

УДК 621.03.9

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.2.189.205>

¹Ігор ТОЛОК, канд. пед. наук, доцент (ORCID: 0000-0001-6309-9608),

¹Борис ПОСПЕЛОВ, д-р техн. наук, професор (ORCID: 0000-0002-0957-3839),

¹Євген РИБКА, д-р техн. наук, професор (ORCID: 0000-0002-5396-5151),

¹Сергій ПОЗДЄЄВ, д-р техн. наук, професор (ORCID: 0000-0002-9085-0513),

¹Максим КУСТОВ, д-р техн. наук, професор (ORCID: 0000-0002-6960-6399),

²Євген РОМАНЕНКО, д-р наук держ. управління, професор
(ORCID: 0000-0003-2285-0543),

¹ Національний університет цивільного захисту України

² Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України

СЕРЕДНЯ ФАЗА БІСПЕКТРУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАДНОГО ГАЗУ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИМІЩЕНЬ НА ІНТЕРВАЛАХ ВІДСУТНОСТІ ТА ПОЯВИ ЗАГОРЯННЯ МАТЕРІАЛІВ

Об'єктом дослідження є динаміка концентрації чадного газу газового середовища при загоряннях матеріалів у приміщеннях. Важливість такого дослідження пов'язана з можливістю використання міри середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу для виявлення загорянь та попередження надзвичайних ситуацій в наслідок пожеж. Обґрунтовано міру середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища на довільному часовому інтервалі спостереження. Експериментально досліджено особливості міри середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища в камері на інтервалах достовірної відсутності та наявності загоряння спирту, паперу, деревини та текстилю. Одержані результати свідчать про те, що динаміка концентрації чадного газу газового середовища в камері на інтервалах відсутності та наявності загорянь тестових матеріалів в цілому відносяться до класу не обернених процесів, що мають явну асиметрію. Встановлено, що міра середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища при наявності та відсутності загорянь має неоднакові значення для розглянутих тестових матеріалів. Крім того міра середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища при відсутності загорянь є негативною, а при наявності – позитивною. Одержано, що середня фаза злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища камери на інтервалах відсутності загоряння спирту, паперу, деревини та текстилю має значення відповідно -1,509, -1,108, -0,655 та -1,37 рад. При цьому на інтервалах появи загоряння спирту, паперу, деревини та текстилю середня фаза злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу становить відповідно +1,501, +1,645, +1,553 та +0,309 рад. Таким чином, запропонована міра середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища дозволяє використовувати її для раннього виявлення загорянь у приміщеннях, що запобігає виникненню надзвичайних ситуацій внаслідок пожеж на об'єктах.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, міра, середня фаза, злагоджений біспектр, газове середовище, концентрація чадного газу, загоряння матеріалу

1. Вступ

Забезпечення стійкості об'єктів є однією з найважливіших проблем для будь-якої держави. У цьому напрямку особливе місце займає проблема забезпечення стійкості об'єктів критичної інфраструктури [1, 2]. Це пов'язане з тим, що такі об'єкти є потенційними джерелами різних загроз та надзвичайних ситуацій [3]. До таких об'єктів належать практично усі об'єкти технічної та екологічної сфери [4, 5], а також низка об'єктів соціально-економічної сфери [6, 7]. При цьому максимальна частота виникнення та збитків від загроз відноситься до пожеж у приміщеннях (ПП) [8]. Такі загрози зазвичай завдають значної шкоди не тільки самим об'єктам [9], а також здоров'ю людей [10, 11] та оточуючому середовищу [12, 13]. Однак, незважаючи на застосування сучасних технологій боротьби з ПП, їх частота та збитки від них продовжують постійно зростати [14]. Тому захист від ПП слід розглядати як важливий напрям забезпечення стійкості різних типів об'єктів. Враховуючи, що джерелом ПП є загоряння (З) матеріалів, вирішення проблеми захисту від ПП зводиться до своєчасного виявлення З та недопущення їх переростання в розвинуті пожежі [15]. Таким чином, своєчасне виявлення З стає однією з важливих та актуальних проблем щодо забезпечення стійкості об'єктів до пожеж та запобігання надзвичайним ситуаціям на таких об'єктах.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Труднощі вирішення проблеми своєчасного виявлення З у приміщеннях об'єктів полягають в складності, різноманітності та невизначеності реальної динаміки небезпечних параметрів газового середовища (ГС), що обумовлюються З матеріалів у приміщеннях.

У роботі [16] досліджується технологія групової обробки даних від множини однотипних датчиків та застосування мережевого принципу в умовах складності динаміки небезпечних параметрів ГС при З матеріалів. Технологія групової обробки даних від множини різних типів датчиків, що вимірюють відповідні небезпечні параметри ГС в аналогічних умовах досліджується в [17]. Однак зазначені технології обмежуються часовою областю та традиційними статистиками, що не дозволяють ефективно їх використовувати у випадку нелінійної динаміки небезпечних параметрів ГС при З матеріалів у приміщеннях.

Дослідження динаміки небезпечних параметрів ГС при З деревини представлені у роботі [18]. Залежність динаміки температури ГС від інтенсивності горіння деревини досліджується у [19]. При цьому дослідження обмежуються лише залежністю середньої динаміки і тільки для температури від середньої інтенсивності горіння деревини. Аналогічні дослідження для органічного скла та кипарису виконані у роботі [20]. Однак в [18–20] відсутні дослідження часових та спектральних характеристик біспектру динаміки небезпечних параметрів ГС, яка у більшості випадків носить нелінійний характер. Це додатково актуалізує дослідження особливостей складної реальної динаміки небезпечних параметрів ГС, як при відсутності, так і при появі З матеріалів у приміщеннях.

Дослідженню кореляцій щодо динаміки небезпечних параметрів ГС присвячена робота [21]. У роботі [22] досліджується структурна функція щодо складної та невідомої динаміки небезпечних параметрів ГС. Дослідження функції невизначеності щодо динаміки небезпечних параметрів ГС розглядаються у роботі [23]. При цьому дослідження обмежуються лише часовою областю спостереження динаміки небезпечних параметрів ГС. Частотна область не розглядається і характеристики біспектру динаміки небезпечних параметрів ГС не досліджуються. В роботі [24] досліджуються взаємні поточні кореляції між динаміками різних

небезпечних параметрів ГС. Однак дані дослідження обмежуються оцінкою лише лінійних зв'язків між динаміками різних небезпечних параметрів ГС. При цьому статистики порядку вище за другий, наприклад біспектр, які дозволяють виявляти нелінійні зв'язки між частотними складовими, не досліджуються.

