

4. Выводы

Приведена методика, позволяющая получить наилучшее уравнение регрессии методом селекции модели по совокупности статистических и физически обоснованных критериев. Проанализированы преимущества использования таких критериев, выражающиеся в возможности получения модели, пригодной для экстраполяции за область эксперимента. Произведен расчет конкретной технической задачи и показана эффективность предлагаемой методики. Показано, что синтез наилучшей многофакторной модели второго порядка должен сопровождаться анализом ее физической адекватности по приведенной методике с учетом статистических характеристик экспериментальных данных.

Список литературы: 1. Зайченко, Ю. П. Синтез и адаптация нечетких прогнозирующих моделей на основе принципа самоорганизации [Текст] / Ю. П. Зайченко, И. О. Заец // Труды Одесского политехнического университета. – 2001. – Вып. 3(15). – С. 178 – 184. 2. Пилов П. И., Многофакторный структурно-экстраполяционный анализ в задачах управления эффективностью обогащительных процессов [Текст] / П. И. Пилов, А. М. Мильцын, В. И. Олевский // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 36(77)-37(78). – С. 204 – 217. 3. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики [Текст] / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. - М.: Наука, 1965. - 511 с. 4. Мильцын, А. М. Алгоритмизация построения, статистической обработки и анализа многофакторной регрессионной модели, содержащей управляемые, неуправляемые или смешанные переменные, в интерактивном режиме [Текст]: монография / А. М. Мильцын, В. И. Олевский // Днепрпетровск, 1988. - 157 с. Деп. в ВИНТИ 13.01.88, №188 - В88.

Поступила в редколлегию 01.12.2010

УДК 621.114.32

В.С. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доцент, НАУ, м. Київ

А.В. ПЕРЕЇДЕНКО, студент, НАУ, м. Київ

Є.О. ПІКОЛЕНКО, студент, НТУУ «КПІ», м. Київ

РАНЖУВАННЯ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ПРИ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Описан способ ранжирования по информативности диагностических признаков при многопараметровом контроле. Приведены результаты применения данного способа для отбора признаков при контроле композиционных материалов методом низкоскоростного удара.

Ключевые слова: дисперсионный анализ, сотовые панели, классификация.

Описано спосіб ранжирування за інформативністю діагностичних ознак при багатопараметровому контролі. Наведено результати застосування даного способу для відбору ознак при контролі композиційних матеріалів методом низькошвидкісного удару.

Ключові слова: дисперсійний аналіз, стільникові панелі, класифікація.

This article is devoted to a method of ranking by informative diagnostic signs for multiparameter monitoring. The results of this method for feature selection in the control of composite materials by low-velocity impact.

Key words: analysis of variance, honeycombed, classification.

1. Вступ

Вибір найбільш інформативних параметрів, які мають максимальну чутливість до зміни фізико-механічних властивостей досліджуваних об'єктів і можуть бути використані для побудови вирішального правила контролю або для проведення імітаційного моделювання, є одним з найважливіших етапів при вирішенні задач діагностики та класифікації технічного стану об'єктів контролю. Основною метою в роботі є дослідження та вибір оптимального методу ранжування діагностичних ознак, тобто сукупності параметрів об'єктів, які можуть безпосередньо використовуватися при їх аналізі та прийнятті діагностичних рішень. Формального підходу до вибору таких ознак не існує. Однак щодо їх вибору, можна сформулювати загальні вимоги, такі як: придатність для вимірювання та інформативність.

При вирішенні задачі оцінки інформативності ознак необхідно враховувати вплив випадкових факторів, таких як наявність шумів у вимірювальних каналах, випадкових похибок датчиків, просторової неоднорідності композиційних матеріалів і т.п. Визначивши найбільш інформативні ознаки, шляхом їх зміни можна провести моделювання сигналів дефектоскопу, які є характерними для кожного класу, з метою формування бази еталонних образів для проведення навчання систем діагностики, перевірки достовірності їх роботи та валідації, тощо.

2. Постановка задачі

Нехай заданий вектор ознак розмірності M , $X \in \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$. Серед них необхідно вибрати найбільш інформативні, тобто отримати новий вектор ознак $Y \in \{y_1, y_2, \dots, y_L\}$ (множина ознак, які потрібно виділити в процесі селекції), причому $L < M$. Тоді задача селекції фактично зводиться до відображення однієї множини в іншу: $X \rightarrow Y$.

