазоні формулюється так:

$$\text{Мінімізувати } \max(|q_{i,k}|), \quad (k = 1, 2, \dots, N)$$

$$\text{при обмеженнях } x_{\min} \leq x \leq x_{\max}, \quad G(x) \leq 0,$$

де $|q_{i,k}|$ – амплітуди коливань i -го узагальненого переміщення (елемент i -го рядка матриці Q); x – вектор проектних змінних; $G(x)$ – функція неявних обмежень; x_{\min} , x_{\max} – граничні значення параметрів проекту.

Перевагами такої постановки задачі оптимізації є можливість забезпечення необхідного демпфірування у заданому частотному діапазоні, достатньо простий спосіб об-

числення критерію оптимізації, який полягає у визначенні максимальної компоненти відповідного рядка матриці Q , можливість контролю амплітуд коливань у напрямку всіх узагальнених переміщень. В останньому випадку критерієм оптимізації буде максимальне значення компонент матриці Q .

Метод оптимізації

При проектуванні конструкції для роботи в умовах динамічних навантажень постає задача вибору конструктивних параметрів, які забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики. Для розв'язання цієї задачі у більшості випадків використовують алгоритми теорії нелінійного програмування (ТНП). З ускладненням конструкцій і появою нових матеріалів класичні алгоритми ТНП виявилися неефективними у зв'язку з суттєвим збільшенням кількості проектних параметрів, ускладненням обмежень і критеріїв оптимізації, які у більшості випадків визначаються програмними засобами. Суттєвим недоліком класичних градієнтних алгоритмів ТНП є складність визначення похідних цільових функцій і обмежень, а також принципова налаштованість на визначення тільки локальних екстремумів. Саме ці особливості заважали і продовжують заважати широкому впровадженню класичних алгоритмів ТНП у практику проектування оптимальних конструкцій.

У зв'язку з цим останніми роками активно розвиваються пошукові методи, які використовують принципи біології і генетики. У першу чергу, це генетичні алгоритми [3], основна ідея яких полягає у створенні популяції індивідів, кожен з яких має вигляд хромосоми, що складається з генів, які представляють набір спадкових ознак – проектних параметрів. Кращий з індивідів вибирається у процесі еволюційного пошуку відповідно до прийнятої функції пристосованості. Процес еволюційного пошуку реалізується з використанням операторів, аналогічних біологічним процесам схрещування, мутації, інверсії. Популяція оновлюється з кожним поколінням за рахунок генерації нових індивідів і видалення старих, у результаті кожна нова популяція виявляється кращою з точки зору відповідності вимогам функції пристосованості (цільової функції).

У процесі розвитку генетичних (еволюційних) алгоритмів з'явилися обґрунтування доцільності використання двійкового алфавіту для кодування хромосоми і відповідні численні реалізації методу, які використовували попереднє кодування і двійкові хромосоми [3]. Однак, як виявилось, двійкове кодування має суттєві недоліки при пошуку у неперервних просторах із необхідною точністю, що характерно саме для задач оптимізації конструкцій. У зв'язку з цим для оптимізації у неперервних просторах останнім часом використовуються алгоритми, побудовані на використанні хромосом у вигляді набору дійсних чисел. Такі алгоритми одержали назву неперервних генетичних алгоритмів RGA (real-coded GA) на відміну від двійкових BGA (binary-coded GA) [4].

У цій роботі використовується алгоритм RGA, особливості якого описуються в [5]. Блок-схеми алгоритмів для оптимізації з обмеженнями на параметри оптимізації і з обмеженнями на змінні стану наведено на рис. 1, 2.