Миттєві амплітудні та фазові спектри динаміки небезпечних параметрів ГС досліджуються в [25]. Там зазначається, що миттєві амплітудні спектри для раннього ВЗ є малоінформативними. Однак цей висновок стосується дослідження миттєвих амплітудних спектрів лише другого порядку. Спектр другого порядку, як відомо, не дозволяє виявляти кореляційні зв'язки між різними частотними складовими, що є характерними для нелінійної динаміки небезпечних параметрів ГС. Особливості спектрів динаміки небезпечних параметрів ГС порядку вище за другий, наприклад, біспектр, який здатний характеризувати особливості нелінійної динаміки, при цьому не досліджується. В [26] досліджуються амплітудний біспектр експериментальної динаміки небезпечних параметрів ГС при 3 тестових матеріалів в лабораторній камері. При цьому встановлено, що амплітудний біспектр дає змогу виявляти нелінійні зв'язки частотних складових у спектрі нелінійної динаміки різних небезпечних параметрів ГС. Наголошується, що амплітудний біспектр суттєво залежить від енергії відповідного небезпечного параметра ГС. Проте фаза біспектру та бікогерентність, яка є інваріантною до енергії небезпечного параметру, у роботі [26] не досліджується. Дослідження бікогерентності для довільних типів частотних триплетів щодо динаміки небезпечних параметрів ГС виконано у роботі [27]. Однак дослідження бікогерентності динаміки небезпечних параметрів ГС виконано на основі обчислення вибіркового біспектру замість злагодженого біспектру щодо реалізації динаміки небезпечних параметрів ГС [28–30]. Це означає, що бікогерентність, яка обчислюється на основі вибіркового біспектру, буде відрізнятися від бікогерентності, яка визначається на основі злагодженого біспектру. При цьому фаза злагодженого біспектру динаміки небезпечних параметрів ГС, яка володіє значно більшою здатністю ВЗ не досліджується.

Враховуючи практичну значимість та вказану складність розв'язання проблеми ВЗ на основі реальної динаміки небезпечних параметрів ГС, невирішеною її частиною слід вважати дослідження фази злагодженого біспектру динаміки небезпечних параметрів ГС. Враховуючи, що найбільшою небезпекою для людини серед небезпечних параметрів ГС при пожежі є концентрація чадного газу, дослідження повинні бути виконані для динаміки концентрації чадного газу при 3 у негерметичних приміщеннях об'єктів.

3. Мета та завдання дослідження

Мета роботи – виконати дослідження середньої фази злагодженого біспектру щодо реальної динаміки концентрації чадного газу газового середовища на інтервалах достовірної відсутності та появи загоряння матеріалів. Результати таких досліджень матимуть практичний інтерес з точки зору раннього виявлення загорянь матеріалів у приміщеннях об'єктів для недопущення розвинутих пожеж та зниження збитків від них.

Для досягнення мети роботи поставлено завдання:

- виконати обґрунтування міри середньої фази злагодженого біспектру на довільному інтервалі спостереження реальної динаміки небезпечних параметрів газового середовища;

- дослідити значення міри середньої фази злагодженого біспектру динаміки небезпечних параметрів газового середовища на фіксованих інтервалах спостереження на прикладі реальної динаміки концентрації чадного газу газового

середовища при достовірній відсутності та появі загоряння тестових матеріалів у лабораторній камері.

4. Матеріали та метод дослідження

Матеріали дослідження включали результати вимірювання експериментальної динаміки концентрації чадного газу ГС в лабораторній камері. Вимірювання виконувались дискретно у часі з кроком 0,1 с. Результати вимірювання зберігалися в пам'яті комп'ютера. Підпал тестових матеріалів відбувався приблизно між 200 та 250 дискретним вимірюваннями динаміки концентрації чадного газу. Вимірювання концентрації чадного газу здійснювалися датчиком Discovery (Швейцарія) [31]. В лабораторному експерименті у якості тестових матеріалів було обрано спирт, папір, деревина та текстиль.

Метод дослідження полягав в обчисленні злагодженого біспектру для двох фіксованих інтервалів спостереження динаміки концентрації чадного газу ГС у камері. Інтервали визначалися достовірною відсутністю та появою 3 матеріалів. Протяжність інтервалів обиралась однаковою, що дорівнювала 200 дискретним значенням вимірюваної концентрації чадного газу для кожного з тестових матеріалів. При обчисленні злагодженого біспектру кожний з інтервалів спостереження було поділено на чотири рівних частини. Для кожної частини обчислювалися відповідний частковий вибіркового біспектр. Потім обчислені часткові вибіркового біспектри злагоджувались для визначення злагодженого біспектру для відповідного інтервалу спостереження. Для злагодженого біспектру обчислювалась фаза, яка визначалась його аргументом. Обчислення фази злагодженого біспектру на відповідних інтервалах спостереження динаміки концентрації чадного газу здійснювалось для тестових матеріалів у такому порядку: спирт, папір, деревина та текстиль. З метою відновлення вихідного стану концентрації чадного газу ГС після спостереження 3 кожного з матеріалів протягом 5 хвилин проводилася природна вентиляція камери. Міра середньої фази злагодженого біспектру на відповідних інтервалах обчислювалась шляхом визначення її математичного очікування по прямокутній області 10×10 відповідних частотних індексів.

5. Дослідження середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу на інтервалах відсутності та появи загоряння

5.1. Обґрунтування міри середньої фази злагодженого біспектру для довільного інтервалу спостереження

Відомо, що спектри порядку, вищого за другий, зазвичай використовуються для виявлення зв'язків між частотними складовими спектру досліджуваних процесів [32]. В роботі [28] зазначається, що спектри високого порядку є надійним інструментарієм виявлення особливостей складних процесів, що мають розподіл, який відрізняється від гаусу. Спектри високого порядку при цьому придушують адитивні гаусові завади, що мають місце при спостереженні процесів. Слід зазначити, що спектри порядку вище другого містять корисну інформацію щодо особливостей досліджуваних процесів в порівнянні зі спектрами другого порядку [28, 32]. Найбільш простим зі спектрів високого порядку є спектри третього порядку (біспектри) [32].

Оцінка миттєвого біспектру $B(h_1, h_2; T)$ для довільного часового інтервалу T і дискретної множини на інтервалі $\{x(k)\}$ значень досліджуваного процесу, визначається у вигляді [33]:

$$B(h_1, h_2; T) = X(h_1; T)X(h_2; T)X^*(h_1 + h_2; T), \quad (1)$$

де $B(h_1, h_2; T)$ – функція змінних h_1, h_2 для заданого інтервалу T ; h_1, h_2 – частотні індекси, що відповідають частотам $f_1=h_1/T$ та $f_2=h_2/T$;

$X(h; T) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \exp(-j2\pi hk / N)$, ($0 \leq k \leq N-1$) – визначає перетворення Фур'є

для дискретної множини $\{x(k)\}$ та частотного індексу h ($0 \leq h \leq N-1$); $*$ – оператор комплексного спряження. Величина T в (1) визначається тривалістю інтервалу спостереження, яка вимірюється в секундах. Згідно ПФ інтервал та його тривалість повинні відповідати ділянці стаціонарності досліджуваного процесу [33]. У разі невиконання цієї умови ПФ в (1) визначатиметься з помилкою, величина якої залежатиме від ступеня нестаціонарної поведінки досліджуваного процесу на цьому інтервалі.

