

/ D. Frederic // Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online. – 2010. – Vol. 6. – P. 147–180. doi: 10.1002/9780470590621.ch6 **8. Crassidis, L.** Optimal Estimation of Dynamic Systems [Text] / L. J. Crassidis, L. J. Junkins. – E-book Google, 2004. – 608 p. **9. Kagramanyan, S. L.** Modelirovanie i upravlenie gornorudnyimi predpriyatiyami [Text] / S. L. Kagramanyan, A. S. Davidkovich, V. A. Malyishev, O. Burenzhargal, Sh. Otgonbileg. – Nedra, 1989. – 360 p. **10. Lutsenko, I. A.** A practical approach to selecting optimal control criteria [Text] / I. A. Lutsenko // Technology audit and production reserves. – 2014. – Vol. 2/1(16). – P. 32–35. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/23432/20906>. **11. Lutsenko, I. A.** Samples [Electronic resource] / I. A. Lutsenko. – Krivoy Rog, 2014. – Available at: <http://uk.effli.info/index.php/systems-engineering-samples>

**Bibliography (transliterated):** **1. Gavrilov, D. A.** (2002). Upravlenie proizvodstvom na baze standarta MRP. Izdatelskiy dom «Piter», 320. **2. Kirk, E.** (2004). Optimal Control Theory: An Introduction (Dover Books on Electrical Engineering). Dover Publications, 480. **3. Athans, M., Falb, L.** (2006). Optimal Control: An Introduction to the Theory and Its Applications. Dover Publications, 879. **4. Zhang, S., Zhang, C., Han, G., Wang Q.** (2014). Optimal Control Strategy Design Based on Dynamic Programming for a Dual-Motor Coupling-Propulsion System. The Scientific World Journal, 2014, 1–9. doi: 10.1155/2014/958239 **5. Pierre, A.** (1986). Optimization Theory with Applications. Donald Courier Dover Publications, 612. **6. Everett, E.** (1981). Operations Change Interactions in a Service Environment: Attitudes, Behaviors, and Profitability. Journal of Operations Management, 2 (1), 63–76. doi: 10.1016/0272-6963(81)90036-x **7. Frederic, D.** (2010). Systems modeling: analysis and operations research. Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online, 6, 147–180. doi: 10.1002/9780470590621.ch6 **8. Crassidis, L., Crassidis, L., Junkins, L.** (2004) Optimal Estimation of Dynamic Systems. E-book Google, 608. **9. Kagramanyan, S. L., Davidkovich, A. S., Malyishev, V. A., Burenzhargal, O., Otgonbileg Sh.** (1989). Modelirovanie i upravlenie gornorudnyimi predpriyatiyami. Nedra, 360. **10. Lutsenko, I. A.** (2014). A practical approach to selecting optimal control criteria. Technology audit and production reserves, 2/1(16), 32–35. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/23432/20906> **11. Lutsenko, I. A.** (2014) Samples. Krivoy Rog Available at: <http://uk.effli.info/index.php/systems-engineering-samples>

Надійшла (received) 21.04.2015

УДК 620.179

**Т. В. НІМЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц., Інститут інформаційно-діагностичних систем, НАУ, Київ

## ЗАСТОСУВАННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ЯК ОДНОГО З ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ

Розглянуто використання методу акустичної емісії в системах технічного захисту інформації. Розглянуто структуру акустичних сповіщувачів руйнування скла. Представлено структуру блоку реєстрації та обробки сигналів акустичної емісії під час руйнування скла. Наведено схему підсилювального тракту сигналів акустичної емісії та схему амплітудного детектора. Запропоновані апаратні засоби дозволяють реєструвати сигнал акустичної емісії з високою чутливістю.

**Ключові слова:** акустична емісія, охоронні системи, технічний захист, підсилювач, сигнал, руйнування, сповіщувачі

**Вступ.** Метод акустичної емісії (АЕ) набув широкого значення та застосовується у різних галузях до яких належить і технічний захист інформації. АЕ – це випромінювання пружних хвиль при деформуванні мікроструктурних елементів під зовнішнім силовим навантаженням, що містять в собі інформацію про кінетику фізичних процесів при терті, деформуванні та руйнуванні матеріалів.

