УДК 62-192:681.5.015.87

О.С. Гончаров, асп.
С.С. Федін, д.т.н., проф.

ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ РУЙНУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Київський національний університет технологій та дизайну, м.Київ, aleksandrgoncharov@gmail.com

У статті на основі проведення експериментальних досліджень та застосування сучасних інтелектуальних технологій аналізу данних розроблено модель нейронної мережі Кохонена, використання якої дозволяє визначити наявність руйнувань деталей конструкцій із полімерних композиційних матеріалів за результатами вимірювання їх спектральних характеристик.

***Ключові слова**: оцінювання стану руйнування, полімерні композиційні матеріали, вимірювання спектральних характеристик, нейронна мережа Кохонена.*

Вступ

Сучасні вимоги до якості та надійності виробів авіабудування, машинобудування, приладобудування, а також інших галузей промисловості призводять до необхідності розробки нових та удосконалення існуючих засобів і методів оцінки технічного стану деталей та вузлів конструкцій на етапі експуатації.

Серед існуючих найбільшого розповсюдження набули методи об'єктивного контролю, такі як візуальний огляд, а також руйнівні та неруйнівні методи. Однак слід зауважити, що зазначені методи не завжди дозволяють отримати повну та достовірну інформацію про стан об'єкту та оцінити ступінь його руйнування. З іншого боку, альтернативним підходом є проведення періодичних віброчастотних випробувань в режимі вимушених коливань, які дають можливість оцінити стан виробів за зміною спектральних характеристик параметрів, що вимірюються у контрольних точках. Даний підхід є більш перспективним, у порівнянні з пошуком окремих тріщин, які не завжди можуть бути виявлені безпосередньо.

Застосування методу віброчастотних випробувань широко висвітлено в роботах Тіца С.Н. [1], Куравського Л.С. [2], Плотнікова С.М. [3] та ін. Однак залишається невирішеним питання оперативної та достовірної обробки результатів вимірювань спектральних характеристик для ідентифікації наявності пошкоджень деталей.

Вирішення даного питання може бути здійснено на основі застосування сучасних інтелектуальних технологій аналізу даних, одним із ефективних методів яких є нейронні мережі Кохонена [4]. Даний тип мереж дозволяє не тільки проводити класифікацію об'єктів, але і отримувати наочне уявлення отриманих результатів вимірювань на топологічній карті на основі застосування принципу багатовимірного проектування. Головною перевагою даного типу нейронних мереж є навчання без вчителя, що дозволяє застосовувати їх у випадках, коли різноманітні види пошкодження деталей невідомі заздалегідь.

Мета дослідження

Розробка моделі нейронної мережі Кохонена для оцінювання стану руйнування деталей із полімерних композиційних матеріалів за результатами їх вібраційних випробувань.

Результати проведених досліджень. Завдання проведення випробувань полягало в отриманні спектральних характеристик вібраційних коливань зразків деталей конструкцій.

Методика проведення експериментальних досліджень складалася з наступних етапів:

- виготовлення зразків деталей з відомими станами пошкоджень;
- вибір умов і режимів проведення випробувань зразків;
- визначення спектральних характеристик параметрів зразків в залежності від характеру пошкоджень;
- розробка архітектури нейронної мережі Кохонена для ідентифікації наявності пошкоджень конструкцій;
- навчання, налаштування та експлуатація розробленої мережі.

Експериментальні дослідження проводилися на натурних зразках деталей із полімерних композиційних матеріалів, які було виготовлено відповідно до ПИ 1.2.178-81 «Склеивание металлов и конструкционных неметаллических материалов».

Обрані для досліджень деталі є типовими та являють собою частину конструкції розподільного каналу повітропроводу пасажирського літака. Конструктивно деталі складаються з основи, до якої клейовим способом прикріплені три розподільні патрубки у верхній, центральній та нижній частинах основи (рис. 1). Геометричні розміри зразків відповідають дійсним розмірам деталей, які використовуються у фюзеляжі літака. Аналіз умов експлуатації показав, що серед навантажень, що діють на деталі каналу повітропроводу переважаючий вплив здійснюють вібраційні навантаження в діапазоні від 25 до 2000 Гц.

