

УДК 621.03

- Б. Б. Поспелов¹**, д.т.н., професор, провідн. н.с. (ORCID 0000-0002-0957-3839)
Є. О. Рибка¹, д.т.н., ст. дослідник, заст. нач. центру – нач. відділу (ORCID 0000-0002-5396-5151)
М. О. Самойлов¹, ад'юнкт ад'юнктури (ORCID 0000-0002-8924-7944)
Ю. С. Безугла¹, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0003-4022-2807)
О. А. Яценко¹, к.е.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0001-7129-389X)
Ю. А. Веретеннікова², зав. навч. лаб. (ORCID 0000-0003-0245-704X)
¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна
²Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна

МЕТОД ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ ВНАСЛІДОК ПОЖЕЖ ШЛЯХОМ КОРОТКОЧАСНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАГОРЯНЬ

Розроблено параметричну модель прогнозування поточної рекурентності прирощень стану повітряного середовища приміщень при загоряннях матеріалів в умовах, що характерні для реальних приміщеннях на основі використання виключно результатів вимірювання довільної множини небезпечних факторів пожежі. Розроблена модель залежить від двох параметрів, які визначаються априорі та впливають на результат прогнозу рекурентності прирощень станів повітряного середовища приміщень. Новий науковий результат визначається теоретичним обґрунтуванням розробленої моделі прогнозування рекурентності прирощень станів повітряного середовища приміщень. Запропонована модель має дві властивості. Перша – пов'язана з можливістю використання в теоретичних дослідженнях виявлення ранніх загорянь різних матеріалів в довільних умовах сучасних приміщень. Друга – полягає в практичному застосуванні щодо реальних вимірювань небезпечних факторів пожежі повітряного середовища приміщень. Відповідно до запропонованої моделі прогнозування поточної рекурентності прирощень стану повітряного середовища приміщень при загоряннях матеріалів на основі вимірювання довільної множини небезпечних факторів пожежі розроблений керуючий алгоритм методу запобігання надзвичайним ситуаціям внаслідок пожеж у приміщеннях. Керуючий алгоритм складається з шести послідовних функціонально пов'язаних блоків. Розроблений керуючий алгоритм дозволяє запропонувати відповідний метод запобігання надзвичайним ситуаціям внаслідок пожежі у приміщеннях шляхом прогнозування рекурентності прирощень станів повітряного середовища приміщень, яке відбувається на основі поточного дискретного вимірювання довільної множини небезпечних факторів пожежі. Описана процедура застосування запропонованого методу включає шість послідовних функціональних процедурних елементів.

Ключові слова: пожежа, динаміка, рекурентність прирощень стану, небезпечні фактори, повітряне середовище, рекурентна діаграма

1. Вступ

Світова статистика свідчить про те, що більшість з усіх видів пожеж припадає на пожежі у приміщеннях (ПП) (понад 39%). При цьому загибель людей від пожеж в приміщеннях становить понад 80% від загальної кількості загиблих. На сучасному етапі розвитку економіки країн світу пожежі у приміщеннях розглядаються як один з головних чинників, що призводить до ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС). За даними Національної асоціації протипожежного захисту, в 2020 році пожежні частини реагували на пожежу в США в середньому близько 25 секунд. При цьому повідомлення про пожежу в приміщенні поступало кожних 95 секунд, смерть від ПП відбувалася кожних 3 години, а травми – мали місце близько кожних півгодини. У 2020 році ПП заподіяли майновий збиток близько 15 млрд. доларів, що перевищує показники 2019 року [1]. Тому запобігання виникненню НС внаслідок пожеж у приміщеннях розглядається в якості однієї з головних та пріоритетних проблем для будь-якої держави. При цьому наведені дані свідчать про недостатню ефективність існуючих підходів та заходів щодо запобігання виникненню НС внаслідок ПП. Сучасні підходи та заходи ба-

зуються в основному на фізичних явищах передачі тепла і маси у відповідних умовах та дозволяють в цілому прогнозувати розвиток ПП. При цьому умови переважно обмежуються великою кількістю параметрів щодо пожежного навантаження та конструктивно-планувальних особливостей приміщень. Це обумовлює актуальність розробки нових методів запобігання виникненню НС внаслідок ПП шляхом прогнозування загорянь матеріалів у реальних приміщеннях.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

