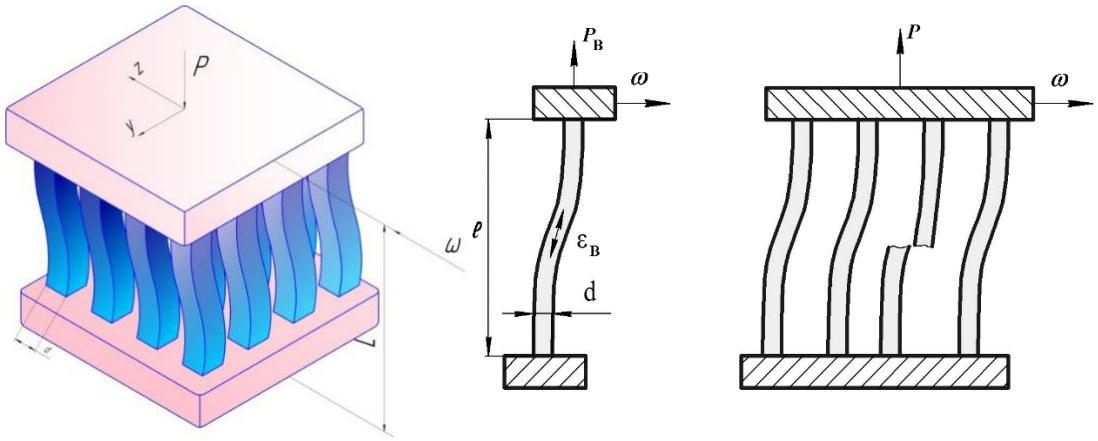
Хоменко А.С., магістрант
Космач О.П., канд. тех. наук
Чернігівський національний технологічний університет, toshaproxx@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У ВИПАДКУ СКЛАДНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

На сучасному етапі розвитку проектування машин, для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик, машинобудівна галузь має потребу в більш міцних та зносостійких матеріалах. Наразі, для вирішення даної задачі в різних галузях техніки, широкого застосування набувають композиційні матеріали (КМ). Дослідження міцності на стадії проектування, методи контролю та діагностики таких КМ в процесі експлуатації є різноманітними, та потребують окремої уваги. Одним з найперспективніших, та малодосліджених є метод акустичної емісії (АЕ). Суть даного методу полягає у дослідженні пружних зміщень, що виникають в КМ в процесі його руйнування. Проблема створення математичний моделей, які описують сигнали АЕ пов'язана з наявністю різноманітних концепцій руйнування суцільного та багатокомпонентного матеріалу, та різноманітних математичних апаратів, що описують кінетику руйнування матеріалу.

При дослідженні процесів руйнування КМ широке застосування знайшла волоконна модель матеріалу, згідно з якою матеріал представляється у вигляді пучка волокон (FBM – fiber bundle model) [1–4]. Дана модель описує руйнування КМ як послідовне руйнування волокон в пучку з подальшим перерозподілом напружень на волокна, що залишились незруйнованими в процесі навантаження (рис.1 а, б)



а) б)

Рис. 1 – Представлення однорідного композиційного матеріалу у вигляді сукупності волокон (а) та розрахункова схема навантаження одного волокна та групи волокон згідно моделі (б): P – поздовжня або розтягуюча сила; d – геометричні розміри одного елемента; l – відстань між закріпленими нерухомими блоками; ω – поперечне зусилля; L – загальна довжина одного волокна

Математична модель руйнування КМ враховує наступне:
- розрахункову схему (схему навантаження) дослідного зразка;
- форму поперечного перерізу волокон (прямокутна, кругла, шестикутна та ін.);
- механічні властивості волокон, та наповнювача;
- схильність КМ до пластичного та крихкого руйнування волокон та наповнювача;
- концентрацію волокон в структурі КМ;
- ймовірності руйнування від різного роду напружень.

