

В.В. Герасимов

ДО ВИБОРУ ПАРАМЕТРУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НА БАЗІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є В ДЕФЕКТОСКОПІЇ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. Досліджено залежність спектрального параметру ідентифікації K_h від зміни кількості гармонік, використовуваних для обчислення його компонентів. На основі зібраної статистики доведено оптимальність запропонованої раніше методики обчислення вказаного параметру. Досліджено вплив довжини сигналу поверхневої тріщини на характеристики розпізнавання таких сигналів на фоні шуму.

Ключові слова: спектр Фур'є, віконна функція Гауса, вихорострумний датчик, поверхнева тріщина, параметр ідентифікації.

Постановка проблеми. Процес дефектоскопії композитних матеріалів значно ускладнює наявність заважаючих факторів, серед яких необхідно відмітити неконтрольований відвід вихорострумного датчика від поверхні діагностуємого виробу і перекіс датчика відносно нормалі до поверхні. В таких умовах актуальною стає проблема ідентифікації модуляційних сигналів поверхневих тріщин композитних матеріалів на фоні значного шуму і відокремлення їх від сигналів відводу і перекосу накладного вихорострумного датчика відносно нормалі до поверхні виробу.

В роботі [1] для ідентифікації сигналів поверхневих тріщин був запропонований коефіцієнт K_h відношення суми гармонік з 6-ї до 14-ї до суми амплітуд гармонік з 1-ї до 14-ї. Виникає питання — наскільки оптимальним є вибраний коефіцієнт?

Метою даної роботи є дослідження методики обчислення запропонованого параметру ідентифікації K_h , а саме його залежність від зміни кількості гармонік, використовуваних для обчислення його компонентів.

Аналіз останніх публікацій. Як і в роботах [1-4], проводився спектральний аналіз наступних сигналів: різниці експонент

$$s_1(t) = e^{-b^2 t^2} - ke^{-2b^2 t^2}, \quad (1)$$

який описує сигнал від поверхневої тріщини, і параболоїди

$$s_2(t) = ct^2 + d, \quad (2)$$

що відповідає сигналу перекосу/відводу вихорострумове датчика відносно поверхні композита. Так як вихорострумова дефектоскопія композитних матеріалів характеризується малою кількістю відліків на сигнал від тріщини, а для забезпечення незначної кількості помилок першого і другого роду [2] необхідна як можна більша кількість цих відліків, то, з врахуванням зручності виконання перетворення Фур'є, довжини сигналів для досліджень були взяті в 32 відліки. За довжину модуляційного сигналу від поверхневої тріщини в (1) відповідає параметр b . В цих дослідженнях цей параметр був зафіксований на рівні $b^2 = 1.5$, що і забезпечує довжину сигналу від поверхневої тріщини (1) в 32 відліки на рівні 0.1 від максимальної амплітуди [3]. Спектральні компоненти розраховувались за допомогою дискретного перетворення Фур'є.

Основна частина. Вихідні дані та алгоритми обробки сигналів в основному були такі ж, як і в роботах [1, 4]. Амплітуди сигналу відводу/перекосу s_2 та сигналу від поверхневої тріщини (модуляційного імпульсу) s_1 були зафіксовані на рівні 1. Параметр k , який відповідає за форму модуляційного імпульсу, змінювався у діапазоні 0,0.1,...,1. Досліджувався спектральний параметр ідентифікації K_h для сигналів зі стандартним відхиленням шуму $\sigma = 0$ та $\sigma = 0.5$. Кожний експеримент повторювався 10000 разів. Спектр сигналу обчислювався з використанням вікна Гауса і без будь-якого вікна. Параметр ідентифікації K_h модернізувався шляхом зміни діапазону гармонік, використовуваних для обчислення його чисельника і знаменника відповідно.

Залежність одного з модернізованих параметрів ідентифікації $K_{h(7/14)}$ (в чисельнику сума гармонік з 7-ї до 14-ї, в знаменнику — сума 14 перших гармонік) від форми модуляційного сигналу s_1 поверхневої тріщини (параметру k) при фіксованих значеннях шуму наведено на рис. 1.

На рис. 1,а,в константні лінії відповідають сигналу s_2 , не константні — відповідно сигналу s_1 . На рис. 1,б,г для визначення ефективності віконної функції значення параметру ідентифікації K_h для сигналу s_1 були віднормовані на відповідні значення цього коефіцієнту для сигналу s_2 (відводу/перекосу датчика).