З метою запобігання виникненню НС внаслідок пожеж у приміщеннях, перш за все, необхідно надійно прогнозувати загоряння матеріалів до моменту перетворення їх у некерований процес у вигляді пожежі. Це дозволить не боротися з самою пожежею, а запобігти виникненню як самої пожежі, так і НС внаслідок неї. В [2] наведені результати дослідження сучасних методів прогнозування ПП. Показано, що методи базуються на розрахунку і математичному моделюванні основних небезпечних чинників ПП. При цьому виявилися не вирішеними питання, що пов'язані з прогнозуванням ПП в реальних умовах. Пояснюється це тим, що відомі методи дозволяють в загальному вигляді описувати і розраховувати детерміновану зміну параметрів стану середовища та конструкцій приміщення в часі [3]. В силу різноманіття типів приміщень та пожежного навантаження прогнозування ПП в реальних умовах на основі відомих підходів та методів важко реалізується, оскільки реальні умови характеризуються досить складною та індивідуальною динамікою поточних станів повітряного середовища приміщень (ПСП). ПСП при ПП в загальному випадку є індивідуальною складною динамічною системою, для якої характерні властивості дисипації, не лінійності та самоорганізації [4]. У такій системі відомі методи не дозволяють прогнозувати складні зв'язки між елементами системи, оскільки ґрунтуються на принципах лінійності, які в реальних умовах ПП зазвичай не виконуються. Це призводить до помилкового прогнозування динаміки стану ПСП, що не дозволяє прогнозувати загоряння матеріалів та запобігати виникненню ПП [5]. При цьому характер поточної динаміки стану ПСП має первинне значення для прогнозування загорянь та ПП з метою виключення загибелі людей та руйнування технологічного устаткування і агрегатів у приміщеннях [6]. Подолання відмічених труднощів можна здійснити на основі методів нелінійної динаміки [7]. Кількісні методи оцінки нелінійної динаміки систем за наявності шумів і нестационарних умов досліджуються в роботах [7, 8]. Зокрема, застосування в геофізиці методів аналізу часових рядів з позиції теорії динамічних систем та фрактальних множин розглядаються в [9]. Разом з тим методи прогнозування небезпечних станів ПСП, пов'язаних з загоряннями та ПП в реальних умовах, в [7–9] не розглядаються. Експериментальне вивчення процесу виникнення ПП виконане в [10]. Вплив теплового випромінювання на швидкість процесу вивільнення тепла для типових матеріалів загоряння вивчається в [11]. Дослідження режимів горіння різних горючих матеріалів під дією зовнішнього теплового джерела на основі експериментальних даних виконане в [12]. Вивченню швидкості тепловиділення при ПП присвячена робота [13]. Відзначається, що динаміка стану ПСП на початковому етапі ПП носить дуже складний і нестационарний характер. Підвищенню ефективності відомих методів виявлення ПП присвячена робота [14]. При цьому, нові методи, наприклад [15], здатні прогнозувати ПП на основі поточного стану ПСП, не розглядаються. В [16] розглядаються самоналагоджувальні методи виявлення загорянь. При цьому пропонувані методи ґрунтуються тільки