Згідно розробленої моделі, залежність зміни напружень в часі, до початку руйнування описується рівнянням (1)

$$\sigma = (\varepsilon_0 + k \cdot t) \cdot (E_v \cdot (\frac{S_v \cdot N}{S_{vn}})) + (1 - (\frac{S_v \cdot N}{S_{vn}}) \cdot E_n) \cdot (1 - E_v \cdot S_v \cdot (\varepsilon_0 + k \cdot t)) \cdot (1 - \frac{E_v \cdot I_v \cdot \sqrt{60} \cdot \sqrt{(\varepsilon_0 + k \cdot t)}}{L}) \quad (1)$$

де, ε_0 – початкова осьова деформація системи,

k – коефіцієнт навантаження,

t –час,

E_v – модуль пружності волокна,

S_v – площа поперечного перерізу волокна,

N – початкова кількість волокон,

S_{vn} – загальна площа перерізу,

E_n – модуль пружності наповнювача,

I_v – момент інерції перерізу волокна,

L – довжина волокна

Кількість незруйнованих волоконN$_{int}$, в певний момент часу описує функція:

$$N_{\text{int}} = N \cdot e^{-V_0 \cdot \int_{t_0}^{t} e^{r \cdot (\sigma(t,k,\varepsilon_0,E_v,E_n,S_v,S_{vn},N,I_v,L) - \sigma(t_0,k,\varepsilon_0,E_v,E_n,S_v,S_{vn},N,I_v,L))} dt} \quad (2)$$

де t_0 – час початку руйнування;

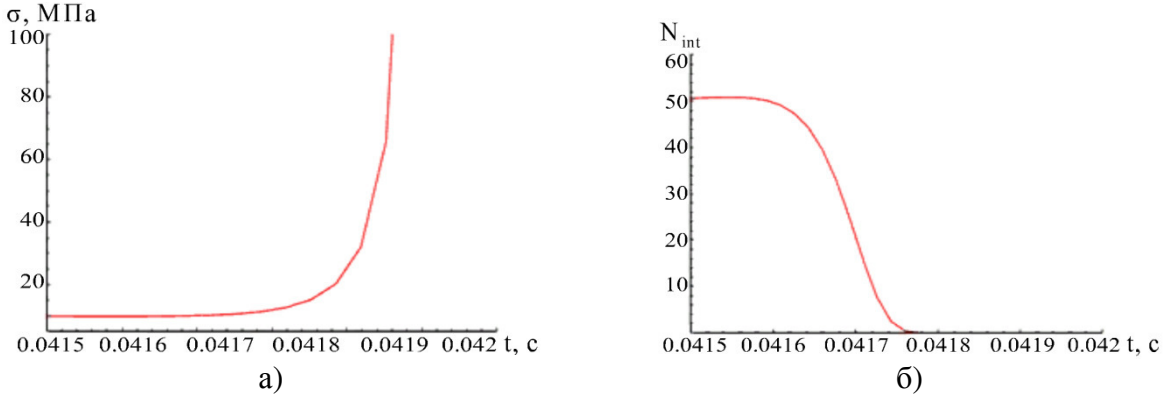
V_0 , та r – параметрі фізико-механічних властивостей КМ.

Напруження σ_{int}, що виникають в КМ в процесі його руйнування описується виразом:

$$\sigma_{\text{int}} = \frac{N}{N_{\text{int}}} \cdot \sigma_{adm} \quad (3)$$

де σ_{adm} – критичне напруження руйнування

Залежність кількості не зруйнованих елементів КМ (рис.2, б), а також зміна напружень в процесі руйнування (рис. 2, а) в часі проілюстровані для умовного матеріалу, який складається з 50 волокон. Параметри моделі відповідають схильності матеріалу до крихкого руйнування та має не високу нерівномірність фізико-механічних властивостей. Навантаження КМ було неперервним та лінійно зростаючим з визначеною постійною швидкістю.



