виробничих систем, так як тільки вони оптимально перебудовуються під необхідний виробничий процес, побудова додаткових ліній і транспортних модулів. Великий масив роботи з перебудовою системи управління системою для взаємодії з ядром оцінювання роботи в реальному часі. Важкість побудови самого ядра, яке здатне виконати функції децентралізації гнучкої системи та виконати взаємодію з системою планування.

Оптимальним рішенням багатьох з отриманих проблем, це першочерговий розрахунок задач планування виробничого процесу, далі побудова відповідної розширеної гнучкої виробничої лінії і відповідно до неї розробка ядра обробки і виконання розподіленого виконання технологічних процесів і в якості обгортки оптимізація під ядро існуючої ERP системи.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ ISO/IEC 9126-93. «Інформаційна технологія. Оцінка програмної продукції. Характеристики якості і керівництва щодо їх застосування». – Державний стандарт РФ. – М.: Держстандарт України, 1994. – 12 с.

2. Рад Б.Я. «Автоматизоване управління сучасним підприємством» / Б.Я. Рад, В.В. Цеханська – Л.: Машинобудування, 1988. – 168 с.

3. «Вибір ПЗ для автоматизації управління» – Філіпенко Ігор – «Корпоративні системи» (№ 3, 2001).

Трубачев С.І.

кандидат технічних наук, доцент;

Колодежний В.А.

старший викладач,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДИНАМІКА СТРИЖНІВ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

У процесі роботи стрижні зазнають значний вплив вібраційних навантажень, тому дослідження динаміки стрижнів як постійного, так і змінного перерізу є актуальним завданням. У зв'язку з різними умовами закріплення стрижнів велике значення має чисельний аналіз коливань зазначених конструкцій.

При розрахунку динамічних характеристик основні труднощі полягають у визначенні спектра власних частот і форм коливань механічної системи [1] й, у загальному випадку, розрахунок зводиться до відомої узагальненої задачі на власні значення:

$$(Ku, v) = \omega^2 (Mu, v), \forall v \in V, \tag{1}$$

де V – множина допустимих функцій, (Ku, v), (Mu, v) – сімейство симетричних білінійних безперервних форм, що відповідають амплітудним значенням потенціальної і кінетичної енергії системи, K – матриця жорсткостей, M – матриця мас. Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що аналітичними методами в основному досліджувалися стрижні з постійним поперечним перерізом [2, 3].

Метою роботи є розробка методики визначення власних форм і частот коливань стрижнів як з постійним, так і зі змінним перерізом, що дуже важливо для авіаційних конструкцій. При розв'язку задачі чисельними методами нескінченномірний простір допустимих функцій V заміняється скінченномірним V_h шляхом дискретизації системи. При цьому задача (1) заміняється наближеною: для заданого скінченномірного простору V_h необхідно знайти такі значення ω, u_h, що

$$\left(Ku_h, v_h\right) = \omega^2\left(Mu_h, v_h\right),\ \forall v_h \in V_h. \quad (2)$$

При розв'язку прикладних задач для стрижневих систем найбільший інтерес представляє декілька найменших власних частот і відповідних їм форм коливань. Таким чином, приходимо до неповної задачі на власні значення. Оскільки ця задача є нелінійною, то доцільно використовувати чисельні методи.

При поздовжніх коливаннях стрижня сили спрямовані уздовж прямолінійної осі, а напруження і деформації розподілені по площі перерізу рівномірно. Амплітудні значення потенціальної і кінетичної енергії стрижня мають вигляд

$$\varPi = \frac{1}{2}\int_0^l EI\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}x}\right)^2 \mathrm{d}x, \quad T = \frac{1}{2}\omega^2\int_0^l \rho F u^2 \mathrm{d}x, \quad (3)$$

тут E – модуль Юнга, F – площа поперечного перерізу, ρ – щільність матеріалу, l – довжина стрижня.

Поздовжні переміщення апроксимуються лінійним поліномом:

$$u(x) = u_i + \frac{u_j - u_i}{l}x, \quad (4)$$

де u_i, u_j – переміщення *i-го* й *j-го* вузлів.