на усереднених значеннях станів окремих параметрів ПСП. Поточна динаміка параметрів ПСП при виникненні ПП не враховується та не аналізується. В силу складності динаміки стану ПСП результати досліджень, представлені в [17], обмежуються тільки аналізом динаміки адаптивного порогу та вірогідності виявлення загорянь. Використання часових автокореляцій та парних кореляцій для оцінки динаміки основних параметрів стану ПСП щодо тестових загорянь в модельній камері виконано в [18]. Відзначається, що для виявлення загорянь важливішими є поточні показники щодо параметрів стану ПСП, а не їх усереднені значення. У [19] розглядаються методи, придатні для виявлення небезпечних параметрів стану ПСП при ПП. Проте ці методи справедливі тільки в стаціонарному наближенні та дозволяють виявляти лише усереднені енергетичні показники параметрів стану ПСП. При цьому методи не враховують особливості частотно-часової взаємодії параметрів стану ПСП і не дозволяють здійснювати прогнозування загорянь та ПП. Методи часового та частотного виявлення небезпечних станів ПСП при загоряннях та ПП розглядаються в [20]. Відзначається, що проблема частотно-часового виявлення небезпечних станів ПСП при загоряннях залишається до кінця не вирішеною. Відомі методи є складними в реалізації та малопридатними щодо виявлення загорянь і прогнозування ПП. Метод, що враховує нестаціонарний характер параметрів стану ПСП при загоряннях, досліджується в [21]. Проте цей метод ґрунтується на застосуванні перетворення Фур'є до стаціонарних фрагментів спостережуваної нестаціонарної динаміки станів. У разі загоряння та виникнення ПП виділити вказані відрізки стаціонарності в нестаціонарній динаміці станів небезпечних параметрів ПСП не представляється можливим. В [21] ПСП у вигляді складної динамічної системи при загоряннях та ПП не розглядається, не досліджується та не прогнозується динаміка станів. Дослідження динаміки швидкості горіння різних матеріалів в закритих і вентильованих приміщеннях виконане в [22]. Проте в цій роботі відсутні дані про особливості динаміки станів ПСП при загоряннях та ПП. Дослідженню динаміки приростів окремих небезпечних параметрів стану ПСП присвячена робота [23]. Відзначається, що динаміка приростів параметрів стану ПСП може розглядатися в якості ефективної ознаки виявлення загорянь та їх прогнозування. Проте результати досліджень обмежуються аналізом традиційних статистичних показників приростів. Методи прогнозування загорянь та ПП при цьому не розглядаються. У [18–23] відзначається, що загоряння матеріалів є джерелом порушення динамічного рівноважного стану ПСП. Динаміка станів ПСП при загоряннях має складний нелінійний і нестаціонарний характер. Спроба виявлення вказаних особливостей ПСП методами частотно-часової ідентифікації нелінійних динамічних систем розглядається в [24, 25]. Застосування методу короткочасного перетворення Фур'є в цьому випадку розглядається в [26]. Однак зазначені методи [24–26], виявляються досить складними в реалізації і не можуть бути застосованими для прогнозування загорянь та ПП у реальному часі. При цьому у зазначених роботах відзначається, що для виявлення та прогнозування загорянь і ПП, більш важливою є динаміка станів і прирощення станів ПСП, які розглядаються в багатовимірному фазовому просторі. Застосування частотно-часового методу для оцінки особливостей динаміки стану ПСП при загорянні розглядається в [27]. Відзначається, що метод виявляється досить складним в реалізації і має недостатню оперативність та характеризується параметричною невизначеністю. Крім того, даний метод, будучи енергетичним, по суті не дозволяє оцінювати динаміку станів ПСП в фазовому просторі.

Таким чином, із аналізу встановлено, що динаміка станів ПСП при загоряннях матеріалів у випадку ПП має складний і нелінійний характер, який залежить від конкретних умов. Для раннього виявлення і прогнозування загорянь з метою запобігання виникненню НС внаслідок ПП пропонується використовувати різні частотно-часові методи. Однак дані методи є досить складними в реалізації, мають обмежену чутливість, оперативність і область застосування. Тому застосування таких методів для прогнозування загорянь та ПП виявляється проблематичним. Більш придатними для цього слід вважати методи нелінійної динаміки, що засновані на використанні поточної динаміки станів ПСП або інших параметрів [28]. В цьому сенсі більш конструктивними слід вважати методи, що базуються на динаміці рекурентності природних стану ПСП у реальному часі при ПП. Тому важливою та невирішеною частиною розглянутої проблеми є розробка методу запобігання виникненню НС внаслідок ПП на основі прогнозування поточної рекурентності природних стану ПСП при загоряннях матеріалів в реальних умовах.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розробка методу запобігання виникненню надзвичайних ситуацій внаслідок пожеж у приміщеннях шляхом прогнозування поточної рекурентності природних стану повітряного середовища приміщень при загоряннях матеріалів в реальних умовах, що відбуваються у приміщеннях різного типу.

Для досягнення мети роботи були поставлені наступні завдання:

- розробити модель прогнозування поточної рекурентності природних стану повітряного середовища приміщень при загоряннях матеріалів в умовах, що діють у реальних приміщеннях на основі використання тільки результатів вимірювання довільної множини небезпечних факторів пожежі;

- розробити керуючий алгоритм методу запобігання виникненню надзвичайних ситуацій внаслідок пожеж у приміщеннях шляхом прогнозування поточної рекурентності природних стану повітряного середовища приміщень при загоряннях матеріалів;

- описати процедуру застосування методу запобігання виникненню надзвичайних ситуацій внаслідок пожеж у приміщеннях на основі прогнозування поточної рекурентності природних стану повітряного середовища приміщень при загоряннях матеріалів.