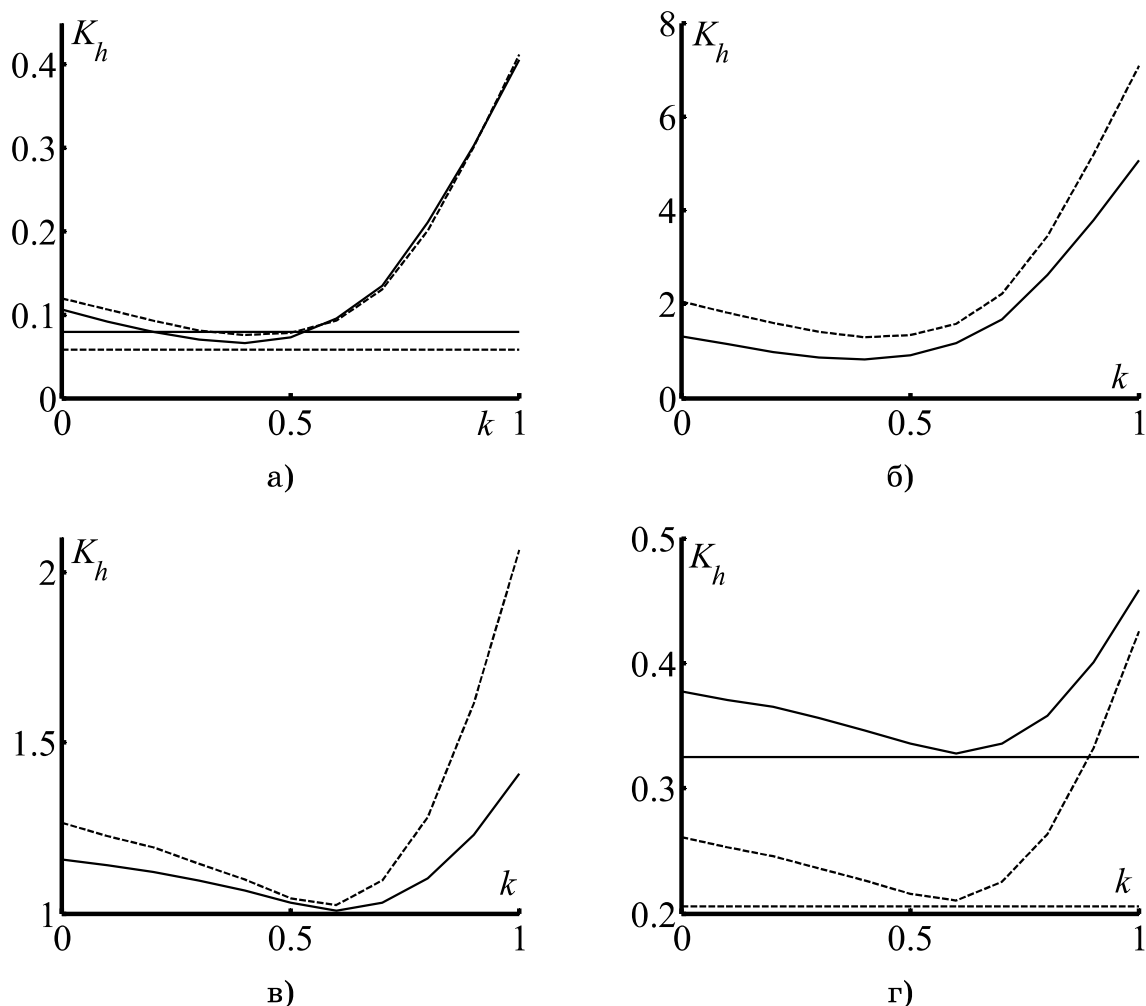


Рисунок 1 – Залежність модифікованого параметру ідентифікації K_h від параметру k , що характеризує форму модуляційного імпульсу тріщини, при $\sigma = 0$ (а, б), $\sigma = 0.5$ (в, г):
— спектри отримано безвіконних функцій; - - при обчисленні спектру використовувалось вікно Гауса

Як видно з рис. 1 така зміна діапазону гармонік може привести до значного погіршення розрізнюваності сигналів s_1 та s_2 . Так без застосування віконної функції в певному діапазоні значень параметру k взагалі неможливо розрізнити ці два сигнали за відсутності шуму (рис. 1, а, б), використовуючи цей модифікований коефіцієнт ідентифікації $K_{h(7/14)}$. А при наявності незначного шуму ($\sigma = 0.5$) навіть використання віконної функції не покращує результату (рис. 1, в, г). Для визначення впливу зміни діапазону обчислення параметру ідентифікації K_h на його значення було обрано два ключові значення цього параметру (віднормованого) — для точкових дефектів ($k = 1$) і міні-