З урахуванням [32], злагоджений біспектр $KB(h_1, h_2; T)$ прийнято оцінювати усередненням оцінок миттєвих біспектрів $B(h_1, h_2; T_t)$ на незалежних часткових інтервалах спостереження T_t , що належать інтервалу T дослідження, тобто $T = \sum_{t \in tt} T_t$, де t – номер часткового інтервалу; tt – загальне число часткових

інтервалів T_t на інтервалі T . Це означає, що злагоджений біспектр для довільного інтервалу спостереження протяжності T буде визначатися відповідно до виразу:

$$KB(h_1, h_2; T) = \sum_{t \in tt} B(h_1, h_2; T_t) / tt, \quad (2)$$

Злагоджений біспектр (2) в порівнянні з традиційним спектром володіє інформацією щодо статистичного зв'язку між гармонійними складовими спектру досліджуваного процесу для довільних частотних індексів h_1, h_2 та частотного індексу $(h_1 + h_2)$. Тому злагоджений біспектр розраховується для довільної пари частотних індексів h_1, h_2 . Оскільки злагоджений біспектр є комплексним [32] він характеризується відповідною фазою $K\phi(h_1, h_2; T)$, яка для довільного інтервалу T буде визначатися у вигляді:

$$K\phi(h_1, h_2; T) = \arg \{KB(h_1, h_2; T)\}. \quad (3)$$

Крім виразу (3) визначення фази злагодженого біспектру (2) можна здійснювати також за виразом:

$$K\phi(h_1, h_2; T) = \arctg \{ \text{Im}[KB(h_1, h_2; T)] / \text{Re}[KB(h_1, h_2; T)] \}. \quad (4)$$

У виразі (4) $\text{Im}[KB(h_1, h_2; T)]$ та $\text{Re}[KB(h_1, h_2; T)]$ визначається відповідно мніма та дійсна частини злагодженого біспектру (2) на довільному інтервалі T спостереження. Дійсна та мніма частини злагодженого біспектру (2) відповідають парній та непарній частинам, що характеризують собою обернену та не обернену у часі складові досліджуваного випадкового процесу (тобто динаміки концентрації чадного газу у ГС на інтервалі T). З цього витікає, що статистичний сенс фази злагодженого біспектру (2), як величини, що характеризує ступень статистичної не оберненості досліджуваного випадкового процесу, що визначається динамікою концентрації чадного газу у ГС на інтервалі T

спостереження. Крім того слід зауважити, що злагоджений біспектр для симетричного у часі процесу визначається тільки дійсною частиною. Для асиметричного у часі процесу злагоджений біспектр визначається тільки мнімою частиною.

З виразу (3) та (4) видно, що фаза $K\varphi(h_1, h_2; T)$ є функцією двох змінних, яка кожному набору змінних ставить у відповідність значення фази злагодженого біспектру для довільних частотних індексів h_1 , h_2 та (h_1+h_2) . Такий набір частотних індексів прийнято називати триплетами. Це означає, що функції (3) та (4) можуть бути в загальному випадку представлені у трьохвимірному просторі безпосередньо або відповідними січеннями для цих функцій. Використовувати таке відображення $K\varphi(h_1, h_2; T)$ є незручним на практиці. Тому для зручності можна використовувати різні міри щодо функцій (3) та (4). Однією з таких мір може бути математичне очікування фази $K\varphi(h_1, h_2; T)$ по деякій, наприклад, прямокутній області $\Omega_{h_1} \times \Omega_{h_2}$ змінних h_1 , h_2 . Це дозволить охарактеризувати фазу $K\varphi(h_1, h_2; T)$ одним числом – середнім значенням фази злагодженого біспектру для заданої області $\Omega_{h_1} \times \Omega_{h_2}$ змінних $h_1 \in \Omega_{h_1}$ та $h_2 \in \Omega_{h_2}$. В цьому випадку вказана міра середньої фази злагодженого біспектру MB буде обчислюватись згідно виразу:

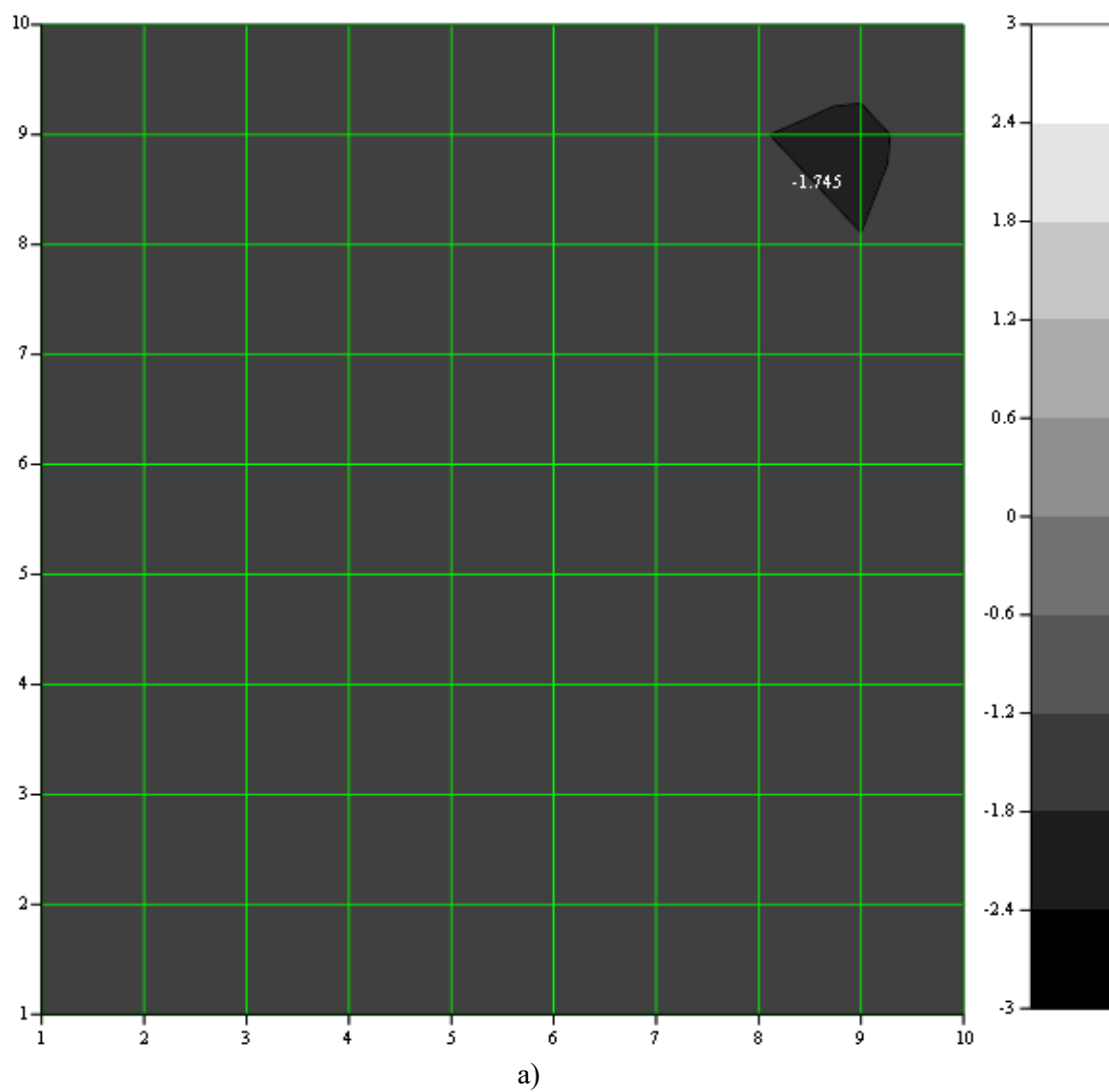
$$MB = \sum_{h_1 \in \Omega_{h_1}} \sum_{h_2 \in \Omega_{h_2}} K\varphi(h_1, h_2; T) / \Omega_{h_1} \times \Omega_{h_2}. \quad (5)$$

Значення фази злагодженого біспектру (5) в загальному випадку характеризує величину зв'язків між будь-якою парою частотних індексів та їх додатком (триплетами) щодо спектру досліджуваного процесу на інтервалі T .