4. Розробка моделі прогнозування поточної рекурентності природних стану повітряного середовища приміщення

Будемо вважати, що небезпечні фактори стану ПСП при загоряннях вимірюються в дискретні моменти часу і з фіксованим інтервалом Δt часу. Для зручності такі дискретні вимірювання нумерувалися від 0 до N , де N визначає номер кінцевого моменту часу вимірювання. Таким чином, стан повітряного середовища в довільний момент i буде визначатися вектором $z(t_i)$, розмір якого буде визначатися кількістю вимірюваних факторів пожежі. Зазвичай основними небезпечними факторами пожежі прийнято рахувати оптичну щільність диму, температуру повітряного середовища та концентрації чадного газу. Наприклад, у цьому випадку вектор $z(t_i)$ буде визначатися у тривимірному просторі. Для кожного дискретного моменту i вектора $z(t_i)=z_i$ станів ПСП визначається величина природження $x_i=z_i-z_{i+1}$ між поточним i та наступним $i+1$ станами вектора. Відповідно до цього модель формування природних станів ПСП може бути представлена у вигляді (рис. 1).

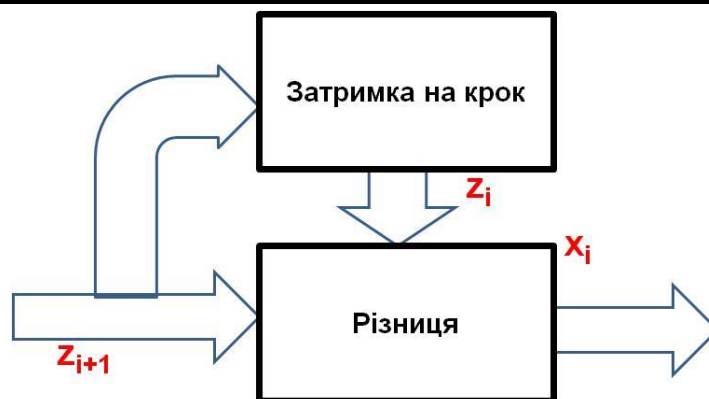


Рис. 1. Модель формування прирощень станів повітряного середовища приміщень

Відомо, що дослідження властивостей широкого кола складних динамічних систем виконують на основі методів рекурентних діаграм (RP) [16]. Однак відомі методи RP розраховані на те, що у розпорядженні для аналізу відома вся вибірка, а не послідовне надходження результатів її вимірювання. Крім того відомі методи RP виявляються недостатньо чутливими до виявлення змін у динаміці прирощень станів ПСП при загораннях матеріалів. Це обмежує можливості застосування відомих методів RP щодо поточного аналізу динаміки прирощень станів x_i ПСП при загораннях. З метою усунення зазначених обмежень запропоновано модифікувати метод обчислення RP [29] відповідно до співвідношення:

$$\text{TRP}_{i,j}^{m,r} = \text{if}(i \neq j \mid j \leq i, R^{m,r}_{i,j}, 0). \quad (1)$$

де $H(r - \|x_i - x_j\|) = R^{m,r}_{i,j}$ визначає відомий метод обчислення RP для усіх $x_i \in \Omega^m$ у просторі Ω^m розмірності m та $i, j = 1, 2, \dots, N$ [29].

Вираз (1) визначає запропоновану модифікацію обчислення RP щодо прирощень станів середовища в реальному часі вимірювання. На підставі (1) запропоновано модель щодо поточної міри рекурентності прирощення станів повітряного середовища при загорянні в приміщеннях, що визначається у вигляді:

$$M_2(i, r) = \frac{1}{i+1} \sum_{k=0}^i \text{TRP}_{i,k}^{m,r}. \quad (2)$$

Міра (2) реалізується моделлю, яка представлена на рис. 2.

