УДК 351.861:504.064:614.8 **DOI 10.33042/2522-1809-2019-5-151-100-106**

О.А. Лєвтєров

Національний університет цивільного захисту України , Харків, Україна

ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ ЗА АКУСТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ОСЕРЕДКУ НЕБЕЗПЕКИ

Експериментально було досліджено акустичне випромінювання з зони надзвичайної ситуації. В результаті сформована сукупність тимчасових рядів і амплітудно-частотних характеристик акустичних сигналів.

Кількість фіксованих через кожні 22 мікросекунди відліків вибірки ряду знаходиться в межах від $0,5•10^6$ до $1,2•10^6$. Проведено фрактальний аналіз акустичних випромінювань на основі залежності нормованого розмаху вибірки від її довжини. Встановлено можливість здійснення автоматизованої обробки акустичних сигналів із зони небезпеки і ідентифікації по залежностям числових показників Херста (Н). Цифрова обробка отриманих спектрів акустичних коливань виконувалася за допомогою готових комп'ютерних програм і програм, спеціально розроблених автором.

Ключові слова: *акустична емісія, тимчасові ряди, ідентифікація, надзвичайна ситуація.*

Актуальність проблеми

Потенційна загроза виникнення пожежі вимагає залучення нових, сучасних підходів і методів до аналізу пожежонебезпечної ситуації, що дозволяють запобігти виникненню пожежі. Для забезпечення надійності системи пожежної безпеки використовуються всі прийнятні нові технології, що з'являються в будь-якій галузі науки і техніки. Розвиток мікроелектроніки та інформаційних технологій, поряд з подальшим осмисленням фізики і хімії процесів горіння, дозволив в останні роки досліджувати й використовувати ефект акустичної емісії (АЕ) в різних технологічних процесах. Доцільно розглянути цей ефект для раннього діагностування можливого осередку займання.

Метод АЕ є одним з провідних серед надійних інтегральних методів достовірного діагностування технічного стану небезпечних виробничих об'єктів і неруйнівного контролю дефектів, що зароджуються. Для виявлення дефектів у твердих матеріалах метод використовується давно й досить затребуваний [1,2,3]. Властивість ефекту АЕ пропонується використовувати і в якості безперервного контролю за радіоактивними відходами, що зберігаються в спеціальних ємностях [4]. За допомогою характерного сигналу АЕ спостерігається протягом процесу насичення металу воднем при гальванічному гідруванні - так, наприклад, фіксується момент формування гідриду паладію [5].

Ефект виникнення акустичних випромінювань в ході хімічних реакцій аналізувався вже в 70-х і 80-х роках XX століття [6,7], що дозволило отримувати важливу інформацію щодо хімічної кінетики й фізико-хімічних процесів [8,9]. Інтерес в цих роботах представляє висновок про універсальність явища АЕ, тобто про виникнення генерації і синхронності акустичних коливань в будь-якому реакційному середовищі або фізико-хімічному процесі.

Вогонь - це, по суті, хімічна екзотермічна реакція, яка має коливальне випромінювання тепла і світла. Публікацій, що зв'язують АЕ і процеси горіння рідких і твердих речовин, мало, процеси горіння, як правило, розглядаються стосовно до енергетичних установок, що перетворює енергію горіння в механічну роботу. Цікава робота [10]. Методами акустичної емісії аналізується процес горіння твердого ракетного палива в заданих діапазонах тиску і температури, що спалюється в пальнику, розташованому під водою. Дослідження акустичних спектрограм дозволило зробити висновки про найважливіші характеристики палива: швидкість горіння, періоди затримки займання, локальні згасання.

Постановка проблеми

Ефективність забезпечення пожежної безпеки залежить від ймовірності раннього виявлення осередку загоряння. Внаслідок цього, проблема полягає в підвищенні ефективності та достовірності раннього виявлення осередку загоряння й ідентифікації палаючої речовини, особливо на об'єктах зі складною пожежною навантаженням, що вимагає різних вогнегасних складів в системах автоматичного пожежогасіння.

 © Лєвтєров О.А.

Для вирішення даної проблеми необхідно в якості факторів, що характеризують процес загоряння, використовувати нові фізичні явища, що супроводжують процес раннього загоряння і раніше не застосовувалися.

До таких нових чинників і методів можна віднести виявлення осередку загоряння на основі фізичного явища як ефект акустичної емісії (АЕ) процесу горіння.

Для вирішення даної проблеми необхідно розробити методику й теоретичні основи щодо ідентифікації процесу горіння целюлозомістких матеріалів.