Запропонований спосіб – це спосіб виділення ознак, які характеризуються великими дисперсіями між класами і малими всередині класів. Основними причинами для скорочення числа ознак є той факт, що використання при діагностиці ознак, на значення яких сильно впливає дія випадкових факторів, може призвести до зниження достовірності контролю та прийняття невірної рішення. Також скорочення числа ознак дозволяє зменшити обчислювальну складність та підвищити загальність класифікатора.

Задачу відбору діагностичних ознак можна вирішити за допомогою дисперсійного аналізу. Дисперсійний аналіз проводиться для оцінки ступеня зміни ознаки під впливом певних змінних факторів (багатофакторний аналіз) або фактору (однофакторний аналіз), що контролюється. В загальному вигляді задача дисперсійного аналізу складається з того, щоб із загальної дисперсії виділити дисперсію, що обумовлена впливом фактору (факторна дисперсія), та обумовлену дією неврахованих факторів (залишкова дисперсія). Тоді рівень впливу фактору визначається за коефіцієнтом значущості $\eta_x = C_x / C_y$, де C_x – факторна дисперсія, C_y – загальна дисперсія.

Ступінь впливу фактору на зміну діагностичної ознаки визначається шляхом порівняння з певним пороговим рівнем. Ознаки, які мають велику

ступінь впливу фактору на зміну їх значень, формують результуючий вектор, який в подальшому може використовуватись в задачах діагностики та класифікації.

3. Результати досліджень

Дослідження проводилися на зразках стільникових панелей, що описані в [1]. Ступінь пошкодження зразків оцінювався в залежності від зміни форми імпульсу сили ударної взаємодії (ІУВ) [2]. Оскільки форма зображених на рис. 1 досліджуваних імпульсів в роботі [1], є близькою до форми функцій косинуса та синуса, то для їх спектрального перетворення застосовувались дискретні перетворення Хартлі (ДПХ) [3], косинуса (ДКП) та синуса (ДСП) [4]. В якості множини інформативних ознак використовувались коефіцієнти розкладу реалізацій ІУВ за описаними функціями.

Перевага вибраних перетворень над поширеним тригонометричним перетворенням Фур'є полягає у відсутності комплексної складової спектру, а також в набагато менших обчислювальних затратах. Число необхідних операцій для перетворення Фур'є дорівнює $O(N^2 \ln N)$, тоді як для ДКП і ДСП кількість операцій складає $O(N \ln N)$.

У зв'язку з тим, що базисні функції близькі за формою до реальних сигналів, що досліджувались, то основна частина енергії сконцентрована у перших гармонічних складових спектру. Розкид значень коефіцієнтів спектрального розкладу у базисі Хартлі, який викликано випадковими факторами представлено в табл. 1.

Таблиця 1. Границі розкиду значень коефіцієнтів у базисі Хартлі

№ коеф.		Тип ділянки					
		Без дефекту	Дефект 1	Дефект 2	Дефект 3	Дефект 4	
Границі розкиду значень коефіцієнту	0	верхня	113,16	46,07	43,49	27,05	12,18
		нижня	56,88	22,94	21,75	12,04	5,63
	1	верхня	-5,39	-8,29	-6,76	-6,68	-2,99
		нижня	-10,71	-16,15	-14,85	-14,94	-6,63
	2	верхня	-16,01	-2,21	-3,40	2,48	-0,22
		нижня	-29,46	-4,47	-5,75	0,91	-0,39
	3	верхня	-1,21	0,06	1,15	-0,13	-0,21
		нижня	-10,40	-0,79	0,70	-0,70	-0,45
	4	верхня	3,79	0,58	-0,22	-0,29	-0,14
		нижня	2,17	-0,15	-0,80	-0,51	-0,23
	5	верхня	-1,02	-0,40	0,37	0,68	-0,10
		нижня	-2,61	-0,87	0,13	0,18	-0,17
	6	верхня	1,56	0,76	0,20	0,16	-0,09
		нижня	-0,44	0,34	-0,30	-0,14	-0,15
	7	верхня	2,00	-0,27	0,25	-0,05	-0,08
		нижня	-0,03	-0,48	0,08	-0,16	-0,13
8	верхня	-0,33	0,46	0,22	0,27	-0,08	
	нижня	-1,03	0,21	-0,16	0,04	-0,11	

Розраховані спектри імпульсів є загасаючими, це дозволило обмежити число аналізованих коефіцієнтів до перших n_1 , оскільки вони несуть понад 99%