Спочатку АЕ використовували для визначення моменту початку росту тріщин у зразках з надрізом, особливо при повільному зростанні тріщин, коли відхилення від лінійної залежності навантаження-переміщення може бути викликано або зростанням тріщини, або пластичним перебігом матеріалу у кінчика тріщини [9, 10].

© Т. В. НІМЧЕНКО, 2015

При цьому вирішували головним чином питання про наявність кількісного зв'язку між параметрами сигналу АЕ і величиною підростання тріщини.

На даний момент, одним з напрямків теоретичних досліджень акустико-емісійного випромінювання, є дослідження процесів формування сигналів акустичної емісії (АЕ) при деформації і руйнуванні матеріалів [1, 9]. Існує безліч засобів захисту інформації, до яких належать і охоронні системи захисту, серед яких певну нішу посідають акустичні сповіщувачі руйнування скла (АСРС), в основу роботи яких покладено принцип акустичної емісії. АСРС з'явилися на вітчизняному ринку охоронної сигналізації в 90-х роках. З тих пір вони значно розширили свої функціональні можливості, підвищили вірогідність виявлення і завадостійкість.

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** Після проведених в НДЦ "Охорона" наукових досліджень і на підставі періодичних (в міру появи нових виробів) порівняльних випробувань АСРС для використання у позавідомчій охороні відбираються тільки ті сповіщувачі, які дійсно сумісні з найпоширенішими на території видами і типорозмірами будівельних стекол. При цьому вони повинні повною мірою забезпечувати заявлені вимоги по дальності дії і ймовірності виявлення при різних способах руйнування скла, а також вимоги завадостійкості при неруйнівних ударах по склі з різними способами їх закріплення, при впливі акустичних шумів побутового характеру, перешкод від роботи встановлених на об'єкті звукоізлучаючих пристроїв (сповіщувачів, дзвінків, сирен) і т. п. Крім того, сповіщувачі повинні безумовно задовольняти комплексу вимог зі стикування і сумісності з об'єктовим і пультовим обладнанням, мати сучасний дизайн і прийнятну вартість, бути зручними в установці, експлуатації та обслуговуванні [5–7].

В основу роботи АСРС покладено метод АЕ. Апаратна та програмна база засобів для реєстрації АЕ відрізняється широким асортиментом модифікацій [1; 2]. Більшу частину серед апаратних засобів складають дорогі та великогабаритні комплекси АЕ, а також апаратура для лабораторних досліджень. Особливістю апаратури є універсальність її застосування, можливість проведення діагностики складних конструкцій, виробів та об'єктів, технологічних процесів виробництва [3; 4]. Вся апаратура може забезпечувати відбір АЕ інформації як по одному тракту реєстрації та обробки, так і одночасно по декількох каналах. Однак, в своїй більшості, апаратні засоби, вже фізично та морально застаріли. Тому актуальність проблеми апаратного забезпечення для проведення контролю та діагностики руйнування інструментів та матеріалів заключається в розробці портативної та універсальної апаратури.

**Постановка задачі дослідження.** Одною з важливих задач при дослідженні неперервної акустичної емісії – є моделювання та розробка блоків реєстрації та обробки сигналів АЕ, що дозволяють виявити корисний сигнал (сигнал від руйнування скла) в присутності шумів. В роботі буде наведено загальний принцип дії АСРС та запропоновані апаратні засоби для реєстрації АЕ під час руйнування скла.

Загальний принцип дії АСРС. АСРС для свого функціонування використовують поле акустичних хвиль, що утворюються при руйнуванні охороняється заскленої конструкції (вікно, вітрина) і поширюються в повітряному середовищі приміщення. При цьому діапазон використовуваних для аналізу частот, як правило, розташовується в чутої людиною області. Самі сповіщувачі для реалізації

функції виявлення ніяких сигналів не виробляють. Тому їх стандартну назву - сповіщувачі охоронні пасивні звукові [5].