Таким чином, міра (5) дає змогу визначати та порівнювати середню фазу злагодженого біспектру для усіх частотних індексів для вільного досліджуваного процесу на довільному інтервалі T спостереження, обумовленого різними чинниками. Крім того, міра (5) дозволяє також визначати симетричність у часі та ступінь оберненості досліджуваних процесів.

5. 2. Дослідження міри середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища

Дослідження міри середньої фази злагодженого біспектру (5) виконувалось для рівних за тривалістю T інтервалів спостереження, що дорівнювали 200 дискретним вимірюванням концентрації чадного газу ГС при достовірній відсутності та появі 3 матеріалів у лабораторній камері. Експериментальну частину роботи і процедуру обробки експериментальних даних, одержаних в камері, докладно наведено у роботі [35]. Відмінність полягала в тому, що інтервал T спостереження було поділено на чотири рівних частини, тривалістю $T_i=50$ дискретних вимірювань. У якості приклада на рис. 1 наведено результати дослідження фази злагодженого біспектру (3) для області частотних індексів 10×10 щодо реальної динаміки концентрації чадного газу при підпалі спирту в камері на інтервалах достовірній відсутності 3 спирту (інтервал від 0 до 200 дискретних вимірювань) та наявності 3 (інтервал від 150 до 350 дискретних вимірювань).



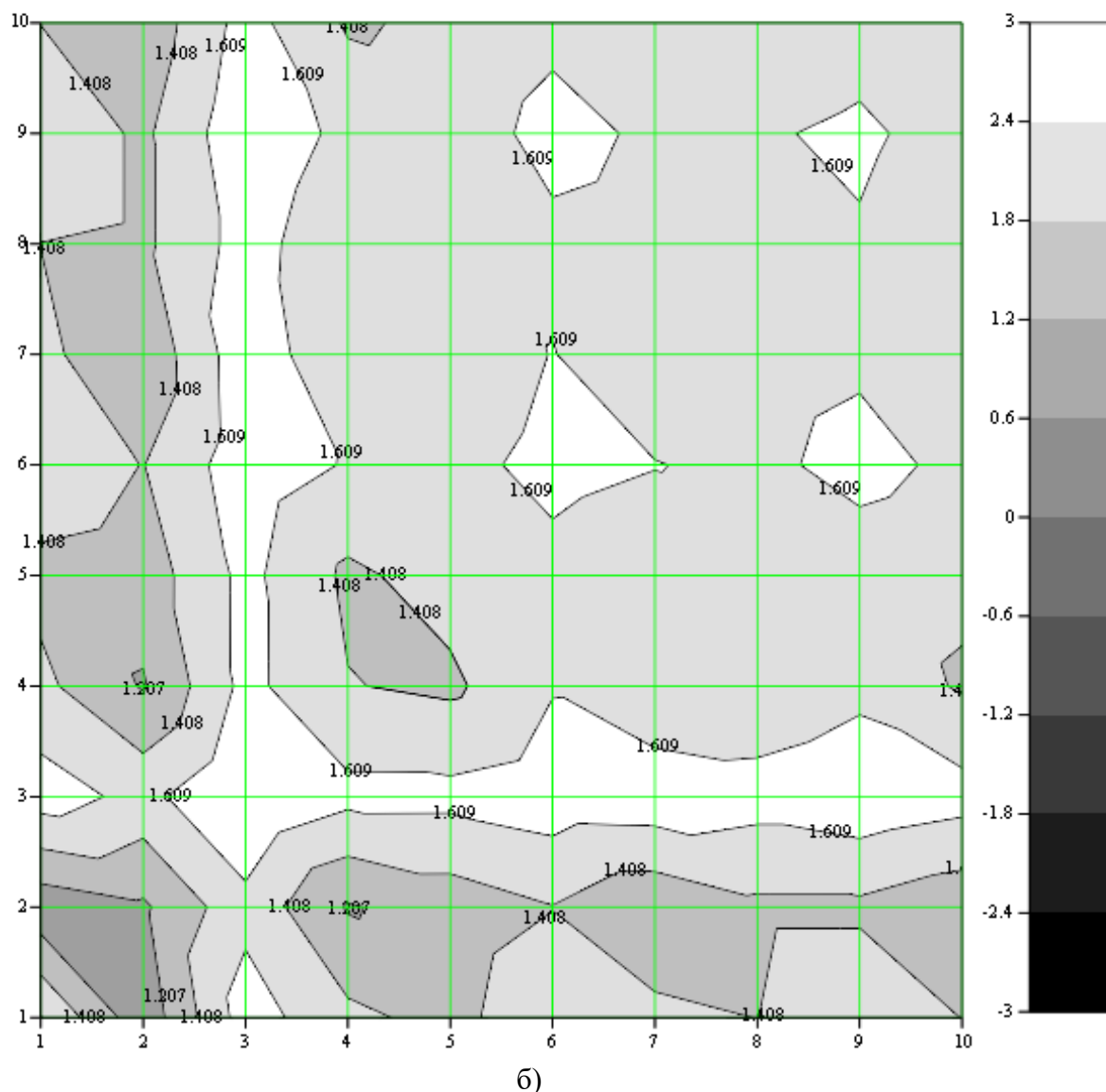


Рис. 1. Дослідження фази злагодженого біспектру (3) динаміки концентрації чадного газу для спирту на різних інтервалах спостереження: а – відсутність загоряння спирту; б – поява загоряння спирту

В таблиці 1 наведено результати дослідження міри середньої фази злагодженого біспектру (5) динаміки концентрації чадного газу ГС у лабораторній камері при 3 (спирту, паперу, деревини та текстилю на інтервалах достовірній відсутності 3 (інтервал від 0 до 200 дискретного вимірювання) та наявності 3 (інтервал від 150 до 350 дискретного вимірювання).