Очевидно, що метод АЕ стосовно дослідження хімічних реакцій в режимі реального часу дозволяє спостерігати за процесом, що особливо важливо для швидких реакцій, до яких відносяться реакції горіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Про життєздатну, але нерозвинену концепцію використання АЕ для раннього виявлення осередку загоряння при горінні матеріалів різної структури було заявлено в 1994 році [11]. Процес утворення акустичних хвиль не обмовляється, явище АЕ зв'язується з підвищенням температури навколишнього середовища в результаті нагрівання й обвуглювання. Про АЕ як прикладний інструмент для виявлення вогню на складах і в літаках повідомляється в [12]. Обидва дослідження побічно фіксують ефект АЕ в об'єктах, не пов'язуючи його з процесом горіння самого речовини.

Спосіб виявлення вогню за допомогою АЕ в силу особливостей цього явища (високої чутливості, простоти реєстрації сигналу, широкої області покриття навіть у важкодоступних місцях, можливості отримання швидкої реакції, можливості класифікації ступеня небезпеки, можливої ідентифікації) передбачає ряд переваг при ранньому виявлення осередку пожежі.

З точки зору пожежної безпеки інтерес викликають хімічні процеси в горючих речовинах, що призводять до виникнення пожежі. Горючі речовини різноманітні за типом: вони можуть бути газоподібними, рідкими і твердими, але утворення полум'я пов'язане з газоподібним станом речовини, тому для початку процесу горіння твердих і рідких речовин передбачається їх перехід в газоподібний стан. У разі горіння рідин - це кипіння з випаровуванням газоподібних продуктів з поверхні; при горінні твердих матеріалів - це процес піролізу, тобто хімічного розкладання, пов'язаного з високотемпературною деструкцією. Склад продуктів піролізу (летючих сполук) на поверхні палаючих твердих матеріалів дуже складний.

Усі тверді матеріали, що представляють інтерес з точки зору пожежної безпеки, - як правило, полімери природного і синтетичного походження з високою молекулярною масою.

У роботах [13, 14] розглянута можливість раннього виявлення вогню за допомогою методу АЕ, розроблена методика проведення експерименту, його конструкторський і програмний супровід. Спираючись на ці розробки, для раннього виявлення потенційного осередку загоряння в місцях зберігання целюлозомістких продуктів, виконана серія експериментів за спостереженням процесу горіння цих пожежонебезпечних речовин з подальшим аналізом отриманих результатів.

Процес горіння досліджуваних однорідних за структурою і складом речовин протікає в області перемішування парів рідини й окиснювача. Будемо вважати його сталим випадковим процесом, що супроводжується послідовним випромінюванням акустичного сигналу змінної інтенсивності.

Алгоритм обробки сигналів АЕ, що супроводжують хімічні реакції горіння дослідних зразків займистих речовин будується на умови існування тимчасового ряду, отриманого як безліч спостережуваних значень фізичних величин $X(t)$, реєстрованих за часом. Як правило, інформація про поведінку фізично складних динамічних систем виходить у вигляді саме таких експериментальних даних, але далеко не всі процеси, особливо природні явища, можна описати аналітично: диференціальними рівняннями, традиційними методами теорії ймовірностей і математичної статистики. Опис таких процесів дає поняття фрактала [15]. Одним з основних інструментів вивчення фрактальних об'єктів є хвилі різної природи, в тому числі акустичні [16]. Важливою сферою застосування фракталів є аналіз часових рядів: послідовностей вимірювання фізичних величин, упорядкованих за часом. Як правило, інформація про поведінку складних систем виходить у вигляді саме таких експериментальних даних. Фрактальні тимчасові ряди виникають, зокрема, при вимірюванні різних природних шумів. Розвиток фрактальних моделей в акустиці й високий потенціал фрактального аналізу за допомогою оціночних показників Херста і фрактальної розмірності відзначається в різноспрямованих роботах [17, 18], присвячених дослідженню акустичних хвиль.

Основна властивість фракталів - дрібна розмірність, на відміну від звичної одно-, дво- і тривимірної розмірності. Фрактальний аналіз часових рядів [19, 20] допомагає виявити і

охарактеризувати фрактальні особливості поведінки явища в разі неможливості опису його аналітично; визначає ступінь стохастичності процесу, здатний функціонувати на всіх рівнях: амплітудному, частотному, фазовому, поляризаційному, тому найкраще підходить для обробки акустичних сигналів [21].

Виклад основного матеріалу

Частотний діапазон АЕ хімічних реакцій виходить за межі області частотних діапазонів, характерних для виробничих приміщень і приміщень з перебуванням людей [22]. Отже, можна виділити характеристичний для осередку загоряння спектр випромінюваних звукових хвиль на тлі загального акустичного випромінювання.