повної енергії ІУВ. Аналізуючи дані з табл.1, можна зробити висновок, що для розкладу в кожному базисі можна виділити сукупність коефіцієнтів, які відповідають двом вимогам: є найбільшими за величиною, порівняно з іншими та дають змогу відділити значення коефіцієнтів спектрального розкладу характерних для кожного класу. Кількісно цей висновок можна обґрунтувати, використовуючи коефіцієнт, отриманий із нерівності Бесселя, $K_{n,n_1} = \sum_{j=0}^{n_1-1} |a_j|^2 / \sum_{k=0}^{n-1} |a_k|^2$, який характеризує енергетичний вклад перших n_1 – складових розкладу у повну енергію інформаційного сигналу; a_k – значення спектрального коефіцієнту, n – загальна кількість спектральних складових.

Використовуючи ДПХ, ДКП і ДСП, для того, щоб було $K_{n,n_1} > 0.99$, достатньо взяти $n_1 = 10$ в базисі ДПХ та ДКП, та $n_1 = 15$ в базисі функцій синуса дискретного аргументу.

Таким чином, якщо вибрати n_1 перших коефіцієнтів розкладу в якості діагностичних ознак, то вони згідно з наведеними вище результатами будуть характеризувати складові розкладу, що вносять в енергію інформаційного сигналу найбільший вклад (в даному випадку більше 99%). Отже, доцільно вибрати в якості базису розкладу – базис Хартлі та базис косинусних функцій, в якому n_1 – найменше. Це також зменшує обчислювальні витрати та підвищує ефективність роботи з отриманими сигналами.

Одні коефіцієнти розкладу більшою мірою схильні до впливу випадкових факторів, чим інші, тобто мають велику внутрішньогрупову дисперсію. Крім того, коефіцієнти спектрального розкладу по різному змінюються при зміні ступеня дефектності виробу, тобто мають різні значення факторної дисперсії. Отже, враховувати всі отримані n_1 спектральні складові не має сенсу, це призводитиме до невиправданого ускладнення вирішального правила діагностики і відповідному збільшенню обчислювальних витрат.

Для отриманих значень коефіцієнтів розкладу $a_k, k = \overline{0, n_1}$ з метою виявлення найбільш інформативних коефіцієнтів було проведено процедуру дисперсійного аналізу. Для цього для кожного коефіцієнту були визначені загальне розсіяння S_u , внутрішньогрупове (розсіяння всередині однієї групи коефіцієнтів, що характеризують один клас) S_z та міжгрупове (розсіяння між групами коефіцієнтів, що характеризують різні класи) S_x розсіяння значень досліджуваної ознаки. Мірою впливу ступеня дефектності виробу на зміну величини інформативних ознак є коефіцієнт значущості η_x .

Для формування множини діагностичних ознак слід використовувати такі коефіцієнти $a_k, k = \overline{0, n_1}$, значення η_{xk} для яких перевищує деякий пороговий рівень. На рис. 1,2 стовпчики, що відповідають коефіцієнтам розкладу, для яких коефіцієнт η_x перевищує рівень 0,95, виділені суцільним кольором. Таким чином процедура ранжування діагностичних ознак виконується в два етапи: вибір із всієї множини коефіцієнтів спектрального розкладу n_1 коефіцієнтів, які мають найбільшу енергію, і вибір з n_1 таких коефіцієнтів (кількістю n'_1),

значення яких найбільше залежать від ступеня пошкодження зразка і найменше від впливу випадкових факторів.

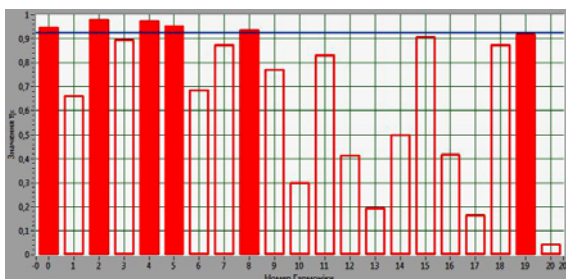


Рис. 1. Оцінка впливу фактора в базисі функцій Хартлі

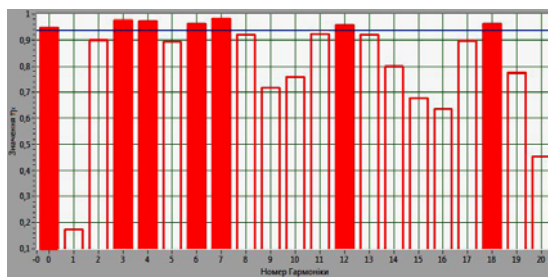


Рис. 2. Оцінка впливу фактора в базисі косинусних функцій

Коефіцієнти спектрального розкладу для ДКП з номерами 12 та 18, а також 19 для ДПХ не були враховані в подальшому аналізі, оскільки вони мають незначну енергію (менше 0,001 % від сумарної енергії інформаційних сигналів).