Табл. 1. Результати дослідження міри середньої фази злагодженого біспектру (5) динаміки концентрації чадного газу ГС у лабораторній камері на інтервалах достовірній відсутності та наявності загоряння тестових матеріалів

	Значення міри (5), рад			
Матеріал	Спирт	Папір	Деревина	Текстиль
Відсутність загоряння	-1,509	-1,108	-0,655	-1,37
Поява загоряння	+1,501	+1,645	+1,553	+0,309

Таким чином, в табл. 1 наведені обчислені експериментальні данні щодо середньої фази злагодженого біспектру (5) динаміки концентрації чадного газу ГС у лабораторній камері на вказаних інтервалах достовірної відсутності та наявності 3 тестових матеріалів з урахуванням природної вентиляції камери після дослідження кожного з матеріалів. В експерименті підпал матеріалу в лабораторній камері здійснювався на інтервалі між 200 та 250 дискретними вимірюваннями.

6. Обговорення результатів дослідження середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу

Із аналізу результатів, що наведені на рис. 1, випливає, що розподіл фаз злагодженого біспектру на інтервалах відсутності та наявності 3 спирту обумовлений складною та нелінійною динамікою концентрації чадного газу газового середовища в лабораторній камері. Це пояснюється складними прихованими механізмами, що відбуваються на мікроскопічному та макроскопічному рівнях між 3 спирту та ГС, що призводять до утворення спостережуваної динаміки концентрації чадного газу ГС на інтервалах відсутності та появи 3. При цьому значення фаз злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу ГС лабораторної камери на інтервалах відсутності та наявності 3 спирту має різний розподіл для довільних частотних індексів спектру в досліджуваній області. Так, розподіл фаз злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу ГС лабораторної камери при відсутності 3 спирту, є близький до $-1,5$ рад. Це означає, що у цьому випадку динаміка концентрації чадного газу ГС є близькою до не оберненого процесу. При 3 спирту розподіл фаз злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу ГС для досліджуваної області частотних індексів значно змінюється. В даному випадку динаміка концентрації чадного газу ГС є також близькою до не оберненого процесу, але розподіл фаз злагодженого біспектру стає позитивним та зосереджується приблизно в діапазоні від $1,2$ до $1,6$ рад.

Таким чином, при відсутності та появі 3 спирту динаміка концентрації чадного газу ГС відповідає в цілому не оберненому процесу, але при 3 спирту мають місце деякі окремі ділянки розподілу фаз, що відносяться до низького ступеня оберненості. Аналогічний висновок в цілому має місце і у випадку 3 паперу, деревини, та текстилю. Важливою властивістю розподілу фаз динаміки концентрації чадного газу ГС при 3 досліджуваних матеріалів є зміна знаку фази злагодженого біспектру. Цей результат може бути використаний у якості ефективної ознаки щодо ВЗ матеріалів.

З аналізу даних таблиці №1 випливає, що середня фаза злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу ГС лабораторної камери на інтервалах відсутності 3 спирту, паперу, деревини та текстилю має різні значення відповідно $-1,509$, $-1,108$, $-0,655$ та $-1,37$ рад. Це означає, що динаміка концентрації чадного газу ГС на інтервалі відсутності 3 матеріалів відповідає в цілому не оберненому в часі та асиметричному процесу. При цьому ступінь не оберненості динаміки є неоднаковим. Такий результат можна пояснити фіксованим часом вентиляції камери перед 3 кожного матеріалу, а також різним впливом 3 на концентрацію чадного газу ГС камери. Так, найбільший вплив на концентрацію чадного газу ГС спричиняє 3 паперу, оскільки за обмежений час вентиляції камери найменша середня фаза злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу ГС лабораторної камери становить $-0,655$, яка має місце перед 3 деревини. При появі 3 матеріалів середня фаза злагодженого біспектру

динаміки концентрації чадного газу ГС лабораторної камери має позитивний знак. Саме величина середньої фази злагодженого біспектру свідчить про те, що динаміка концентрації чадного газу ГС не є оберненою і має протилежну асиметрію. При цьому при 3 текстилю величина середньої фази злагодженого біспектру є мінімальною і становить $+0,309$. Це можна пояснити особливостями впливу 3 текстилю на динаміку концентрації чадного газу ГС камери.

Наведені експериментальні результати в цілому свідчать про те, що знак та величина середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу ГС лабораторної камери на інтервалах відсутності та появи 3 спирту, паперу, деревини та текстилю можуть бути використані в якості ознаки для ВЗ. Однак використання запропонованої міри середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу ГС лабораторної камери на інтервалах відсутності та появи 3 спирту, паперу, деревини та текстилю дозволяє визначати момент часу 3 матеріалу лише з точністю щодо положення вимірюваного інтервалу в часі.

Точність обчислення міри середньої фази злагодженого біспектру залежатиме переважно від тривалості часткового інтервалу, реалізованої частоти дискретизації вимірювань та числа часткових інтервалів. Чим більша тривалість часткового інтервалу, тим точніше обчислюється ПФ, а чим більше число таких інтервалів – зростає загальна точність обчислення злагодженого біспектру та його фази. Відмітимо, що у дослідженні загальний інтервал вимірювання складав 200 дискретних значень концентрації чадного газу ГС з інтервалом 0,1 секунду. При цьому число часткових інтервалів на загальному інтервалі дорівнювало чотирьом. Це означає, що тривалість загального інтервалу складатиме 20 секунд. За таких умов момент виявлення 3 може визначатися лише з точністю 20 секунд. При цьому роздільна частотна здатність обчислення спектрів становила 0,1 Гц. До обмежень дослідження можна віднести те, що результати одержані на основі експериментальних вимірів динаміки концентрації чадного газу ГС лабораторної камери на інтервалах відсутності та появи 3 відносяться до обмеженого набору матеріалів 3. Тому вони не є остаточними, а лише вказують напрямок та перспективність подальшого розвитку цього дослідження. У зв'язку з цим отримані результати потребують додаткової перевірки вогневыми випробуваннями в реальних умовах 3 матеріалів для різних типів приміщень об'єктів.

7. Висновки

1. Виконано обґрунтування міри середньої фази злагодженого біспектру на довільному інтервалі спостереження реальної динаміки небезпечних параметрів газового середовища. Запропонована міра дає змогу досліджувати особливості середньої фази злагодженого біспектру динаміки небезпечних параметрів газового середовища на фіксованих інтервалах спостереження та виявляти загоряння матеріалів на основі спостереження небезпечних параметрів газового середовища приміщень об'єктів.