Вимірювання АЕ, що генерується процесом горіння целюлозомістких речовин, проводились пасивним методом в режимі реального часу без прямого контакту. Обробка отриманих спектрів акустичних коливань із зони процесу горіння проводилося відповідно до алгоритму [13, 14] за допомогою готових комп'ютерних програм і програм, спеціально розроблених автором.

Для запису звукового файлу (часовий ряд) і миттєвих зрізів спектра використовувалося програмне забезпечення Adobe Audition CC v9.2, обробка та аналіз спектра аудіо файлу реалізовані в середовищі MatLab R2016b. Таким чином оброблені зареєстровані спектри АЕ всіх зразків, використаних в експерименті. В результаті для кожного зразка (однакової маси) речовини сформувалося по 3 досліди, що характеризують процес горіння. Сигнал фіксувався кожні $2{,}2 \cdot 10^{-5}$с (обмежений апаратними засобами реєстрації) до моменту припинення горіння, кількість відліків знаходиться в межах від $1{,}5 \cdot 10^{6}$ до 9, $7 \cdot 10^{6}$. В результаті отримана сукупність тимчасових рядів і їх амплітудно-частотних характеристик.

В аналізі часових рядів традиційно виділяються два завдання: ідентифікації (визначення розмірності вкладення, що породила досліджуваний ряд) і прогнозування поведінки ряду. У роботі розглядається можливість розпізнавання типу зразків палаючих речовин і, крім того, міра подібності між зразками одного класу, тобто між результатами експериментів, що стосуються одного і того ж речовини.

На рис. 1-3 для прикладу наведені типова форма спектру випромінювання, часовий ряд і амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) акустичного сигналу, що реєструється в процесі горіння деревини (сосна).

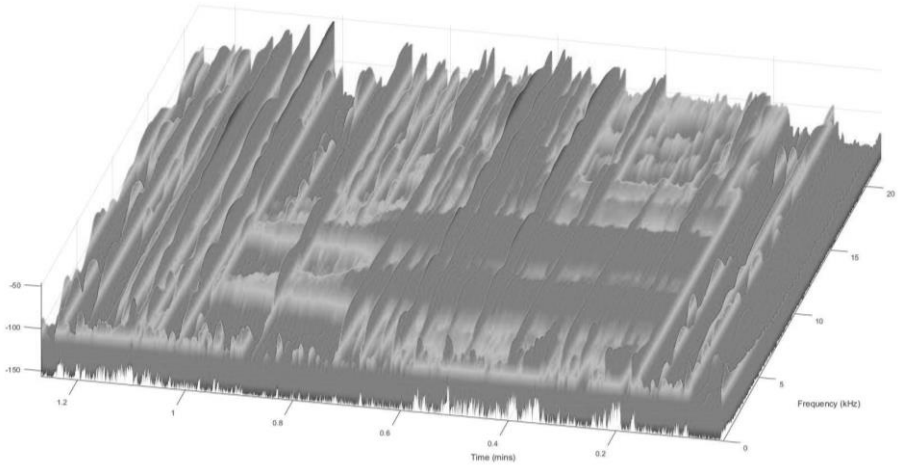


Рис. 1. Спектрограма АЕ в процесі горіння деревини (сосна)

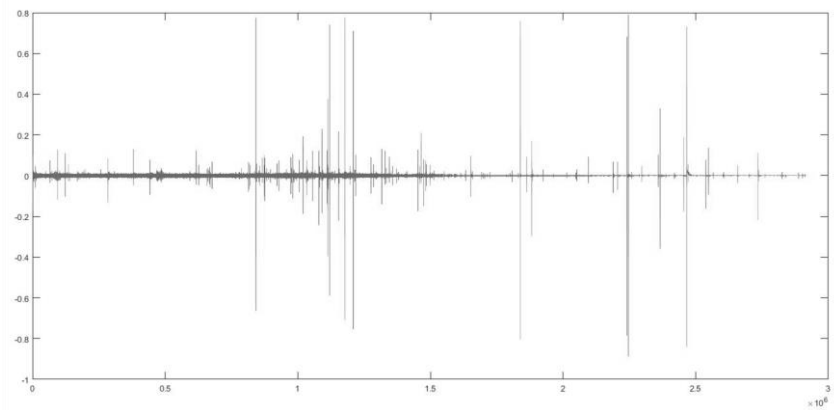


Рис. 2. Часовий ряд акустичного сигналу (амплітуда від часу) при горінні деревини