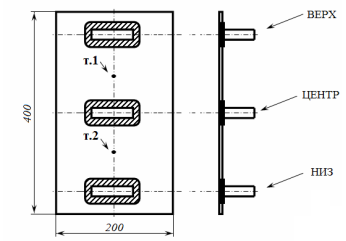


Рис. 1. Зовнішній вигляд зразка деталі для проведення вібраційних випробувань

Таким чином, в якості обладнання при проведенні лабораторних випробувань для забезпечення умов максимально наближених до експлуатаційних було обрано електродинамічний стенд, що складається з вібраційного столу, блоку генератора синусоїдальних коливань, блоку попереднього підсилювача, а також блоку контролю вібрацій (рис. 2).

В якості вимірювального параметру використовувалася амплітуда віброприскорення, яка визначалася за допомогою аналізатора спектра DC – 2111. Аналізатор спектру являє собою портативний переносний вібровимірювальний прилад із незалежним акумуляторним живленням та електронним запам'ятовуючим пристроєм.

Рис. 2. Електродинамічний стенд для проведення вібраційних випробувань та вимірювання спектральних характеристик виробів

Сигнал на прилад подавався від датчиків, що перетворюють прискорення коливаннь в електричний сигнал. В якості датчиків використовувалися п'єзоелектричні однокомпонентні акселерометри АР 98-100-01, які встановлювалися на поверхні зразків в контрольних точках 1 та 2 (рис. 1). Закріплення зразків на робочому столі вібростенда здійснювалося вздовж периметру деталі, що дозволило відтворити реальні режими умов експлуатації.

Передбачалося, що з плином часу в конструкції виникали такі види дефектів: «ВЕРХ» – пошкоджено верхній патрубок; «ЦЕНТР» – пошкоджено центральний патрубок; «НИЗ» – пошкоджено нижній патрубок; «В-Ц» – пошкоджено верхній та центральний патрубки; «Н-Ц» – пошкоджено нижній та центральний патрубки; «В-Н» – пошкоджено верхній та нижній патрубки; «В-Ц-Н» – пошкоджено три патрубка.

Стану «ОК» відповідає конструкція без пошкоджень.

Порядок проведення експерименту передбачав визначення віброчастотних характеристик 20-ти зразків для кожного з 8-ми станів руйнувань. Вимірювання величини амплітуди віброприскорення проводилося в два етапи. На першому етапі датчик акселерометра було встановлено в т.1, а на другому - в т.2, що дозволило на основі узагальнення значень вимірювань в двох різних точках отримати усереднені результати реакції деталей на вібраційні навантаження. Номінальне навантаження встановлювалося на рівні 2*g* (14 м/с^2), що відповідає реальним експлуатаційним навантаженням деталей. Випробування проводилися в частотному діапазоні октавних смуг від 25 до 2000 Гц.

Таким чином, експериментальна вибірка склала 160 дослідів, для кожного з яких було проведено вимірювання амплітуди віброприскорення на двадцяти частотах діапазону (X1-X20). Результати проведення вібраційних випробувань зразків наведені в таблиці 1, а приклади графіків спектральних характеристик представлено на рис. 3.

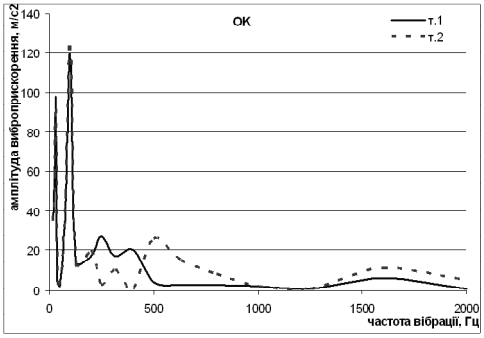
Після проведення випробувань було здійснено обробку отриманих результатів вимірювань для класифікації деталей в залежності від наявності пошкоджень на основі застосування нейронних мереж Кохонена.

Для ефективного використання методів самоорганізації та нейромережевого моделювання доцільно проводити зниження розмірності вхідних даних, що дозволяє поліпшити якість навчання та подальшу роботу нейромережі. Автоматизований підхід до вибору значущих вхідних змінних реалізовано з використанням методу генетичних алгоритмів, перевагами якого перед іншими методами є нелінійний характер перетворення вхідного набору змінних.