мальне значення відповідного масиву даних ($k \sim 0.4 \div 0.6$). Отримані результати зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Ключові значення параметру ідентифікації K_{hn} для різних діапазонів гармонік

Діапазон гармонік	K_{hn1}		K_{hnmin}	
	$\sigma = 0$	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 0$	$\sigma = 0.5$
6/14 (14)	0.3495 (4)	0.2205 (2)	0.0439 (5)	0.0169 (3)
5/14 (15)	0.2791 (6)	0.1786 (7)	0.0573 (1)	0.024 (1)
7/14 (20)	0.3536 (3)	0.2196 (3)	0.0173 (7)	0.0049 (7)
6/13 (14)	0.3439 (5)	0.225 (1)	0.0441 (4)	0.0167 (4)
6/15 (15)	0.355 (2)	0.2164 (5)	0.046 (3)	0.0163 (5)
5/13 (17)	0.2733 (7)	0.1786 (6)	0.0563 (2)	0.0233 (2)
7/15 (17)	0.3594 (1)	0.2173 (4)	0.0188 (6)	0.0057 (6)

Збільшення кількості складових чисельника для обчислення параметру ідентифікації K_{hn} приводить до певного покращення розрізюваності сигналів s_1 і s_2 в найгіршому випадку, але погіршується вирізнення сигналу точкового дефекту — випадок 5/14. Деяке покращується вирізнення точкового поверхневого дефекту при зменшенні загальної кількості використовуваних гармонік на фоні шуму зі стандартним відхиленням $\sigma = 0.5$, але погіршується при зменшенні рівня шуму до нуля — випадок 6/13. Збільшення кількості використовуваних гармонік приводить до покращення вирізнення точкового дефекту без шуму, але з появою останнього цей показник погіршується — випадок 6/15.

Для найгіршого випадку, коли сигнали візуально погано розрізняються, деяке стабільне покращення результатів спостерігається тільки при збільшенні кількості складових чисельника параметру ідентифікації, при якому значно погіршується вирізнення точкового поверхневого дефекту — випадок 5/14. При інших змінах кількості гармонік, використовуваних для обчислення параметру ідентифікації, покращення результатів не спостерігається.

Отримані результати були оцінені — найкращий показник тримав один бал, гірший — два бали и т.д. Потім бали були просумовані. Таким чином найкращі результати були зафіксовані для випадків 6/14 та 6/13. При цьому слід зауважити, що зменшення загальної

кількості гармонік для визначення параметру спектральної ідентифікації погіршує виявлення сигналу поверхневої тріщини на фоні шуму так як його параметр K_h починає наближатись до критичного параметру ідентифікації K_{hu} . Так в першому випадку для сигналу s_1 значення параметру $K_h = 0.464$, а $K_{hu} = 0.649$ при наявності шуму з $\sigma = 0.5$. В другому випадку маємо $K_h = 0.448$, а $K_{hu} = 0.622$ відповідно. Тобто різниця між ними почала зменшуватись.

З врахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що обраний нами в [1] для досліджень діапазон гармонік для обчислення параметру спектральної ідентифікації сигналів поверхневих тріщин (гармоніки з 6-ї до 14-ї для чисельника, 14 перших гармонік для знаменника) є оптимальним.

На наступному етапі було досліджено вплив коефіцієнту b в (1) на процес ідентифікації сигналів від поверхневих тріщин. Виходячи з (1) можна попередньо сказати, що зменшення цього коефіцієнту буде приводити до розширення сигналу, а збільшення — відповідно до звуження сигналу (рис. 2,а, б). Так при $b^2 = 1$ довжина сигналу (1) на рівні 0.1 від максимальної амплітуди дорівнює 39 відліків, при $b^2 = 2$ — 27 відліків відповідно. Спектр сигналу (1) при $b^2 = 1$ стає трохи вузьким, при $b^2 = 2$ — ширшим відповідно. З подальшим збільшенням коефіцієнту b спектр буде далі розширюватись і наближатись до постійної величини, що буде визначатись площею імпульсу — як відомо, короткі імпульси довільної форми мають саме такий спектр [5].