На першому етапі розвитку АСРС використовувався одноканальний метод аналізу акустичних сигналів. Алгоритм виявлення був орієнтований на характерний, знайомий всім високочастотний звук розбиття скла, ефективна частина спектра якого знаходиться в діапазоні від одиниць до сотен кГц (людина може чути максимум до 15-18 кГц, залежно від віку та індивідуальних особливостей його органів слуху). Однак, як з'ясувалося пізніше, звуки, подібні цьому, можуть виникати не тільки при руйнуванні заскленої конструкції, але і при падінні зв'язки ключів або скляних предметів, співударі металевих деталей, роботі дзвінків або сирен і впливі інших імпульсних звукових сигналів. Тому завадостійкість таких сповіщувачів була не дуже високою.

Черговим кроком у розвитку АСРС стало використання двоканальної обробки сигналу. Це обумовлено тим, що звичний для нас високочастотний звук розбиття скла є хоча і досить характерним, але все ж вторинним. При руйнівному ударі по склу на першому етапі відбувається невеликий прогин скляного полотна і його вібрація, в результаті якої виникають низькочастотні звукові коливання в діапазоні від одиниць до сотень Гц (залежно від розмірів скла, способу його руйнування, особливостей розміщення несучої конструкції). У цей момент у склі виникає внутрішнє напруження. Якщо воно перевищує критичний рівень, то відбувається розлом матеріалу, що супроводжується утворенням і поширенням тріщин. Виникає при цьому акустична емісія породжує той самий характерний високочастотний звук розбиття скла.

Деякі виробники поділяють ці два (основних) діапазону на піддіапазони, деякі використовують інфразвукові й ультразвукові області спектра сигналу. На їхню думку, така диференціація дозволяє більш чітко групувати критерії корисного сигналу по різних типоразмерах стікол і способах їх руйнування, використовуючи, наприклад, мажоритарну логіку. Однак, як показує практика, ускладнення алгоритму роботи сповіщувача не завжди виправдано. При розумному формуванні набору інформаційних ознак корисного сигналу і критеріїв їх аналізу цілком достатньо двох основних частотних діапазонів, обраних з урахуванням фізичних особливостей процесу руйнування скла [5].

На рис. 1. наведено узагальнену функціональну схему АСРС, де: 1 - чутливий елемент (датчик АЕ); 2 - блок обробки сигналу АЕ; 3 - блок індикації; 4 - блок формування сповіщень; 5 - блок живлення; 5' - контроль напруги живлення.

У процесі функціонування АСРС приймають участь звукові сигнали (сигнали АЕ), які фіксуються за допомогою чутливого елемента – датчика АЕ (п'єзоелек-

тиричний перетворювач) (1), що перетворює їх в електричні сигнали, що надходять в блок обробки (2). У цьому блоці здійснюється підсилення сигналів та їх аналіз за виділеними ознаками. При ідентифікації сигналу як звуку від розбитого скла на виході блоку обробки (2) виробляється керуючий сигнал, переданий в блок формування сповіщень, який видає сигнал тривоги в лінію зв'язку. Крім того, блок формування сповіщень управляє роботою вбудованих світлових індикаторів (3), що відображають стан сповіщувача. Блок живлення (4) забезпечує електроживленням інші функціональні частини сповіщувача.

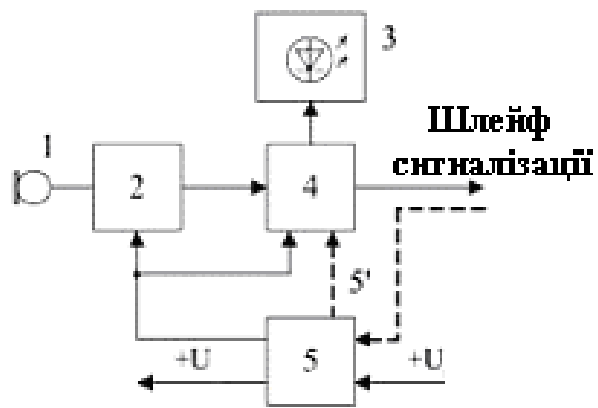


Рис. 1 – Узагальнена функціональна схема АСРС

Основними вузлами, визначальними сумісність сповіщувача з іншими технічними засобами системи сигналізації, є блоки живлення (5) і формування сповіщень (4). Параметри стиків: "сповіщувач-джерело електроживлення", "сповіщувач-шлейф сигналізації (ШС), або лінія пульта централізованого спостереження" визначені в нормативних документах.

