

вати від них найбільш вірогідну та забезпечену від можливої втрати частини датчиків інформацію. Подальше дослідження інформації здійснюється шляхом використання багатовимірною узагальнення сингулярного спектрального аналізу (метод МССА) [3]. Серед іншого, використання такого методу дозволяє «продовжувати» ряд спостережень, тобто прогнозувати подальшу інформацію від системи, зокрема, запобігати виникненню аварійних ситуацій.

Головною метою використання вказаного методу є виділення трендів (у першу чергу, лінійних або експонентних), періодичних компонент та шумів. Важливо, що при цьому не є необхідною інформація про параметричний вигляд тренду, існування та періодичність коливальних компонент. Зазначимо, що теоретичні дослідження системи, як правило, дозволяють визначити як «природні» (робочі) частоти коливань, так і «критичні» (пов'язані з відхиленням від нормальних режимів функціонування). Виявлення останніх є обов'язковим завданням для задіяних систем оброблення інформації.

Література

1. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П. Г. Белов // Академия. – М., 2003. – С. 150–157.
2. Математический метод и алгоритм сжатия многомерных временных рядов / С. Г. Катаев, М. Ю. Катаев // Доклады ТУСУР. – 2012. – 1 (25). – ч. 2. – С. 208–212.
3. Варианты метода «гусеница»-SSA для прогноза многомерных временных рядов / Д. В. Степанов, Н. Э. Голяндина // Труды IV Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления». – М., 2005. – С. 1831–1847.
4. Innovative Forms of Production Organisation in the Context of High-tech Meso-economic Systems Sustainable Development / A. I. Shinkovich, A. A. Lubnina, N. M. Chikisheva... // International Review of Management and Marketing. – 2016. – 6 (52). – P. 219–224.
5. Latest Cluster System Technology / S. Egeta, I. Katte, E. Jinno // NEC Technical Journal. 2007. – Vol. 2, No. 1. – P. 30–33.

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ТОНКИХ СТРИЖНІВ НЕ ВТРАЧАТИ СТІЙКІСТЬ ЗА ЕЙЛЕРОМ

Горошко А. В., Ройзман В. П., Петраицук С. А., Хмельницький національний університет

Робота довгих стрижнів на критичних (за Ейлером) значеннях стискувальних сил призводить до негативних наслідків, у тому числі

до крупних аварій і катастроф. Авторами запропонований метод тимчасового перетворення критичних сил у некритичні за Ейлером для довгого тонкого пружного стрижня.

Відомо, що для першої критичної сили форма зігнутої осі містить одну півхвилю синусоїди, для другої критичної швидкості і другий критичної сили – дві напівхвилі синусоїди, тобто повну хвилю (синусоїду), для третьої - три напівхвилі синусоїди тощо. Отже, кожному значенню критичної сили відповідають свої ідентичні один одному форми втрати стійкості. Щоб не допустити на практиці прояву першої критичної сили необхідно проти середини довжини стрижня розмістити опору на відстані допустимого прогину стрижня. Тоді як тільки значення стискувальних сил наблизяться до критичних значень і прогини почнуть зростати, стрижень, втрачаючи стійкість, торкнеться опори у пучності синусоїди, тобто посередині довжини l ; ця довжина «розділється» на дві половини і тепер для нього критичною силою буде:

$$P_{\text{ед}2} = \frac{\pi^2}{(l/2)^2} EI_{i\bar{n}} = \frac{4\pi^2}{l^2} EI_{i\bar{n}}$$

і стрижень витримає зростання стискувальної сили до $P_{\text{кр}2}$.

Так само, щоб не допустити прояву другої критичної сили потрібно там, де повинні мати місце пучності при втраті стійкості, що відповідає значенням другої критичної сили розмістити опори з зазором, який дорівнює допустимому прогину. Тоді як тільки значення стискувальної сили наблизяться до другого критичного значення, стрижень, втрачаючи стійкість за другою формою згину, торкнеться опори і його довжина «розділиться» на три частини довжиною $l/3$ кожна і тепер для нього критичною силою буде $P_{\text{ед}3} = \frac{9\pi^2}{l^2} EI_{i\bar{n}}$, а стрижень витримає зростання критичної сили до $P_{\text{кр}3}$.

В цілому, ідея створення стрижня, що не має на практиці критичних сил, тобто такого, що не втрачає стійкість від поздовжньої стискувальної сили базується на автоматичній зміні жорсткості системи стрижень-опора, наприклад, зміні довжини стрижня між опорами при наближенні до значення критичних сил, а після проході - поверненні до попереднього значення, що дає можливість усунути втрату стійкості при зростанні стискувальної сили до максимально-допустимого значення, який визначається з умови міцності. При цьому для усунення критичних станів стрижня по одній, двом, трьом тощо власним формам втрати стійкості опори-обмежувачі прогину слід встановлювати у місцях максимальних прогинів (пучностей) відповідних форм.

Якщо необхідно усунути втрату стійкості по всіх критичних формах, то встановлюють одну опору-обмежувач прогину по всій довжині стрижня.