Приклади розрахунку оптимальних параметрів багатошарової оболонки

Розглядається оболонка з 15-ма шарами армованих матеріалів з такими параметрами:

– габаритні розміри оболонки 4×4 м;

– кривизни $k_1 = 0.001$ 1/м, $k_2 = 0.001$ 1/м;

– комплексні модулі армуючого матеріалу: об'ємний модуль

$$K_1 = 4 \cdot 10^{11} + 4 \cdot 10^8 i \text{ Па}, \text{ модуль зсуву } G_1 = 0,8 \cdot 10^{11} + 0,8 \cdot 10^8 i \text{ Па};$$

– комплексні модулі матеріалу основи відповідно $K_2 = 4 \cdot 10^9 + 4 \cdot 10^8 i \text{ Па},$
 $G_2 = 0,8 \cdot 10^9 + 0,8 \cdot 10^8 i \text{ Па};$

- густина армуючого матеріалу $\rho_1 = 2,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;
- густина матеріалу основи $\rho_2 = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

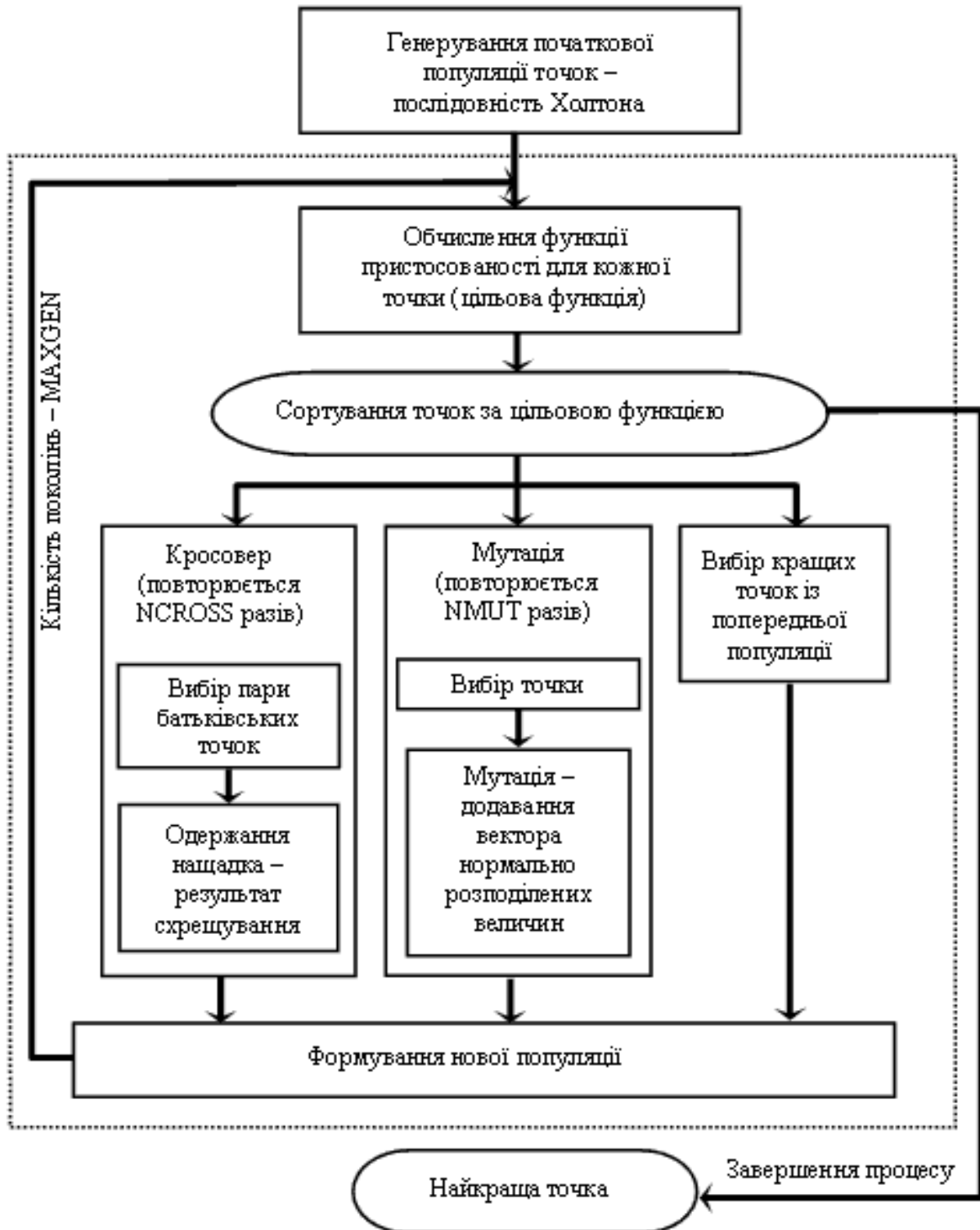


Рис. 1. Алгоритм оптимізації з обмеженнями на параметри проектування

2. Оптимальний проект оболонки з обмеженнями на проектні параметри і змінні стану.

Визначаються параметри оболонки з обмеженнями на масу $m \leq 20 \text{ кг/м}^2$, які забезпечують мінімальне значення максимальної амплітуди коливань оболонки у діапазоні частот 10-120 рад/с , який охоплює перші чотири форми коливань.

Для даної задачі використовується генетичний метод з обмеженнями на змінні стану (рис. 2). Звернення до програми оптимізації у системі Matlab при тих же обмеженнях на проектні параметри, що і в попередній задачі, має вигляд:

`genetic_cond(@AmplOptShell15_2forms, { @DekrOptShell15_2_condmas }, lb, ub).`