Запропоновані апаратні засоби АЕ, що можуть бути використані під час руйнування стікол в АСРС. Найпростішу структурну схему каналу реєстрації сигналу АЕ при руйнуванні поверхні, можливо уявити наступним чином рис. 2: ДАЕ – датчик АЕ, УС – узгоджуючий підсилювач, АЦП – аналого цифровий перетворювач та ПК – персональний комп'ютер.

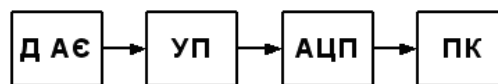


Рис. 2 – Структурна схема каналу реєстрації АЕ

Датчик або групу датчиків АЕ розташовують на поверхні скла, яке підлягає контролю.

В основному, виготовляють датчики двох видів: закритого та відкритого типу. Корпус датчика забезпечує екранування від наводок електромагнітних завад та захист активного елементу від механічних пошкоджень, що підвищує його строк експлуатації [8].

Одним з найбільш простих конструктивних рішень є застосування двох половинок протилежно поляризованих дисків, які лежать на заземленому електроді. Для прийому поверхневих хвиль необхідно, щоб діаметр п'єзоелементів був менше чи рівний половині довжини поверхневої хвилі. Диференційний перетворювачі з трьох однакових п'єзодисків більш зручні по конструкції, так як зовнішні поверхні крайніх дисків заземлені.

Головною характеристикою датчиків АЕ є ширина смуги робочих частот. Ця характеристика визначає чутливість та дозволяючу здатність, діапазон та точність вимірювання фізичних параметрів.

Перспективним способом розширення смуги робочих частот датчиків АЕ є демпфування активного елементу – п'єзопластини, та оптимальне акустичне узгодження. Таким чином, загальна вимога до демпфера є використання матеріалів, які мають акустичний імпеданс, який близький до імпедансу п'єзокераміки.

На виході датчика АЕ формується електричний сигнал, який потребує подальшого підсилення та обробки.

Згідно вимог до АЕ апаратури, амплітудно-детектуючий тракт повинен мати низький рівень шумів, високий вхідний опір та працювати в широкому частотному діапазоні. Тому для побудови АЕ тракту було використано наступні операційні підсилювачі: AD 8055 фірми Analog Devises в підсилювальному та детектуючому каскадах, та операційний підсилювач ОРА 604 фірми Burr-Brown в якості повторювача напруги.

Запропонований підсилювальний каскад АЕ (рис. 3) забезпечує коефіцієнт підсилення аналогового сигналу приблизно в 100 разів, та зменшує наявність похибок в широкому діапазоні частот.

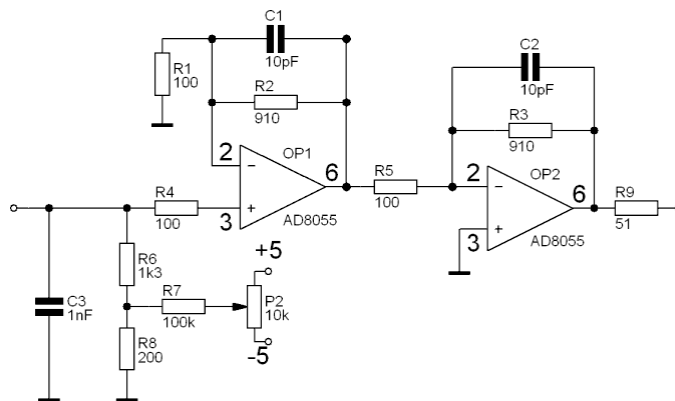


Рис. 3 – Схема підсилюючого тракту сигналів АЕ

Як запам'ятовуючий елемент у більшості детекторів

використовується конденсатор. Якість амплітудного детектора в режимі вибірки можливо визначити по двох параметрах – часу вибірки й похибки вибірки.