2. Експериментально досліджені значення міри середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища на інтервалах достовірній відсутності та появи загоряння тестових матеріалів у лабораторній камері. Одержані результати свідчать про те, що динаміка концентрації чадного газу газового середовища в камері на інтервалах відсутності та наявності загоряння спирту, паперу, деревини та текстилю відноситься в цілому до класу не обернених процесів, які мають явну асиметричність. Встановлено, що міра середньої фази

злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища при наявності та відсутності загорянь має неоднакові значення для різних матеріалів. Крім того міра середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища при відсутності загорянь є негативною, а при наявності – позитивною. Наприклад, середня фаза злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища лабораторної камери на інтервалах відсутності загоряння спирту, паперу, деревини та текстилю має значення відповідно -1,509, -1,108, -0,655 та -1,37 рад. При цьому на інтервалах появи загоряння спирту, паперу, деревини та текстилю середня фаза злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища становить відповідно +1,501, +1,645, +1,553 та +0,309. Таким чином, запропонована міра середньої фази злагодженого біспектру динаміки концентрації чадного газу газового середовища дозволяє використовувати її для раннього виявлення загорянь у приміщеннях об'єктів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Rybalova O., Artemiev S., Sarapina M., Tsymbal B., Bakhareva A., Shestopalov O. Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V. 2/10(92). P. 4–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>
2. Vambol S., Vambol V., Kondratenko O., Suchikova Y., Hurenko O. Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arranging the system of pollutant neutralization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. V. 3/10(87). P. 63–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102314>
3. Semko A. N., Beskrovnaya M. V., Vinogradov S. A., Hritsina I. N., Yagudina N. I. The usage of high speed impulse liquid jets for putting out gas blowouts. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2014. V. 52(3). P. 655–664. <http://jtam.pl/The-usage-of-high-speed-impulse-liquid-jets-for-putting-out-gas-blowouts-,102145,0,2.html>
4. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Maksymenko N., Meleshchenko R., Bezuhla Yu., Hrachova I., Nesterenko R., Shumilova A. Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring the current concentrations of pollutants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. V. 4/10(106). P. 37–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210059>
5. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M., Hurkovskiy V., Nikolaiev K., Yatsyshyn T., Dimitriieva D. Physical features of pollutants spread in the air during the emergency at NPPs. *Nuclear and Radiation Safety*. 2019. V. 4/84. 11. doi: [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4\(84\).11](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4(84).11)
6. Otrosh Y., Danilin O., Zhuravskiy M. Assessment of the technical state and the possibility of its control for the further safe operation of building structures of mining facilities. *E3S Web of Conferences*. 2019. V. 123. № 01012. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301012>
7. Vambol V., Vambol S., Kondratenko O., Koloskov V., Suchikova Y. Substantiation of expedience of application of high-temperature utilization of used tires for liquefied methane production. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2018. V. 87(2). P. 77–84. doi: <http://dx.doi.org/10.5604/01.3001.0012.2830>
8. Sadkovyi V., Andronov V., Semkiv O., Kovalov A., Rybka E., Otrosh Yu. and

others. Fire resistance of reinforced concrete and steel structures: monograph / V. Sadkovyi E., Rybka Yu., Otrosh. Kharkiv: PC TC, 2021. 180 p. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>

9. Kovalov A., Otrosh Y., Kovalevska T., Togobytska V., Rolin I. Treatment of Determination method for strength characteristics of reinforcing steel by using thread cutting method after temperature influence. MSF. 2020. V. 1006. P. 179–184. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.179>

10. Ragimov S., Sobyna V., Vambol S., Vambol V., Feshchenko A., Zakora A., Strejekurov E., Shalomov V. Physical modelling of changes in the energy impact on a worker taking into account high-temperature radiation. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2018. V. 91. №1. P. 27–33. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.9654>

11. Vambol S., Vambol V., Bogdanov I., Suchikova Y., Rashkevich N. Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano inclusions on the atmosphere. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 6/10(90). P. 57–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118213>

12. Otrosh Yu., Semkiv O., Rybka E., Kovalov A. About need of calculations for the steel framework building in temperature influences conditions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 708. №1. 012065. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012065>

13. Kondratenko O. M., Vambol S. O., Stokov O. P., Avramenko A. M. Mathematical model of the efficiency of diesel particulate matter filter. Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. 2015. №6. P. 55–61. <http://nvngu.in.ua/index.php/en/archive/on-the-issues/1173-2015/contents-no-6-2015/geotechnical-and-mining-mechanical-engineering-machine-building/3227-mathematical-model-of-the-efficiency-of-diesel-particulate-matter-filter>

14. Vasyukov A., Loboichenko V., Bushtec S. Identification of bottled natural waters by using direct conductometry. Ecology, Environment and Conservation. 2016. V. 22. № 3. P. 1171–1176. http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=7102&iid=215&jid=3

15. Pospelov B., Kovrehin V., Rybka E., Krainiukov O., Petukhova O., Butenko T., Borodych P., Morozov I., Horbov O., Hrachova I. Development of a method for detecting dangerous states of polluted atmospheric air based on the current recurrence of the combined risk. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. V. 5/9 (107). P. 49–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213892>

16. Caixia C., Fuchun S., Xinquan Z. One Fire Detection Method Using Neural Networks. Tsinghua Science and Technology. 2011. V. 16. №1. P. 31–35. doi: [https://doi.org/10.1016/s1007-0214\(11\)70005-0](https://doi.org/10.1016/s1007-0214(11)70005-0)

17. Ding Q., Peng Z., Liu T., Tong Q. Multi-Sensor Building Fire Alarm System with Information Fusion Technology Based on D-S Evidence Theory. Algorithms. 2014. № 7. P. 523–537. doi: <https://doi.org/10.3390/a7040523>

18. Wu Y., Harada T. Study on the Burning Behaviour of Plantation Wood. Scientia Silvae Sinicae. 2004. №40. P. 131.

19. Ji J., Yang L., Fan W. Experimental Study on Effects of Burning Behaviours of Materials Caused by External Heat Radiation. JCST. 2003. №9. P. 139.

20. Peng X., Liu S., Lu G. Experimental Analysis on Heat Release Rate of Materials. Journal of Chongqing University. 2005. №28. P. 122.

21. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Karpets K., Pirohov O., Semenyshyna I., Kapitan R., Promska A., Horbov O. Development of the correlation method for operative detection of recurrent states. Eastern-European Journal of

Enterprise. 2019. V. 6/4 (102). P. 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.187252>

22. Sadkovyi V., Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Rud A., Karpets K., Bezuhla Yu. Construction of a method for detecting arbitrary hazard pollutants in the atmospheric air based on the structural function of the current pollutant concentrations. Eastern-European Journal of Enterprise. 2020. V. 6/10 (108). P. 14–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218714>

23. Pospelov B., Rybka E., Meleshchenko R., Krainiukov O., Harbuz S., Bezuhla Yu., Morozov I., Kuruch A., Saliyenko O., Vasylenko R. Use of uncertainty function for identification of hazardous states of atmospheric pollution vector. Eastern-European Journal of Enterprise. 2020. V. 2/10 (104). P. 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200140>

24. Gottuk D. T., Wright M. T., Wong J. T., Pham H. V., Rose-Pehrsson S. L., Hart S., Hammond M., Williams F. W., Tatem P. A., Street T. T. Prototype Early Warning Fire Detection Systems: Test Series 4 Results. NRL/MR/6180–02–8602, Naval Research Laboratory, February 15, 2002.

25. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Bezuhla Y., Liashevska O., Butenko T., Darmofal E., Hryshko S., Kozynska I., Bielashov Y. Empirical cumulative distribution function of the characteristic sign of the gas environment during fire. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. V. 4/10 (118). P. 60–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263194>

26. Pospelov B., Rybka E., Savchenko A., Dashkovska O., Harbuz S., Naden E., Chornomaz I., Hryshko S., Nepsha O. Peculiarities of amplitude spectra of the third order for the early detection of indoor fires. Eastern-European Journal of Enterprise. 2022. V. 5/10 (119). P. 49–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265781>

27. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Chubko L., Bezuhla Y., Gordiichuk S., Lutsenko T., Suriadna N., Hryshko S., Kushchova T. Revealing the peculiarities of average bicoherence of frequencies in the spectra of dangerous parameters of the gas environment during fire. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. V. 1/10 (121). P. 46–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272949>

28. Nikias C. L., Raghuveer M. R. Bispectral Estimation: a Digital Signal Processing Framework. Proc. IEEE. 1987. V. 75. №7. P. 869–891. doi: <https://doi.org/10.1109/proc.1987.13824>

29. Du L., Liu H., Bao Z., Xing M. (2005). Radar HRRP target recognition based on higher order spectra. IEEE Transactions on Signal Processing. 2005. № 53(7). P. 2359–2368. doi: <https://doi.org/10.1109/TSP.2005.849161>

30. Hayashi K., Mukai N., Sawa T. Simultaneous bicoherence analysis of occipital and frontal electroencephalograms in awake and anesthetized subjects. Clinical Neurophysiology. 2014. V. 125(1). P. 194–201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.06.024>

31. Сповідувач пожежний тепловий точковий. Артон. с. 7. URL: https://ua.arton.com.ua/files/passports/%D0%A2%D0%9F%D0%A2-4_UA.pdf

32. Cui L., Xu H., Ge J., Cao M., Xu Y., Xu W., Sumarac D. Use of Bispectrum Analysis to Inspect the Non-Linear Dynamic Characteristics of Beam-Type Structures Containing a Breathing Crack. Sensors. 2021. V. 21. 1177.

33. Yang B., Wang M., Zan T., Gao X., Gao P. Application of Bispectrum Diagonal Slice Feature Analysis in Tool Wear States Monitoring. Research Square. 2021. doi: [10.21203/rs.3.rs-775113/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-775113/v1)

34. Chua K. C., Chandran V., Acharya U. R., Lim C. M. Application of higher order statistics/spectra in biomedical signals-A review. Med. Eng. Phys. 2010. №32.

P. 679–689.

35. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Skliarov S. Research into dynamics of setting the threshold and a probability of ignition detection by self-adjusting fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. V. 5/9(89). P. 43–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110092>

REFERENCES

1. Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsymbal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O. (2018). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/10 (92), 4–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>

2. Vambol, S., Vambol, V., Kondratenko, O., Suchikova, Y., Hurenko, O. (2017). Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arranging the system of pollutant neutralization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/10(87), 63–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102314>

3. Semko, A., Beskrovnaya, M., Vinogradov, S., Hritsina, I., Yagudina, N. (2017). The usage of high speed impulse liquid jets for putting out gas blowouts. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Poland)*, 3, 655–664. <http://jtam.pl/The-usage-of-high-speed-impulse-liquid-jets-for-putting-out-gas-blowouts-,102145,0,2.html>

4. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Maksymenko, N., Meleshchenko, R. et al. (2020). Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring the current concentrations of pollutants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (106)), 37–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210059>

5. Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda, D., Sobyna, V., Sokolov, D., Dement, M., Hurkovskyi, V., Nikolaiev, K., Yatsyshyn T., Dimitrieva, D. (2019). Physical features of pollutants spread in the air during the emergency at NPPs. *Nuclear and Radiation Safety*, 4/84, 11. doi: [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4\(84\).11](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4(84).11)

6. Otrosh, Y., Rybka, Y., Danilin, O., Zhuravskyi, M. (2019). Assessment of the technical state and the possibility of its control for the further safe operation of building structures of mining facilities. *E3S Web of Conferences*, 123, 01012. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301012>

7. Vambol, V., Vambol, S., Kondratenko, O., Koloskov, V., Suchikova, Y. (2018). Substantiation of expedience of application of high-temperature utilization of used tires for liquefied methane production. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 87(2), 77–84. doi: <http://dx.doi.org/10.5604/01.3001.0012.2830>

8. Sadkovyi, V., Andronov, V., Semkiv, O., Kovalov, A., Rybka, E., Otrosh, Yu. et al.; Sadkovyi, V., Rybka, E., Otrosh, Yu. (Eds.) (2021). Fire resistance of reinforced concrete and steel structures. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 180. doi: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>

9. Kovalov, A., Otrosh, Y., Rybka, E., Kovalevska, T., Togobytska, V., Rolin, I. (2020). Treatment of Determination Method for Strength Characteristics of Reinforcing Steel by Using Thread Cutting Method after Temperature Influence. *Materials Science Forum*, 1006, 179–184. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.179>

10. Ragimov, S., Sobyna, V., Vambol, S., Vambol, V., Feshchenko, A., Zakora, A., Strejekurov, E., Shalomov, V. (2018). Physical modelling of changes in the energy

impact on a worker taking into account high-temperature radiation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 91, 1, 27–33. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.9654>

11. Vambol, S., Vambol, V., Bogdanov, I., Suchikova, Y., Rashkevich, N. (2017). Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano inclusions on the atmosphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10(90), 57–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118213>

12. Otrosh, Yu., Semkiv, O., Rybka, E., Kovalov, A. (2019). About need of calculations for the steel framework building in temperature influences conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708, 1, 012065. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012065>

13. Kondratenko O., Vambol S., Stokov O., Avramenko A. (2015). Mathematical model of the efficiency of diesel particulate matter filter. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 55–61. <http://nvngu.in.ua/index.php/en/archive/on-the-issues/1173-2015/contents-no-6-2015/geotechnical-and-mining-mechanical-engineering-machine-building/3227-mathematical-model-of-the-efficiency-of-diesel-particulate-matter-filter>

14. Vasyukov, A., Loboichenko, V., Bushtec, S. (2016). Identification of bottled natural waters by using direct conductometry. *Ecology, Environment and Conservation*, 22/3, 1171–1176. http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=7102&iid=215&jid=3

15. Pospelov, B., Kovrehin, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Petukhova, O., Butenko, T. et al. (2020). Development of a method for detecting dangerous states of polluted atmospheric air based on the current recurrence of the combined risk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (107)), 49–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213892>

16. Cheng, C., Sun, F., Zhou, X. (2011). One fire detection method using neural networks. *Tsinghua Science and Technology*, 16 (1), 31–35. doi: [https://doi.org/10.1016/s1007-0214\(11\)70005-0](https://doi.org/10.1016/s1007-0214(11)70005-0)

17. Ding, Q., Peng, Z., Liu, T., Tong, Q. (2014). Multi-Sensor Building Fire Alarm System with Information Fusion Technology Based on D-S Evidence Theory. *Algorithms*, 7 (4), 523–537. doi: <https://doi.org/10.3390/a7040523>

18. Wu, Y., Harada, T. (2004). Study on the Burning Behaviour of Plantation Wood. *Scientia Silvae Sinicae*, 40, 131–136.

19. Ji, J., Yang, L., Fan, W. (2003). Experimental Study on Effects of Burning Behaviours of Materials Caused by External Heat Radiation. *Journal of Combustion Science and Technology*, 9, 139.

20. Peng, X., Liu, S., Lu, G. (2005). Experimental Analysis on Heat Release Rate of Materials. *Journal of Chongqing University*, 28, 122.

21. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Karpets, K., Pirohov, O., Semenyshyna, I., Kapitan, R., Promska, A., Horbov, O. (2019). Development of the correlation method for operative detection of recurrent states. *Eastern-European Journal of Enterprise*, 6/4 (102), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.187252>

22. Sadkovyi V., Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Rud A., Karpets K., Bezuhla Yu. (2020). Construction of a method for detecting arbitrary hazard pollutants in the atmospheric air based on the structural function of the current pollutant concentrations. *Eastern-European Journal of Enterprise*, 6/10 (108), 14–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218714>

23. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Harbuz, S., Bezuhla, Y. et al. (2020). Use of uncertainty function for identification of hazardous

states of atmospheric pollution vector. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (10 (104)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200140>

24. Gottuk, D. T., Wright, M. T., Wong, J. T., Pham, H. V., Rose-Pehrsson, S. L., Hart, S., Hammond, M., Williams, F. W., Tatem, P. A., Street, T. T. (2002). Prototype Early Warning Fire Detection Systems: Test Series 4 Results. NRL/MR/6180–02–8602, Naval Research Laboratory.

25. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Bezuhla, Y., Liashevskaya, O., Butenko, T., Darmofal, E., Hryshko, S., Kozynska, I., Bielashov, Y. (2022). Empirical cumulative distribution function of the characteristic sign of the gas environment during fire. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (10 (118)), 60–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263194>

26. Pospelov, B., Rybka, E., Savchenko, A., Dashkovska, O., Harbuz, S., Naden, E. et al. (2022). Peculiarities of amplitude spectra of the third order for the early detection of indoor fires. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (10 (119)), 49–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265781>

27. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Chubko, L., Bezuhla, Y., Gordiichuk, S., Lutsenko, T., Suriadna, N., Hryshko, S., Kushchova, T. (2023). Revealing the peculiarities of average bicoherence of frequencies in the spectra of dangerous parameters of the gas environment during fire. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (10 (121)), 46–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272949>

28. Nikias, C. L., Raghuveer, M. R. (1987). Bispectrum estimation: A digital signal processing framework. Proceedings of the IEEE, 75 (7), 869–891. doi: <https://doi.org/10.1109/proc.1987.13824>

29. Du, L., Liu, H., Bao, Z., & Xing, M. (2005). Radar HRRP target recognition based on higher order spectra. IEEE Transactions on Signal Processing, 53(7), 2359–2368. doi: <https://doi.org/10.1109/TSP.2005.849161>

30. Hayashi, K., Mukai, N., Sawa, T. (2014). Simultaneous bicoherence analysis of occipital and frontal electroencephalograms in awake and anesthetized subjects. Clinical Neurophysiology, 125(1), 194–201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.06.024>

31. Passport. Spovishchuvach pozhezhnyi teplovyyi tochkovyi. Arton. Available at: https://ua.arton.com.ua/files/passports/%D0%A2%D0%9F%D0%A2-4_UA.pdf

32. Cui, L., Xu, H., Ge, J., Cao, M., Xu, Y., Xu, W., Sumarac, D. (2021). Use of Bispectrum Analysis to Inspect the Non-Linear Dynamic Characteristics of Beam-Type Structures Containing a Breathing Crack. Sensors. V. 21. 1177. doi: <https://doi.org/10.3390/s21041177>

33. Yang, B., Wang, M., Zan, T., Gao, X., Gao, P. (2021). Application of Bispectrum Diagonal Slice Feature Analysis in Tool Wear States Monitoring. Research Square. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-775113/v1>

34. Chua, K. C., Chandran, V., Acharya, U. R., Lim, C. M. (2010). Application of higher order statistics/spectra in biomedical signals – A review. Medical Engineering & Physics, 32 (7), 679–689. doi: <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2010.04.009>

35. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Research into dynamics of setting the threshold and a probability of ignition detection by self-adjusting fire detectors. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/9 (89), 43–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110092>

¹ **Igor TOLOK**, PhD, Associate Professor (ORCID: 0000-0001-6309-9608),

¹ **Boris POSPELOV**, Doctor of Technical Sciences, Professor
(ORCID: 0000-0002-0957-3839),

¹ **Evgeniy RYBKA**, Doctor of Technical Sciences, Professor
(ORCID: 0000-0002-5396-5151),

¹ **Serhiy POZDIEIEV**, Doctor of Technical Sciences, Professor
(ORCID: 0000-0002-9085-0513),

¹ **Maksym KUSTOV**, Doctor of Technical Sciences, Professor
(ORCID: 0000-0002-6960-6399),

² **Yevhen ROMANENKO**, Doctor of Public Administration, Professor
(ORCID: 0000-0003-2285-0543),

¹ National University of Civil Protection of Ukraine

² Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine

AVERAGE PHASE OF THE BISPERCLE OF THE CONCENTRATION OF CARBON OXIDE IN THE GAS ENVIRONMENT OF ROOMS AT THE INTERVALS OF THE ABSENCE AND APPEARANCE OF THE IGNITION OF MATERIALS

The object of the study is the dynamics of carbon monoxide concentration in the gaseous environment during fires of materials in premises. The importance of such a study is related to the possibility of using the measure of the average phase of the coherent bispectrum of the dynamics of carbon monoxide concentration for detecting fires and preventing emergencies as a result of fires. The measure of the average phase of the coherent bispectrum of the dynamics of carbon monoxide concentration in the gaseous environment at an arbitrary time interval of observation is substantiated. The features of the measure of the average phase of the coherent bispectrum of the dynamics of carbon monoxide concentration in the gaseous environment in the chamber at intervals of reliable absence and presence of ignition of alcohol, paper, wood and textiles are experimentally investigated. The results obtained indicate that the dynamics of the concentration of carbon monoxide in the gaseous environment in the chamber at intervals of absence and presence of ignition of test materials as a whole belong to the class of non-reversible processes that have obvious asymmetry. It was found that the average phase measure of the coherent bispectrum of the dynamics of the carbon monoxide concentration of the gas environment in the presence and absence of fires has different values for the considered test materials. In addition, the average phase measure of the coherent bispectrum of the dynamics of the carbon monoxide concentration of the gas environment in the absence of fires is negative, and in the presence of fires – positive. It was obtained that the average phase of the coherent bispectrum of the dynamics of the carbon monoxide concentration of the gas environment of the chamber at the intervals of the absence of ignition of alcohol, paper, wood and textiles has the values of -1.509, -1.108, -0.655 and -1.37 rad, respectively. At the same time, at the intervals of the occurrence of ignition of alcohol, paper, wood and textiles, the average phase of the coherent bispectrum of the dynamics of the carbon monoxide concentration is +1.501, +1.645, +1.553 and +0.309 rad, respectively. Thus, the proposed measure of the average phase of the coherent bispectrum of the dynamics of carbon monoxide concentration in the gas environment allows it to be used for early detection of fires in premises, which prevents the occurrence of emergency situations due to fires at facilities.

Keywords: emergency situation, measure, average phase, coherent bispectrum, gas environment, carbon monoxide concentration, material ignition