Оптимальну амплітудно-частотну характеристику наведено на рис. 4.

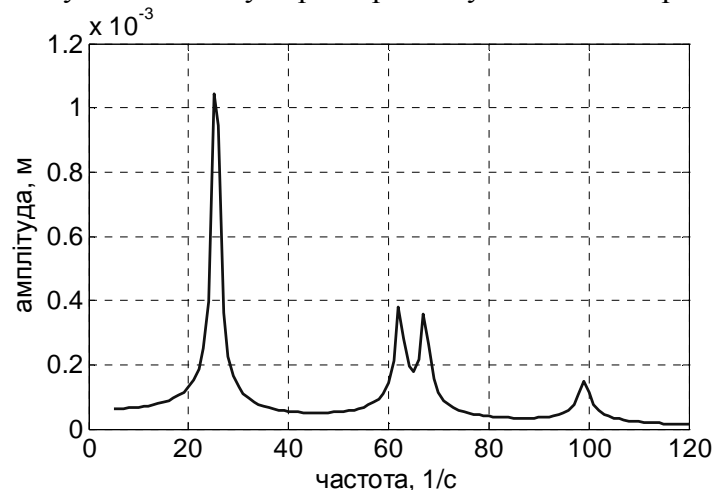


Рис. 4. Амплітудно-частотна характеристика при обмеженнях на масу

Як видно, з урахуванням обмежень на масу максимальна амплітуда трохи більша, ніж для оболонки без обмежень, але набагато менша, ніж для оболонок з початковими параметрами ($x = lb$ і $x = ub$).

Висновки

За допомогою запропонованої методики оптимізації за критерієм мінімальної амплітуди коливань можна визначити оптимальні параметри композитних конструкцій з урахуванням в'язкопружних властивостей матеріалів і суттєво зменшити амплітуди резонансних коливань. Метод оптимізації у заданому частотному діапазоні дозволяє одержати оптимальні параметри конструкції без використання такої характеристики демпфірування, як декремент коливань, який пов'язаний з конкретною формою коливань, що у деяких випадках вважається за краще.

Список використаних джерел

1. Савченко Е. В. Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций: монография / Е. В. Савченко. – Нежин: Аспект-Поліграф, 2006. – 232 с.
2. Дубенец В. Г. Колебания демпфированных композитных конструкций / В. Г. Дубенец, В. В. Хильчевский. – Київ: Вища школа, 1995. – Т. 1. – 226 с.
3. Гладков Л. А. Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик; под ред. В. М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.
4. Liu G P, Yang J B, Whidborne J.F. Multiobjektive Optimization and Control / Research Studies Press LTD. – 2003. – 320 p.
5. 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, 2008. – № 36. – С. 72-81.