а) б)

Рис. 2 – Закономірності руйнування волокон в часі, (а) закономірність зміни напружень в процесі руйнування, (б) – закономірність зміни кількості незруйнованих волокон.

Список посилань

1. Shcherbakov,On modeling of geophysical problems a dissertation for degree of doctor of philosophy/RobertShcherbakov. – Cornell university, 2002. – 209 p.

2. Kun F. Damage development under gradual loading of composites / F.Kun, H. J. Herrmann // Journal of Materials Science.– 2000. – P.35.

3. Raischel F. Local load sharing fiber bundle swith a lower cutoff of strength disorder / F. Raischel, F. Kun, H. J. Herrmann// Phys. Rev. E. – 2006. – vol.74(2). –№3. – P.4.

4. Филоненко С.Ф. Модель сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала под. действием поперечной силы / С.Ф. Филоненко, В.М. Калита, А.П. Космач, Т.Н. Косицкая // Технологические системы. – 2010. – № 2(51). – С. 45–53

УДК 681.518.3

Коваль А. О., канд. техн. наук

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, koval_andrey79@ukr.net

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕСТАЦІОНАРНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В останній час велика увага приділяється бездемонтажному контролю, за допомогою якого оцінюються похибки вимірювань та їх тренд тільки датчиків тиску без зв'язку їх з вимірювальною лінією. Існуючі підходи не дають можливості прогнозувати та оцінювати метрологічні характеристики всього вимірювального каналу з урахуванням взаємодії датчиків тиску та вимірювальної лінії і при цьому характеристики останніх вважаються незмінними в процесі експлуатації, тобто не враховується вплив нестаціонарності елементів вимірювального каналу.

Основним недоліком існуючих методів контролю метрологічних, в тому числі динамічних характеристик вимірювального каналу тиску є їх локальність і відсутність прогнозування їхнього змінювання в процесі експлуатації [1]. На цей час не існує єдиного підходу до побудови вимірювальних каналів тиску (ВКТ), які б визначали свої динамічні характеристики (ДХ) в автоматичному або автоматизованому режимах в масштабі часу близькому до реального.

Класичний підхід вимагає дослідження характеристик технологічного процесу, що реалізується на об'єкті і створює вхідну дію для ВКТ. Вхідна дія буде розглядатись з точки зору особливостей вимірювання тиску та визначення ДХ ВКТ. При цьому необхідно врахувати змінювання модельних характеристик ВКТ в процесі його експлуатації, тобто в результаті його нестаціонарності. Характер роботи багатьох об'єктів такий, що вхідна дія, яка поступає на вимірювальну лінію, є нестаціонарною. Інерційність існуючих ВКТ приводить до згладжування вихідного сигналу ВКТ, який використовується для обробки, але цей сигнал в багатьох випадках залишається нестаціонарним.

В даній роботі для обробки вимірювальних даних використовувались інтелектуальна система аналізу даних на основі нейронних мереж [1, 3], в основу роботи якої покладено технології Data Minimg [2]. Data Mining – це технологія пошуку в великих об'ємах даних неочевидних, об'єктивних закономірностей, періодичностей, трендів, інтервалів стаціонарності, а також їх перевірки на нових вимірювальних вибірках. Знайдені закономірності не виявляються стандартними статистичними методами обробки вимірювальної інформації або навіть досвідченими експертами і тому наперед не можуть вважатись очевидними. Вони будуть цілком відповідати дійсності на відміну, наприклад, від висновку експерта, яке ґрунтується на суб'єктивному і, як наслідок, обмеженому баченні ситуації [4].

В результаті попередніх статистичних оцінювань було встановлено, що у більшості отриманих виміряних часових рядів тиску можна виділити систематичну складову (яка включає декілька компонент) і випадкову помилку (залишок, шум), яка утрудняє виявлення регулярних компонентів. Як правило, тренд являє собою загальну систематичну лінійну або нелінійну компоненту, яка змінюється в часі. Інерційність технологічних процесів реалізується через цей еволюторний елемент часового ряду.