Запропоновано амплітудний детектор, який працює в діапазоні малих напруг та має високу чутливість (рис. 4). Він складається з двох основних частин: перетворювача середньовипрямлених значень і фільтра. На відміну від пасивних випрямлячів, де використовуються діоди з напругою відкриття р-п переходу, при низьких рівнях сигналу запропонований амплітудний детектор АЕ має значно меншу похибку, а використання сучасного високочастотного операційного підсилювача дозволило створити детектор з високим коефіцієнтом підсилення.

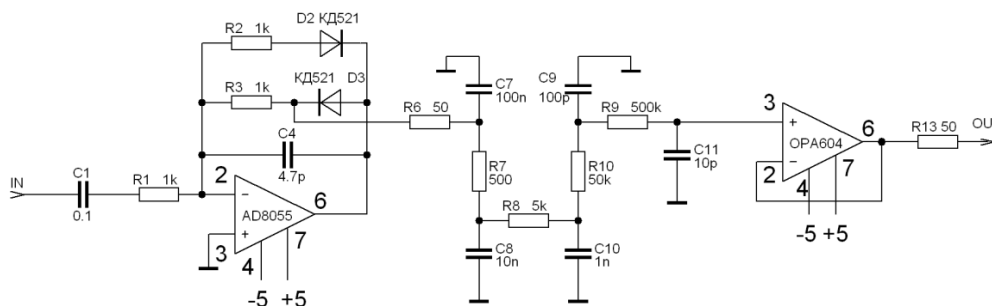


Рис. 4 – Схема амплітудного детектора

Всі мікросхеми в підсилювально-детектуючому АЕ тракті живляться напругою  $\pm 5V$ . Оскільки, ставилася задача розробки системи здатної працювати в польових умовах, було вирішено використовувати живлення  $+5V$  від USB. Для отримання відповідної напруги та гальванічної розв'язки між двома блоками та ПК а також двохполярного живлення було використано два DC-DC перетворювача фірми Yuan Dean Scientific 10D-05S05N. Причому вихід  $+5V$  одного перетворювача з'єднувався з виходом  $-5V$  іншого, утворюючи цим з'єднувальний загальний провід.