Керуючись метою дослідження для визначення параметрів АЕ й ідентифікації речовини за акустичним сигналом скористаємося фрактальним аналізом кожного зареєстрованого тимчасового ряду відповідно до алгоритму [20, 23]. Показник Херста – H, який визначає фрактальні властивості ряду, обчислюється методом нормованого розмаху або фрактального R/S аналізу, що не містить вимог до форми розподілу, що лежить в основі [20]:

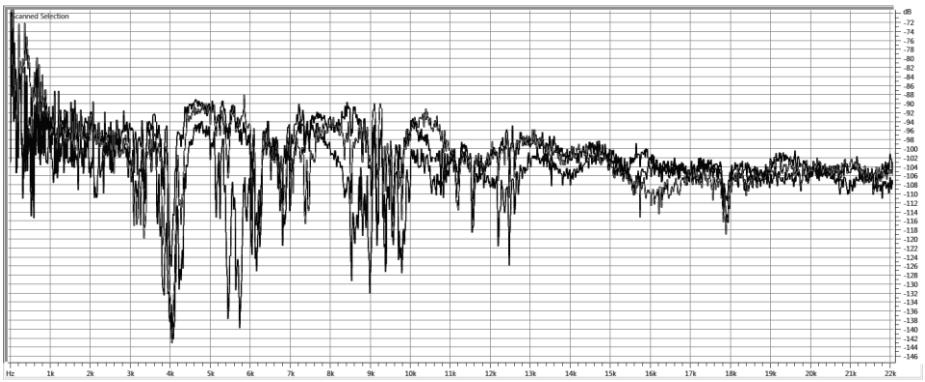
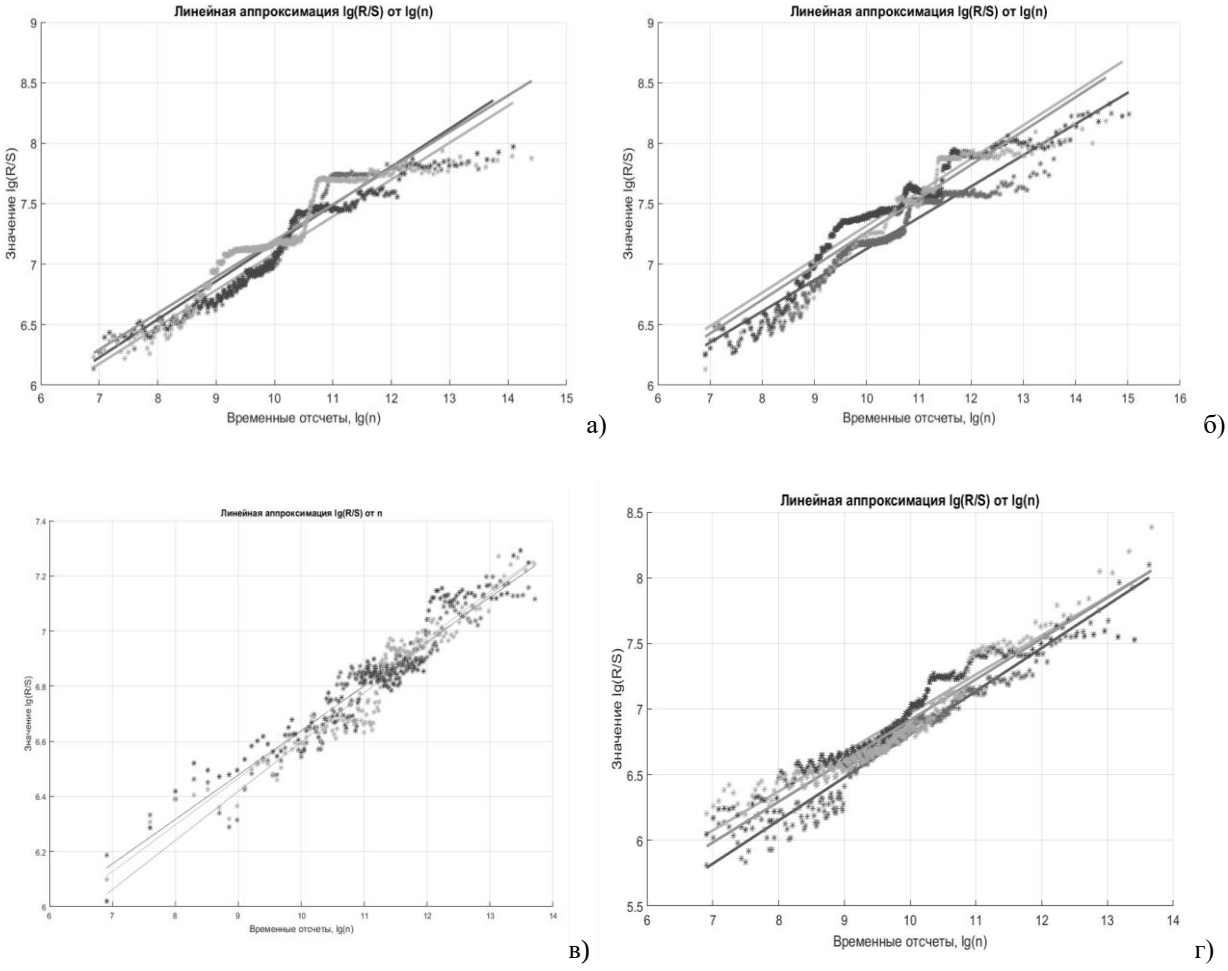