Аналіз приведених діаграм показує, що найбільш інформативними є п'ять коефіцієнтів спектрального розкладу у випадку ДПХ (a_0, a_2, a_4, a_5, a_8) і ДКП (a_0, a_3, a_4, a_6, a_7).

4. Висновок

Отримані результати проведеного дослідження підтверджують доцільність процедури попереднього відбору діагностичних ознак при проведенні багатопараметрового неруйнівного контролю виробів на основі дисперсійного аналізу, який дозволяє здійснювати їх ранжирування за чутливістю (інформативністю) до зміни стану об'єкту контролю.

Так чином, визначені коефіцієнти спектрального розкладу інформаційного сигналу можуть бути використані в подальшому в якості діагностичних ознак для налаштування класифікатора при вирішенні задач неруйнівного контролю. Також відповідні коефіцієнти доцільно використовувати для проведення імітаційного моделювання інформаційних сигналів дефектоскопів з метою формування навчальної або контрольної вибірки для, відповідно, попереднього навчання класифікатора та побудови простору можливих класів дефектів або для перевірки достовірності його роботи.

Список літератури: 1. Еременко, В.С. *Формирование пространства диагностических признаков при многопараметровом контроле* / В.С. Еременко, В.М. Мокийчук, Е.Ф. Суслов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2008. – №2. – С. 48 – 50. 2. Еременко, В.С. *Обнаружение ударных повреждений сотовых панелей методом низкоскоростного удара* / В.С. Еременко, В.М. Мокийчук, А.М. Овсянкин // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль.* – 2007. – №1. – С. 24-27. 3. Брейсуэлл, Р., *Преобразование Хартли: Теория и приложения* : Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 175 с. 4. Martucci, S.A., *Symmetric convolution and the discrete sine and cosine*

УДК 658.5. 011. 56

Е.А. ЛАВРОВ, докт. техн. наук, профессор, СумГУ, г. Сумы
Н.Б. ПАСЬКО, ст. препод., Сумской национальный аграрный университет

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВОЗМОЖНОГО УЩЕРБА ОТ ОШИБОК ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

Рассматривается задача выбора способа реализации алгоритма функционирования дискретной человеко-машинной системы, обеспечивающего минимум ущерба от возможных нарушений. Базовая модель-граф событий.

Ключевые слова: алгоритм функционирования, целевая функция, оптимизационная модель.

Розглядається задача вибору способу реалізації алгоритму функціонування дискретної людино-машинної системи, що забезпечує мінімум збитку від можливих порушень. Базова модель-граф подій.

Ключові слова: алгоритм функціонування, цільова функція, оптимізаційна модель.

The task of choice of method of realization of algorithm of functioning of the discrete of «man-machine» system is examined. A choice is provide a minimum of harm from possible violations. Base model is count of events.

Keywords: algorithm of functioning, objective function, count of events.

1. Введение

Задача выбора способа взаимодействия человека-оператора с программно-техническими средствами АСУ в различных постановках достаточно полно рассмотрена в работах научной школы проф. Губинского А.И. [1]. Процессы возникновения ошибок учитывались, как правило, введением показателя “вероятность безошибочного выполнения”. Этот показатель использовался как при формировании целевой функции, так и при задании ограничений. Однако, различные ошибки могут вести к различным последствиям [2,3], которые по-разному влияют на эффективность функционирования. Сегодня оптимизация функционирования не может быть построена на бинарной модели “есть ошибка - нет ошибки”. Важно знать не сам факт ошибки, а минимизировать возможный ущерб. Так, например, украинский представитель компании Toyota на своем сайте [4], посвященном автоматизированным складам, отмечает: “Вероятность ущерба в складских операциях может быть очень значительной, от повреждения техники и до повреждения обрабатываемого груза и товаров, и, что самое важное, - телесные повреждения персонала”. Учитывая, что модели ошибок, приводящие к нарушениям разных типов, получены [3], приобретает