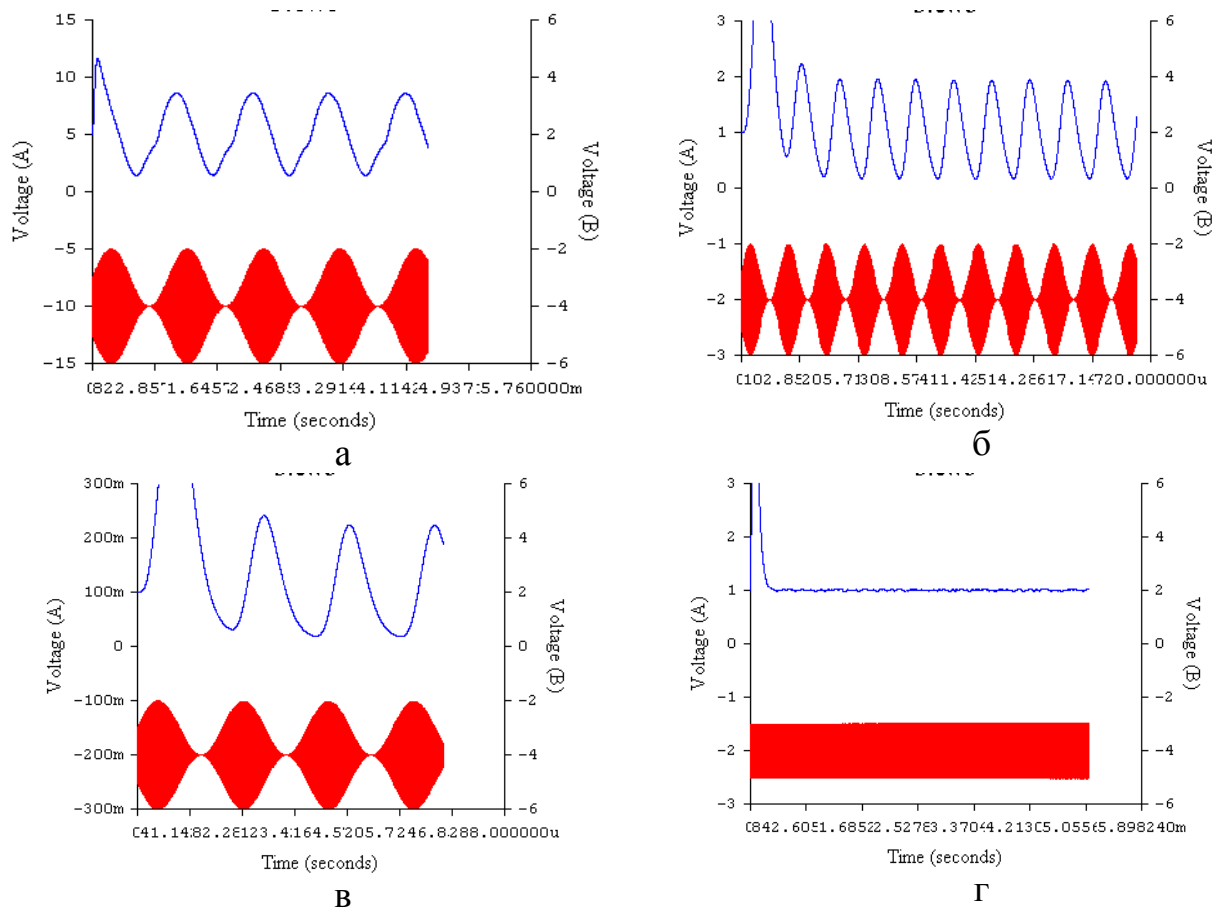


Рис. 5 – Осцилограми вхідного і вихідного сигналу: *а* – частота вхідного сигналу 100 кГц, частота модуляції 1кГц; *б* – частота вхідного сигналу 500 кГц, частота модуляції 1кГц; *в* – частота вхідного сигналу 2000 кГц, частота модуляції 1кГц; *г* – частота вхідного сигналу 100 кГц, модуляція відсутня

Представлені апаратні засоби забезпечують дослідження сигналів АЕ з високою чутливістю, близькою до 100 мкВ, в широкому частотному діапазоні. Оскільки даний пристрій працює на високих частотах, то для зменшення на нього впливу завад, в конструкції використана сучасна SMD база елементів. Малий розмір компонентів та відсутність ніжок на них зменшують паразитний високоіндуктивний вплив ніжок звичайних вивідних елементів. Моделювання в пакеті Electronics Workbench схеми (рис. 4) дозволило отримати осцилограми для контролю роботи схеми та дослідити роботу детектора з різними характеристиками вхідного сигналу. Як видно з осцилограм на рис. 5, а - г, схема виконує детектування вхідного сигналу в заданому діапазоні від 100 кГц до 2 МГц [3].

**Висновки.** Розроблені апаратні засоби для реєстрації та обробки сигналів АЕ можуть бути застосовані в системах технічного захисту. Вони мають високу чутливість, малі габарити завдяки використанню сучасних SMD технологій та широкий частотний діапазон.

**Список літератури:** 1. Німченко, Т. В. Сучасні апаратні та програмні засоби для дослідження сигналів акустичної емісії [Текст] / Т. В. Німченко, А. П. Стахова // Наука і молодь. Прикладна серія: збірник наукових праць. – 2009. – С. 84–87. 2. Німченко, Т. В. Моделювання апаратури ІВС для реєстрації неперервної акустичної емісії [Текст] / Т. В. Німченко, А. П. Стахова // Електроніка та системи управління. – 2007. – №4. – С. 112–115. 3. Німченко, Т. В. Використання сучасних SMD технологій при побудові підсилювально-детектуючого тракту сигналів акустичної емісії [Текст] / Т. В. Німченко, Д. П. Орнатський, О. М. Лободенко // Збірник наукових праць “Захист інформації”. –