Рис. 3. АЧХ закустичного сигналу при горінні деревини (вісь абсцис - амплітуда в дБ, вісь ординат - частота в кГц)

$$(R/S)_n = c \cdot n^H, \qquad (1)$$

де R – відстань, на яку переміщається система за період часу, що задається (кількість відліків n), а S – стандартне відхилення.



а) - паперу, б) - картону, з) - вати, д) - деревини (сосна)

Рис. 4 Результати R/S аналізу часових рядів, отриманих в процесі горіння.

Визначення показника Херста *H* проводиться простою лінійною апроксимацією вираження:

$$\lg(R/S)_n = \lg(c) + H\lg(n), \qquad (2)$$

звідки

$$H = \lg(R/S)/\ \lg(n) - C, \qquad (3)$$

де константа *C=lg(c)/lg(n).*

Тангенс кута нахилу апроксимуючої прямої і є оцінка показника Херста, а відрізок, що відсікається нею по осі ординат - константа *C*.

На показник Херста істотно впливає величина часового проміжку між значеннями вибірки акустичного сигналу. Ступінь точності прямої, що апроксимує показник Херста, збільшується зі зменшенням часового проміжку. У всіх розрахунках використана величина τ = 22 мкс, регламентована апаратними можливостями реєструючого пристрою.

Фрактальна розмірність *D* пов'язана з показником Херста співвідношенням *D=2-H,* яке справедливо, коли структура кривої, яка описує фрактальну функцію, досліджується з високою роздільною здатністю, тобто в локальному межі [19, 24].

Результати *R/S* аналізу часових рядів при горінні деревини, вати, картону і паперу представлені на рис. 4 і табл. 1. Показник Херста досліджуваних часових рядів *H* знаходиться в межах *0<H<0.5*, що характеризує змінну систему, при значенні *0.5<H<1* система більш стійка [20]. Переходячи до фрактальної розмірності, маємо *1<D<2,* тобто розмірність хаотичності часових рядів, що реєструються при згорянні целюлозомістких речовин, лежить між кривою (*D=1*) і площиною (*D=2*).

Таблиця 1

Значення величини показника *H* часових рядів при горінні зразків целюлозомістких матеріалів

Номер досліду	Найменування матеріалу			
	Деревина	Вата	Картон	Папір
1	0.328	0.169	0.258	0.315
2	0.296	0.161	0.279	0.304
3	0.310	0.163	0.276	0.300

Результати експериментів і обробки даних можна розділити на дві групи. В одному ряду знаходяться деревина і папір (*0.3<H<0.32*), в іншому - вата, картон (*0.16<H<0.27*). Показник Херста залежить від будови молекул палаючої речовини, від особливостей кристалічної решітки, різного ступеня стійкості до термодеструкції при підвищенні температури. Близькі показники у деревини і паперу, швидше за все, пов'язані з масовою часткою змісту в них целюлози.

Молекули природних лінійних полімерів (целюлоза) з елементарних ланок (**мономерів**), які з'єднуючись в довгі ланцюги, багаторазово повторюються. Дерево, папір, бавовна, - всі вони містять целюлозу в різних пропорціях. Поєднання і перестановка декількох типів мономерів в довгих полімерних ланцюгах забезпечує побудову безлічі варіантів і визначає різні властивості полімерів, тому так відрізняються, наприклад, деревина й вата і близькі за показниками деревина й папір. Крім того, матеріали природного походження, як правило, мають пористу структуру і їм притаманне тліюче горіння вуглистого залишку при досить низькій температурі (250-300 °С), що вимагає додаткових досліджень.