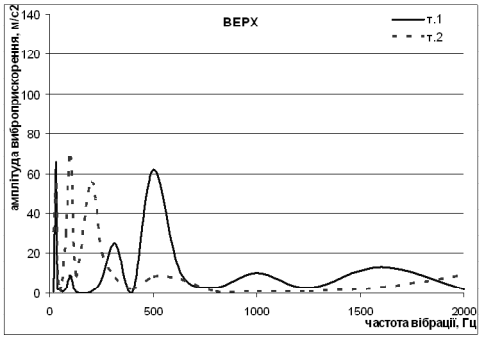
Таблиця 1

Результати вібраційних випробувань зразків

			X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
			Частота вібрації, Гц																			
№ зразка	***Вібро-прискорення, м/с²***		**25**	**31,5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**
1	ОК	т.1	66	96	6	2	13	49	11	14	37	17	27	17	20	4	3	3	2	1	6	1
		т.2	59	92	4	3	10	49	12	13	35	20	3	10	1	26	15	8	2	1	11	5
2	ВЕРХ	т.1	44	64	2	3	1	3	9	6	1	4	7	25	1	62	10	3	10	3	13	2
		т.2	48	55	7	1	6	30	69	8	31	56	20	8	2	8	7	1	1	1	3	9
3	ЦЕНТР	т.1	5	5	1	3	7	48	1	19	35	15	8	33	2	10	2	99	12	1	5	4
		т.2	6	1	3	5	16	60	1	25	37	10	47	109	4	1	43	62	10	4	5	3
4	НИЗ	т.1	6	7	6	7	4	73	3	26	30	9	9	21	17	6	2	29	11	1	5	2
		т.2	6	8	2	6	13	95	7	6	40	4	14	112	5	2	10	21	9	3	1	3
5	ВЕРХ-ЦЕНТР	т.1	5	1	2	4	15	62	1	25	39	12	46	119	5	9	47	60	5	7	1	13
		т.2	5	4	4	6	7	49	1	21	32	7	7	32	1	7	2	103	5	3	2	12
6	НИЗ-ЦЕНТР	т.1	5	7	6	7	52	6	3	18	39	14	8	65	68	5	60	1	4	2	5	20
		т.2	5	5	4	1	17	28	2	10	39	9	7	61	9	2	1	6	5	3	5	21
7	ВЕРХ-НИЗ	т.1	5	1	2	1	16	96	3	9	33	12	10	116	7	8	9	18	10	7	4	18
		т.2	6	6	2	5	6	67	4	23	35	6	9	18	13	2	2	27	11	3	5	17
8	ВЕРХ-ЦЕНТР-НИЗ	т.1	5	9	2	6	21	33	5	7	34	14	7	58	15	10	5	11	12	5	5	14
		т.2	5	5	1	7	51	7	3	17	36	11	10	65	25	9	51	1	12	3	2	17
					…							…						…				
160	ВЕРХ-ЦЕНТР-НИЗ	т.1	6	7	1	7	19	28	2	6	31	7	8	58	11	8	1	7	8	7	2	15
		т.2	5	5	2	7	59	9	2	14	31	13	6	68	58	5	60	2	7	5	4	19



(а)



(б)

Рис. 3. Приклади спектральних характеристик вібраційних випробувань, що визначені в контрольних точках 1 та 2 для зразків: без пошкоджень (а), з пошкодженим верхнім патрубком (б)

Реалізацію методу було здійснено в системі статистичного аналізу даних STATISTICA 8.0 [5]. Отримані результати показують, що 11 змінних з 20-ти, які відповідають значенням частот вібрації 25; 40; 50; 125; 160; 400; 800; 1000; 1250; 1600 та 2000 Гц є незначимі, отже, їх можна не враховувати при подальшій обробці експериментальних даних (рис. 4).

На наступному етапі досліджень розроблено модель нейронної мережі Кохонена для ідентифікації наявності пошкоджень конструкцій.

Навчальна вибірка для побудови моделі включала 136 спостереження: 17 для кожного з 8-ми станів пошкоджень. Оцінка точності моделі проводилася на 24 прикладах тестуючої вибірки, що складалася із 3-х спостережень для кожного із станів. Кожне спостереження навчальної та тестової вибірок було сформовано із сукупності значень, виміряних в точках 1 та 2 на частотах вібрації 31,5; 63; 80; 100; 200; 250; 315; 500 та 630 Гц. Результати побудови моделі мережі Кохонена, а також її тестування представлені на рис. 5. Топологічна карта показує, що вся сукупність навчальної вибірки була класифікована на 8 класів, кожен з яких відповідає одному із станів пошкоджень деталі. Результат тестування моделі показав,

що серед 24 тестових прикладів мережі не вдалося розпізнати лише 2 спостереження, що складає близько 8% відносної похибки і підтверджує високу ступінь точності навчання.