У випадку згинальних коливань стрижня амплітудні значення потенціальної і кінетичної енергії мають вигляд

$$\varPi = \frac{1}{2}\int_0^l EI\left(\frac{\mathrm{d}^2 w}{\mathrm{d}x^2}\right)^2 \mathrm{d}x, \quad T = \frac{1}{2}\omega^2\int_0^l \rho F w^2 \mathrm{d}x. \quad (5)$$

У цьому випадку для апроксимації переміщень використовуємо поліном 3-го порядку:

$$w(x) = \frac{w_i}{l^3}\left(2x^3 - 3x^2 l + l^3\right) + \frac{w_j}{l^3}\left(3x^2 l - 2x^3\right) + \varphi_i \frac{1}{l^2}\left(xl^2 - 2x^2 l + x^3\right) + \varphi_j \frac{1}{l^3}\left(x^3 - x^2 l\right). \quad (6)$$

Для розв'язку задачі (2) використовувався ітераційний метод покоординатного спуску, застосування якого дозволяє уникати труднощів, пов'язаних з формуванням, зберіганням і оперуванням з матрицями мас і жорсткостей [1].

При поздовжніх коливаннях стрижня у формі клина або конуса першу власну форму коливань системи можна представити рівнянням:

$$u_1(x_1)=\left(1-\frac{x_1^2}{l^2}\right),\ EFu_1'(0)=u_1(l)=0. \qquad (7)$$

Фізико-геометричні характеристики стрижнів змінюються за біноміальними законами [5]:

$$EF_1(x_1)=A(l_1\pm x_1)^m,\ \rho F(x_1)=B(l_1\pm x_1)^n,\ A=EF_1l_1^{-m},\ B=\rho F_1l_1^{-n}, \qquad (8)$$

де конусність і приведена довжина відповідно рівні [4]:

$$\lambda_1=\frac{r_2}{r_1}>1,\ l_1=l(\lambda_1-1).$$

Для визначення основної власної частоти використовується формула Релея:

$$\omega_0^2=\frac{\int_0^l EF(u')^2\,\mathrm{d}x}{\int_0^l \rho Fu^2\mathrm{d}x}. \qquad (9)$$

Підставляючи (7), (8) в (9), одержимо відповідно при $n=1$ для клина і при $n=2$ для конуса:

$$\omega_1^2=k_1^2\frac{E}{\rho}, \qquad (10)$$

де характеристичні числа рівні:

$$k_1^2=\frac{10(4l_1+3l)}{(5l_1+16l)l^2},\ n=1;$$

$$k_1^2=\frac{7\left(20l_1^2+30l_1l+12l^2\right)}{\left(8l^2+35l_1l+56l_1^2\right)l^2},\ n=2. \qquad (11)$$

Запропонована методика визначення динамічних характеристик стрижнів змінного перерізу. Отримані вирази для визначення основних власних частот при поздовжніх і згинальних коливаннях стрижнів змінного перерізу. Досліджений вплив конусності на значення власних частот, що дає можливість проектувати стрижневі конструкції із заданими динамічними характеристиками. Розроблений підхід дозволить визначити динамічні характеристики стрижнів різного перерізу й може бути запропонований для інженерів-проектувальників конструкцій.

Список використаних джерел:

1. Бабенко А. Є. Застосування й розвиток методу покоординатного спуску в задачах визначення напружено-деформованого стану при статичних та вібраційних навантаженнях / А. Є. Бабенко. – К.: КПІ, 1996. – 96 с.

2. Колодежний В. А. Збірник конкурсних задач з опору матеріалів: навч. посіб. / О. П. Заховайко, В. А. Колодежний, С. І. Трубачев. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 320 с.

3. Трубачев С. І. Теорія коливань та стійкості руху: навч. посіб. / А. Є. Бабенко, М. І. Бобир, О. О. Боронко, С. І. Трубачев. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 172 с.

4. Динник А. Н. Избранные труды / А. Н. Динник. – К.: изд-во АН УРСР, 1965. – 719 с.