Висновки

В результаті експерименту отримана сукупність часових рядів, амплітудно-частотних характеристик, що характеризують акустичну емісію, яка генерується при горінні досліджуваних речовин. За допомогою R/S аналізу показана принципова можливість ідентифікації отриманих часових рядів і часової множини, на якій відображено досліджуваний часовий ряд. Встановлено залежність показника *H* від різновиду целюлозовмістної. Проведені дослідження показали можливість використання показника *H* при автоматизованій обробці акустичної інформації з потенційної зони загоряння. Акустичний метод, що має низку переваг (висока чутливість, легкість реєстрації в режимі реального часу, широка область покриття, можливість отримання швидкої реакції), розширює коло відомих методів раннього виявлення осередку загоряння. Система пожежної безпеки зі спеціальними апаратними засобами, що реалізують акустичний метод ідентифікації палаючого речовини, які налаштовуються для конкретного сховища, складу і відповідно до виду зберігається продукції, розширює можливості методів раннього виявлення, дозволяє підвищити достовірність

виявлення вогнища пожежі, і, тим самим, зменшити число помилкових спрацьовувань або додатково перевірити факт загоряння.

Література

1. Грешников, В.А. Акустическая эмиссия. [Текст] / В.А Грешников, Ю.Б. Дробот – М.: изд-во Стандартов, 1976.

2. A study of acoustic emission technique for concrete damage detection (2011) Jun Zhou, Michigan Technological University, A Report, 62.

3. Семашко, Н.А. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении [Текст] / Н.А. Семашко, В.И. Шпорт, Б.Н. Марьин и др.; под общ. ред. Н.А.Семашко.- М.: Машиностроение, 2002. - 240 с.

4. Spasova, L.M., Ojovan, M.I. (2008) Characterisation of Al corrosion and its impact on the mechanical performance of composite cement wasteforms by the acoustic emission technique, *Journal of Nuclear Materials, Volume 375 (3),* 347-358.

5. Jiaxiang Piao, Hiroya Shoji, Takahiro Murakami, Ryousuke Shiina and Shuji Harada (2015) Acoustic Emission Measurements on Metal-Hydrogenation Process by Using Electrochemical Charging Cell. *Materials Transactions.* The Japan Institute of Metals and Materials. *Vol. 56, No. 9*, 1496 – 1500.

6. Задумин, С. Н. [Текст] / С.Н. Задумини др. // Журнал экспериментальной и теоретической физики, том 68, вып. 4.– 1975 - С. 1316 – 1319.

7. Смирнов, А. Н. [Текст] / А.Н. Смирнов, А.Н. Дементьев // Журнал физ. Химии, т. 59, вып. 7. – 1985. - С. 1719 – 1721.

8. Буйло, С.И. Акустико-эмиссионный контроль и диагностика кинетики физико-химических процессов в жидких средах [Текст] / С.И. Буйло, Д.М. Кузнецов // Дефектоскопия. – 2010. – № 9. – С. 74-80. [Rus. J. NDT, 2010, vol. 46, no. 9, pp. 684–689].

9. Смирнов, А.Н. Генерация акустических колебаний в химических реакциях и физико-химических процессах [Текст] / А.Н. Смирнов //Росс.хим.ж., 2001, т. 45 С.29-34.

10. Bossi, I., Ferriello, P., De Luca, L. (2001) Acoustic emission of underwater burning composite solid rocket propellants. *XVI CONGRESSO NAZIONALE AIDAA, 2001, 24-28 September, PALERMO, Pa, ITALY,* 12.

11. Grosshandler, W., Braun, E. (1994) Early Detection Of Room Fires Through Acoustic Emission. *Fire Safety Science. Proceedings of the Fourth International Symposium, T. Kashiwagi, cd., IAFSS, USA, 4,* 773-784.

12. Kwan, C., Zhang, X., and Xu, R. (2003) Early fire detection using acoustic emissions. *in IFAC Proceedings Volumes, june 2003*, 351 – 355.

*13. Левтеров А.*А. *Использование эффекта акустической эмиссии при раннем обнаружении возгорания целлюлозосодержащих материалов объектовой подсистемой универсальной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций в Украине* / В.Д. Калугин, В.В. Тютюник // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков. – ХНУРЭ. – Том. 16. – №1,2. – 2017.– С. 23 – 40.

14. Левтеров А.А. Методы идентификации процесса горения целлюлозосодержащих материалов на основе эффекта акустической эмиссии. [Текст] / А.А. Левтеров, В.Д. Калугин, В.В. Тютюник // Проблемы пожарной безопасности. – Харків: НУЦЗУ, 2017. Вип. 42. С. 72 – 84

15. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы [Текст]: Пер. с англ. / Б. Мандельброт – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

16. Зосимов, В. В. Фракталы и скейлинг в акустике (обзор) [Текст] / В. В. Зосимов, Л. М. Лямшев // Акустический журнал, том 40, № 5. – 1994. - С. 709 –737.