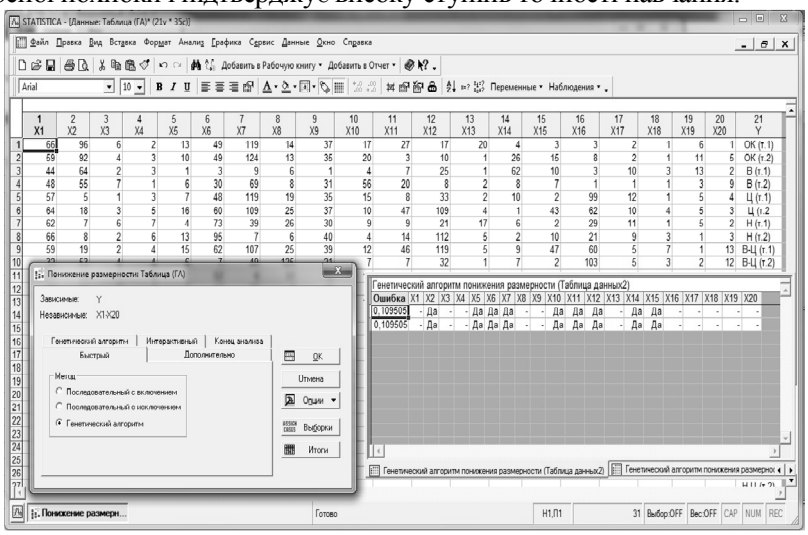


Рис. 4. Реалізація методу генетичних алгоритмів у системі статистичного аналізу даних STATISTICA

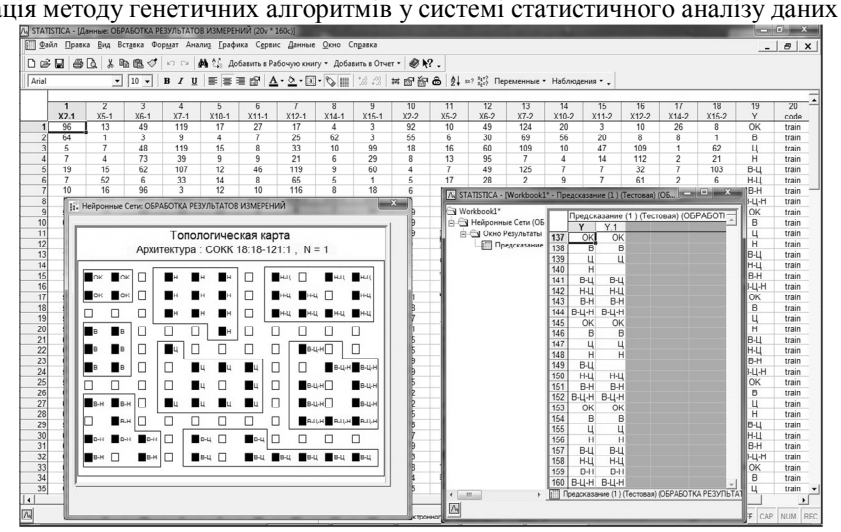


Рис. 5. Архітектура мережі Кохонена та результати розробленої моделі в системі статистичного аналізу даних STATISTICA

Висновки. В результаті проведення експериментальних досліджень розроблено модель нейронної мережі Кохонена для ідентифікації наявності пошкоджень деталей із полімерних композиційних матеріалів в залежності від значень спектральних характеристик вібраційних коливань. Застосування даної моделі дозволяє отримати оцінку стану руйнування деталей, а також встановити характер пошкоджень.

Список літературних джерел

1. Тиц, С.Н. Экспериментальное исследование влияния повреждений на вибрационные характеристики сотовых конструкций. / С.Н. Тиц, А.Н. Коптев, Ю.В. Киселёв, Р.И. Манчук// Материалы докладов Междунар. научн.- техн. конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». – Самара, СГАУ, 2009. – С.456-462.

2. Куравский, Л. С. Применение нейронных сетей для диагностики и прогнозирования усталостного разрушения тонкостенных конструкций. / Л.С. Куравский, С.Н. Баранов// Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2001. – №12. – С. 47 – 63.

3. Плотников, С. Н. Методика виброчастотного контроля по амплитудно-временным характеристикам / С. Н. Плотников, С. Н. Савельев // Известия Орел ГТУ. 2005. – № 1. – С. 19 - 22.

4. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты / Кохонен Т. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 656 с.

5. Боровиков В.П. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks*:* Методология и технологии современного анализа данных / В.П. Боровиков. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 392 с.