На рис. 2,в, г показановіднормовану на максимальне значення огинаючу перших 14 гармонік цих сигналів у порівнянні з віднормованоюогинаючою перших 14 гармонік заважаючого сигналу (2).

Далі були проведені дослідження залежності параметру ідентифікації K_h від довжини поверхневої тріщини (коефіцієнту k) при значеннях коефіцієнту $b^2 = 1$ та $b^2 = 2$. Ці залежності для стандартного відхилення шуму $\sigma = 0.5$ показані на рис. 3.

З наведених рисунків (рис. 3) видно, що при $b^2 = 1$ значно погіршується відокремлення сигналу не точкових поверхневих тріщин ($k < 1$) від сигналу завади. При $b^2 = 2$ на перший погляд здається, що ситуація стає кращою і подальше збільшення цього коефіцієнту (звуження сигналу поверхневої тріщини) приведе до ще кращих результатів. Але тут потрібно згадати, що зверху значення параметру

ідентифікації K_h обмежується граничним значенням $K_{hu} = 0.643$, яке відповідає чистому шуму без будь-якого сигналу [4]. Зі збільшенням коефіцієнту b параметр ідентифікації K_h зі збільшенням рівня шуму починає інтенсивніше наближатись до граничного значення K_{hu} , тобто погіршується виявлення таких (вужчих) сигналів поверхневих тріщин на фоні шуму (рис. 3).