17. Копыл, Е. А. Рассеяние звука случайными фрактальными неоднородностями в океане [Текст] / Е. А. Копыл, Ю. П. Лысанов, Л. М. Лямшев // Акустический журнал, том 48, № 4. – 2002. - С. 517 – 522.

18. Mięsowicz, K., Staszewski, W., Korbiel, T. (2016) Analysis of Barkhausen Noise Using Wavelet-Based Fractal Signal Processing for Fatigue Crack Detection. *International Journal of Fatigue. Vol. 83, Part 2*, 109 – 116.

19. Федер, Е. Фракталы [Текст] / Е. Федер - М.: Мир, 1991. — 258 с.

20. Петерс, Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: Применение теории Хаоса в ивестициях и экономике, [Текст] / Э. Петерс - 2004.– М.: Интернет–трейдинг.– 304 с.

21. Потапов, А.А. Современное состояние радиофизических применений фракталов, дробных операторов и скейлинга [Текст] / А.А. Потапов // III Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» – 26 -30 октября 2009 г. - 842 –876.

22. Вахитов, Я.Ш. Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура. [Текст] / Я.Ш. Вахитов – М.: Искусство, 1982.– 415с.

23. Hurst. H. E. (1951) Long-term storage capacity of reservoirs. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 116*, 770 – 808.

24. Басараб, М.А. Обнаружение аномалий в информационных процессах на основе мультифрактального анализа [Текст] / М.А. Басараб, И.С. Строгонов // Вопросы кибербезопасности.– 2014, №4(7).– С 30 – 40.

References

1. Greshnikov, V.A., Drobot, Ju.B. (1976) Akusticheskaja jemissija.– M.: izd-vo Standartov.

2. A study of acoustic emission technique for concrete damage detection (2011) Jun Zhou, Michigan Technological University, A Report, 62.

3. Semashko, N.A., Shport, V.I., Mar'in, B.N. [i dr.] (2002) Akusticheskaja jemissija v jeksperimental'nom materialovedenii. - M.: Mashinostroenie, 240.

4. Spasova, L.M., Ojovan, M.I. (2008) Characterisation of Al corrosion and its impact on the mechanical performance of composite cement wasteforms by the acoustic emission technique, *Journal of Nuclear Materials, Volume 375 (3),* 347-358.

5. Jiaxiang Piao, Hiroya Shoji, Takahiro Murakami, Ryousuke Shiina and Shuji Harada (2015) Acoustic Emission Measurements on Metal-Hydrogenation Process by Using Electrochemical Charging Cell. *Materials Transactions.* The Japan Institute of Metals and Materials. *Vol. 56, No. 9*, 1496 – 1500.

6. Zadumin, S. N. i dr. (1975) *Zhurnal jeksperimental'noj i teoreticheskoj fiziki, 68, 4*, 1316 – 1319.

7. Smirnov, A. N., Dement'ev, A.N. (1985) *Zhurnal fiz. Himii, 59, 7*, 1719 –1721.

8. Bujlo, S.I., Kuznecov, D.M. (2010) Akustiko-jemissionnyj kontrol' i diagnostika kinetiki fiziko-himicheskih processov v