Для перевірки можливості практичної реалізації запропонованого методу були проведені випробування на спеціально розробленій імітаційній моделі. Для моделювання гнучкого стрижня як масивного тіла з розподіленою масою використовувалась система візуального програмування Simscape Multibody. Моделювався горизонтально розташований сталевий стрижень круглого перерізу з гнучкістю $\lambda = 100$ діаметром $D = 0,02$ м і довжиною $L = 1$ м. Під дією ваги стрижня його статичний прогин дорівнює $y_0 = 0,21$ мм. Метод закріплення – шарнірний (одна опора є шарнірно-нерухомою, інша – шарнірно-рухомою). Для моделювання гнучкого стрижня використовувався метод апроксимації гнучкого тіла фіксованим набором дискретних гнучких тіл з зосередженими параметрами.

Створена модель досліджувалась у діапазоні значень подовжньої стискувальної сили від $P = 0 \dots 70$ кН, щоб не перевищувати допустимих напружень виходячи з умови міцності. Експериментальне знайдене значення першої критичної сили склало $P_{кр1} = 14,7$ кН.

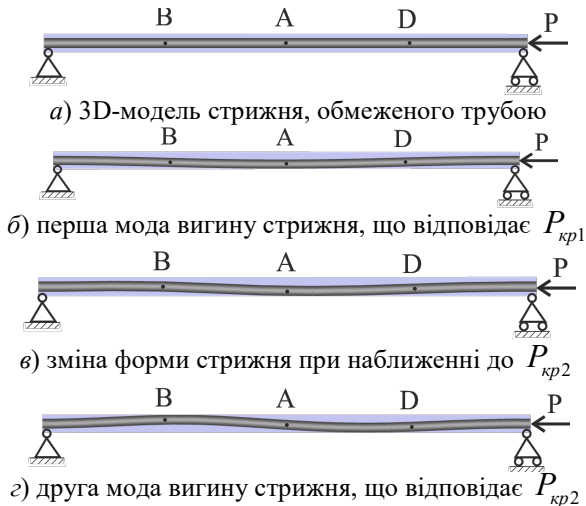


Рис. 1. 3D-модель стрижня і форми його вигину у трубі

На рис. 1, а показана перша форма вигину стрижня при досягненні $P_{кр1}$. Стрижень деформувался, його максимальний прогин був обмежений трубою і склав 8 мм, що є максимально допустимим прогином для досліджуваного стрижня. Отримавши третю опору у пере-

різі з т. *A*, подальша деформація перерізу стрижня у т. *A* стала неможливою. Сила реакції третьої опори у місці, де її торкнувся стрижень, була незначною $R_A = 1 \text{ кН}$.

Зростання осьового навантаження $P > P_{кр1}$ викликало деформації інших перерізів, хоча загалом стрижень залишався вигнутим за першою формою безпосередньо до $P_{кр2}$, що продемонстровано на рис. 1, в. Під час збільшення навантаження $P = P_{кр1} \dots P_{кр2}$ сила реакції третьої опори зменшувалась до 0: $R_A = R \dots 0$. При наближенні до $P_{кр2} = 57,2 \text{ кН}$ стрижень втратив першу форму згину і різко набув другої форми вигину, представлену на рис. 1, г. При цьому стрижень торкнувся обмежувачів у перерізах з т. *B* і *D* та отримав вже дві додаткових опори. Відповідні абсолютні значення сил реакції склали $R_B = R_D = 2 \text{ кН}$. Ці сили є максимальними у момент набуття форми і плавно зменшуються до нуля з подальшим зростанням осьового навантаження і деформації стрижня. Таким чином стрижень витримав значення другої критичної сили і почав далі опиратись повздовжній силі. На рис. 2 та 3 представлені залежності сил реакції і прогинів у характерних точках від величини прикладеного навантаження.

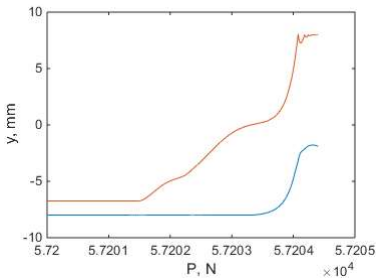


Рис. 2. Залежність прогину у т. *A* та *B* від прикладеного навантаження

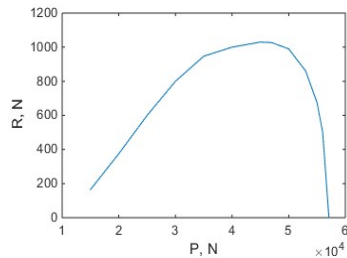


Рис. 3. Залежність сили реакції у місці контакту стрижня з обмежувачем (т. *A*) від навантаження

Моделювання поведінки стрижня при подальшому збільшенні навантаження не проводилось, оскільки призвело б до зростання напружень у матеріалі вище границі пропорційності.

Результати дослідження показали принципову можливість створення та практичного застосування конструкцій зі стрижнями, що не мають критичних сил за Ейлером і не втрачають стійкості. Загальна ідея створення конструкцій, які не мають станів байдужої рівноваги полягає в тому, що вони повинні мати можливість при наближенні до таких станів змінювати свої властивості (параметри), а після його проходження - повертатися до вихідних властивостей.