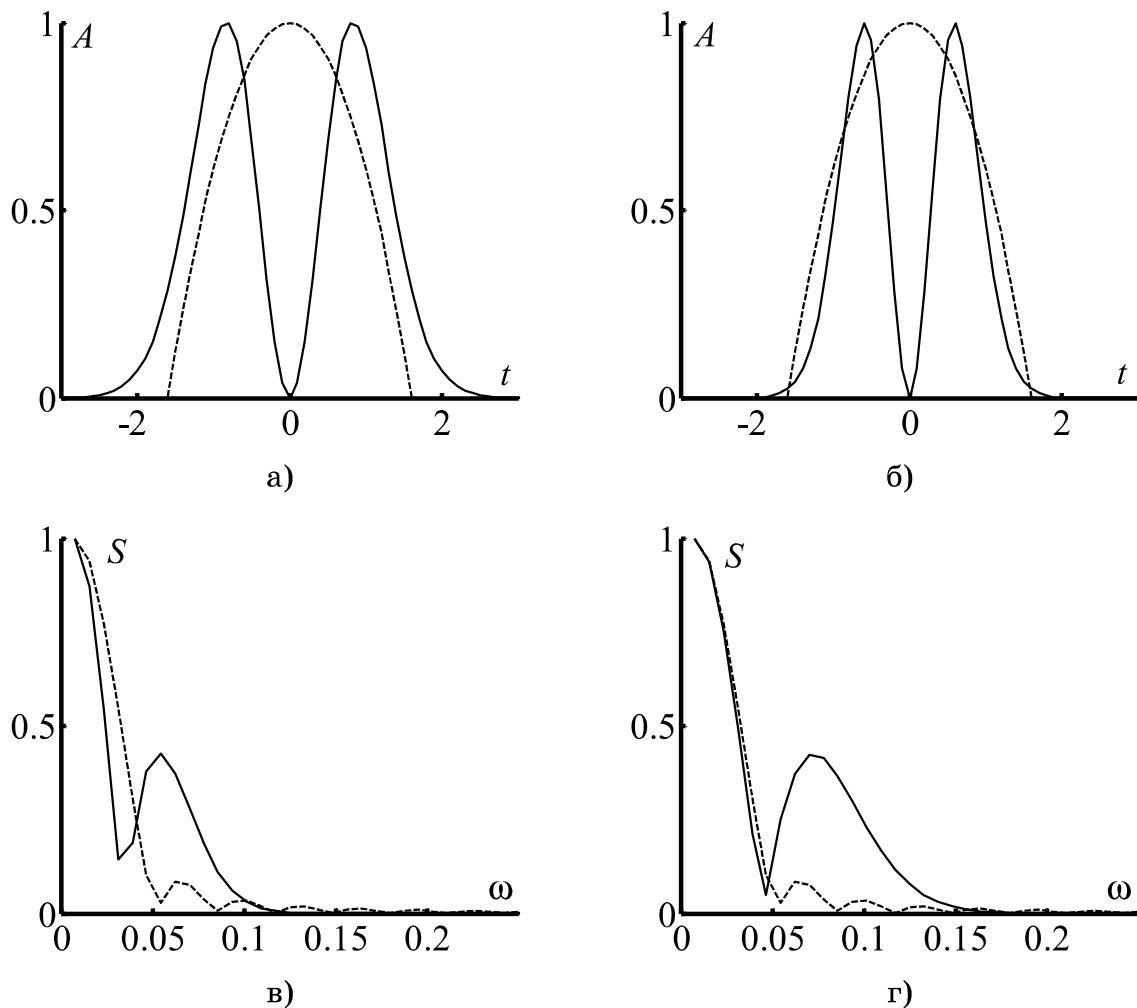


Рисунок 2 – Форма і спектри сигналів s_1 і s_2 :

а), в) $b^2 = 1$; б), г) $b^2 = 2$; — сигнал і спектр поверхневої тріщини s_1 ; -сигнал і спектр завади s_2

Висновки. Було досліджено залежність спектрального параметру ідентифікації K_h від зміни кількості гармонік, використуваних для обчислення його компонентів. Доведено оптимальність запропонованої в [1] методики обчислення вказаного параметру — гармоніки з 6-ї до 14-ї для чисельника, 14 перших гармонік для знаменника.

Досліджено вплив довжини сигналу поверхневої тріщини на характеристики розпізнавання таких сигналів на фоні шуму.

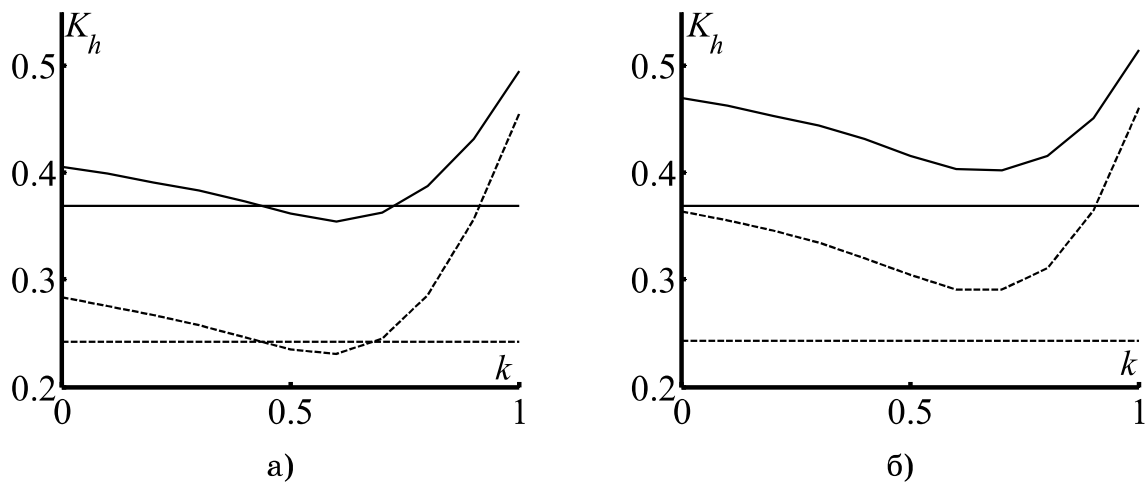


Рисунок 3 – Залежність параметру ідентифікації від параметру k , що характеризує форму модуляційного імпульсу тріщини, при $\sigma = 0.5$:

а) $b^2 = 1$; б) $b^2 = 2$; — спектри отримано без віконних функцій;
 - - спектри отримано з використанням вікна Гауса;

ЛІТЕРАТУРА

1. Хандецкий В. С., Герасимов В. В. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний. // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. 2003. Вип. 10. С. 128-132.
2. Хандецкий В. С., Герасимов В. В. Статистические исследования при вихретоковой дефектоскопии композитных материалов // Дефектоскопия. 1998. № 9. С. 59 – 70.
3. Герасимов В. В., Герасимова О. Л. Спектры сигналов перекося датчика и сигнала от трещины после дифференцирования // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Вип. 5 (28). — Дніпропетровськ, 2003. С. 24 – 32.
4. Хандецкий В. С., Герасимов В. В. Вплив віконних функцій на розпізнавання сигналів в дефектоскопії композитних матеріалів // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Вип. 5 (88). — Дніпропетровськ, 2013. С. 42 – 49.
5. Бабак В. П., Хандецкий В. С., Шрюфер Е. Обработка сигналов. — К.: Либідь, 1999. — 496 с.