zhidkih sredah. *Defektoskopija, 9,* 74-80. [Rus. J. NDT, 2010, vol. 46, no. 9, pp. 684–689].
9. Smirnov, A.N. (2001) Generacija akusticheskih kolebanij v himicheskih reakcijah i fiziko-himicheskih processah. *Ross.him.zh., 45,* 29-34.
10. Bossi, I., Ferriello, P., De Luca, L. (2001) Acoustic emission of underwater burning composite solid rocket propellants. *XVI CONGRESSO NAZIONALE AIDAA, 2001, 24-28 September, PALERMO, Pa, ITALY,* 12.
11. Grosshandler, W., Braun, E. (1994) Early Detection Of Room Fires Through Acoustic Emission. *Fire Safety Science. Proceedings of the Fourth International Symposium, T. Kashiwagi, cd., IAFSS, USA, 4,* 773-784.
12. Kwan, C., Zhang, X., and Xu, R. (2003) Early fire detection using acoustic emissions. *in IFAC Proceedings Volumes, june 2003,* 351 – 355.
13. Levterov, A.A., Kalugin, V.D., Tjutjunik, V.V. (2017) Ispol'zovanie jeffekta akusticheskoj jemissii pri rannem obnaruzhenii vozgoranija celljulozosoderzhashhih materialov ob#ektovoj podsistemoj universal'noj sistemy monitoringa chrezvychajnyh situacij v Ukraine. *Prikladnaja radiojelektronika, 16, 1,2.* – Har'kov. – HNURJe, 23 – 40.
14. Levterov, A.A., Kalugin, V.D., Tjutjunik, V.V. (2017) Metody identifikacii processa gorenija celljulozosoderzhashhih materialov na osnove jeffekta akusticheskoj jemissii. *Problemy pozharnoj bezopasnosti, 42, – Harkiv: NUCZU,* 72 – 84
15. Mandel'brot, B. (2002) Fraktal'naja geometrija prirody: Per. s angl. – M.: Institut komp'juternyh issledovanij, 656.
16. Zosimov, V. V., Ljamshev, L. M. (1994) Fraktaly i skejling v akustike (obzor). *Akusticheskij zhurnal, 40, 5,* 709 – 737.
17. Kopyl, E. A., Lysanov, Ju. P., Ljamshev, L. M. (2002) Rassejanie zvuka sluchajnymi fraktal'nymi neodnorodnostjami v okeane. *Akusticheskij zhurnal, 48, 4,* 517 – 522.
18. Mięsowicz, K., Staszewski, W., Korbiel, T. (2016) Analysis of Barkhausen Noise Using Wavelet-Based Fractal Signal Processing for Fatigue Crack Detection. *International Journal of Fatigue. Vol. 83, Part 2,* 109 – 116.
19. Feder, E. (1991) Fraktaly. - M.: Mir, 258.
20. Je. Peters (2004) Fraktal'nyj analiz finansovyh rynkov: Primenenie teorii Haosa v ivesticijah i jekonomike.– M.: Internet–trejding, 304.
21. Potapov, A.A. (2009) Sovremennoe sostojanie radiofizicheskih primenenij fraktalov, drobnyh operatorov i skejlinga. *III Vserossijskaja konferencija «Radiolokacija i radiosvjaz'» – 26 -30 oktjabrja,* 842 –876.
22. Vahitov. Ja.Sh. (1982) Teoreticheskie osnovy jelektroakustiki i jelektroakusticheskaja apparatura.– M.: Iskusstvo, 415.
23. Hurst. H. E. (1951) Long-term storage capacity of reservoirs. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 116,* 770 – 808.
24. Basarab, M.A., Stroganov, I. S. (2014) Obnaruzhenie anomalij v informacionnyh processah na osnove mul'tifraktal'nogo analiza. *Voprosy kiberbezopasnosti, 4(7),* 30 – 40.

Рецензент: д.т.н., с.н.с., начальник наукового відділу проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру Р.І. Шевченко, Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

Автор: *ЛЄВТЄРОВ Олександр Антонович*
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту
Національний університет цивільного захисту України
E-mail - alionterra@gmail.com
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5926-7146

IDENTIFICATION OF A TECHNOGENIC EMERGENCY ON THE ACOUSTIC RADIATION OF A HAZARD ZONE

A. Levterov
National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Acoustic radiation from an emergency situation zone in the frequency range 1-25000 Hz has been experimentally investigated. As a result, a set of time series and amplitude-frequency characteristics of acoustic signals has been formed. The number of samples taken in a series of samples recorded every 22 microseconds is in the range from 0.7 • 106 to 1.5 • 106 with a signal to noise ratio of at least -106 dB. A fractal analysis of the accompanying acoustic radiation was carried out based on the dependence of the normalized sample size on its length. The article presents the values of H for 4 types of materials that are subject to decomposition and destruction as a result of a chemical oxidation reaction. For each material, 3-5 experiments were carried out to record acoustic radiation with samples of the same mass and close in geometry and volume. The dependences and linear approximation of R/S on the number of time samples n for each type of material under study have been given. The possibility of automated processing of acoustic signals from the emergency situation zone and identification by the dependences of the numerical indicators of Hurst (H) has been established. In the article, high convergence of the obtained experimental results was shown. In addition, as a result of experiments, a hypothesis was put forward on the influence of the molecular structure of a substance that undergoes destruction and decomposition as a result of a chemical oxidation reaction on the Hurst index H.

The primary digital processing of the obtained spectrograms of acoustic vibrations from the emergency zone was carried out using ready-made computer programs and software specially developed by the author. The possibility of hazard identification from the emergency zone has been proven fundamentally.

Keywords: *acoustic emission, time series, identification, emergency, fractal analysis*