2008. – Спеціальний випуск. – С. 77–80.**4.** *Девин, Л. Н.* Акустико-эмиссионная измерительная система для контроля за состоянием режущих инструментов [Текст] / *Л. Н. Девин, Т. В. Нимченко, А. А. Осадчий* // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – 2008. – Вип.2 (17). – С. 105–108.**5.** Каталог "Охранная и охранно-пожарная сигнализация". – №2005. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.tehbezpeka.com.ua/papers/papers> 30.php. – 2005.**6.** *Хорев, А. А.* Способы и средства защиты информации. / А. А. Хорев – М.: МО РФ, 2000. – 316 с.**7.** *Хорошко, В. О.* Методы и средства защиты информации [Текст] / *В. О. Хорошко, А. А. Чекатков* – К.: Издательство Юниор, 2003. – 504 с. **8.** *Нимченко, Т. В.* Исследование демпфирующих способностей вставок датчиков акустической эмиссии на основе никелида титана [Текст] / *Т. В. Нимченко, Л. Н. Девин, Л. А. Борковская* // Вісник інженерної академії України. - 2007. - №3,4. - С.174–177.**9.** *Филоненко, С. Ф.* Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика [Текст] / *С. Ф. Филоненко* – К.: КМУГА, 1999. – 312 с.**10.** *Filonenko, S.* Two approaches to the description of acoustic emission signals in the kinetic model of composite destruction [Text] / *S. Filonenko, V. Kalita, T. Nimchenko* // AVIATION 2011. – 2011. – P. 31–37.

**References (transliterated):** **1.** *Nimchenko, T. V., Stakhova, A. P.* (2009). Modern hardware and software tools for the study of acoustic emission signals. Science and youth. Applied series: a collection of scientific papers, 84–87.**2.** *Nimchenko, T. V., Stakhova, A. P.* (2007). Modeling IBC equipment to record continuous acoustic emission. Electronics and management, 4, 112–115. **3.** *Nimchenko, T. V., Ornatskyy, D. P., Lobodenko, A. M.* (2008). The use of modern technologies in the construction of SMD-intensive detektuyuchoho tract acoustic emission signals. Collected Works "Data Protection", Special Issue, 77–80.**4.** *Devin, L. N., Nimchenko, T. V., Osadchiy, A. A.* (2008). Acoustic emission measurement system for monitoring the state of cutting tools / LN Devin T. Nimchenko, // High Technology in Mechanical Engineering : collection of scientific papers NTU "KPU", 2 (17), 105–108.**5.** Catalog "Security and fire alarm system." (2005). <http://www.tehbezpeka.com.ua/papers/papers> 30.php. **6.** *Horev, A. A.* (2000). Ways and means of information protection. M.: RF Ministry of Defense, 316.**7.** *Horoshko, V. O., Chekatkov, A. A.* (2003). Methods and means of information protection. K. : Publishing Junior, 504.**8.** *Nimchenko, T.V., Devin, L. N, Borkovskaya, L. A.* (2007). Investigation of the damping capacity of acoustic emission sensors inserts TiNi. Bulletin of Engineering Academy of Sciences of Ukraine, 3–4, 174–177.**9.** *Filonenko, S. F.* (1999). Acoustic emission. Measurement, control, diagnostika. K. : KMUGA, 312. **10.** *Filonenko, S, Kalita, V., Nimchenko, T.* (2011). Two approaches to the description of acoustic emission signals in the kinetic model of composite destruction . AVIATION 2011, 31–37.

Надійшла (received) 21.04.2015

УДК 621.1016-001.57

**О. С. САВЕЛЬЕВА**, д-р техн. наук, проф., ОНПУ, Одесса;

**Г. В. НАЛЕВА**, канд. техн. наук, доц., Одесская национальная морская академия

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СТРУКТУРНОЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и применением для расчета показателей надежности ускоренных методов моделирования. Предложено для оценки структурной отказоустойчивости сложных систем, структурная модель которых может быть сведена к нейроподобной, использовать информационную структурную статистическую модель. На примере очистительных сооружений показана возможность сравнивать выбранные конструкции по полученным значениям показателя структурной отказоустойчивости.

**Ключевые слова:** ускоренное моделирование, информационные модели, показатель отказоустойчивости, проектирование, структурные статистические модели.

© О. С. САВЕЛЬЕВА, Г. В. НАЛЕВА, 2015