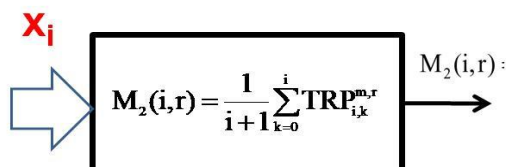


Рис. 2. Модель обчислення рекурентності прирощень станів повітряного середовища приміщень

Модель (2) дозволяє чисельно характеризувати рекурентність прирощень станів (РПС) ПСП для довільної кількості вимірюваних небезпечних факторів для поточного дискретного моменту часу i з урахуванням заданого розміру r околиці рекурентності станів x_i . Ця модель на основі міри (2) дозволяє визначати в

реальному часі особливості динаміки РПС ПСП, що визначаються вимірюваними небезпечними факторами при загоряннях різних матеріалів в довільних приміщеннях. Крім того модель (2) є універсальною і дозволяє також визначати в реальному часі особливості динаміки РПС ПСП щодо змодельованих апріорі станів ПСП для довільних умов загоряння та розвитку пожеж у приміщеннях.

Модель щодо запобігання виникненню ПП базується на прогнозуванні рекурентності прирощень станів ПСП при загоряннях матеріалів. В [30, 31] зазначено, що більш чутливими до ранніх загорянь є прирощення станів ПСП. Крім того вказано, що на основі міри (2) можливо виявляти моменти часу втрати динамічної стійкості стану ПСП при появі загорянь. Це означає, що прогнозування цієї міри дозволить своєчасно виявляти ПП та запобігати тим самим появу НС внаслідок пожежі. Тому модель прогнозування рекурентності прирощень станів ПСП при загоряннях матеріалів повинна засновуватись на відповідних методах її прогнозування у реальному часі. До теперішнього часу відомо понад 200 методів прогнозування. Кожен з методів має власну сферу використання з урахуванням динаміки процесу прогнозування. При цьому більшість таких методів виявляються складними в реалізації і не завжди забезпечують оперативність і точність прогнозу. Дані методи переважно призначені для прогнозування тренда і сезонності в вимірюваних даних, які не є характерними для прирощень стану, що розглядаються. Тому при виборі методу та моделі прогнозування ПП в приміщеннях на основі міри РПС (2) враховувалися, насамперед, поточність прогнозу, відсутність апріорних даних щодо динаміки процесу та простота його реалізації. З точки зору задоволення цим вимогам найбільше відповідає метод прогнозування, заснований на процедурі експоненціального згладжування. Такий метод дозволяє здійснювати короткостроковий прогноз на один крок по поточній мірі (4) РПС ПСП при загоряннях. Незважаючи на більш простий та доступний математичний апарат, прогнозування за допомогою моделей експоненціального згладжування часто дає результат, який можна порівняти з результатом, отриманим при використанні складної моделі ARIMA.

Прогнозування на основі простого експоненціального згладжування в даному випадку буде визначатися у вигляді:

$$Y_{i+1} = \alpha M_2(i, \varepsilon) + (1 - \alpha) Y_i, \quad (3)$$

де Y_{i+1} – прогноз РПС для вектора прирощень на момент $i+1$; α – фіксований параметр, значення якого вибирається відповідно умови $0 \leq \alpha \leq 1$; Y_i – прогноз РПС для вектора прирощень станів на момент i .

У методі (3) параметр α , визначає залежність прогнозу від більш «старих» даних, причому вплив від цих даних на прогноз убуває за експонентою. Якщо прогнозування проводиться з використанням моделі експоненціального згладжування, зазвичай на деякому тестовому наборі будуються прогнози при різних значеннях параметра α та відстежується, при якому значенні α точність прогнозування є найвищою. Потім одержане значення α використовується надалі при прогнозуванні. При цьому видно, що при значенні $\alpha = 1$, експоненціальна модель (3) прагне до найпростішої «найвної» моделі, а при значенні $\alpha = 0$ прогноз дорівнює попередньому прогнозу.

Таким чином, запропонована модель щодо запобігання ПП та виникнення НС в реальних умовах на основі міри РПС реалізується послідовним поєднанням

розглянутих вище моделей, представлених на рис. 1 та рис. 2 з урахуванням (3). Це означає, що структурна схема запропонованої моделі прогнозування поточної рекурентності природних стану ПСП при загоряннях матеріалів на основі вимірювання довільної множини небезпечних факторів пожежі або змодельованих даних буде складатися із моделі формування природних стану ПСП, моделі визначення поточної міри РПС ПСП та моделі прогнозування РПС відповідно до виразу (3). При цьому прогнозування ПП шляхом виявлення ранніх загорянь на основі поточної РПС ПСП дозволяє своєчасно вжити відповідних заходів щодо недопущення ПП та запобігання виникненню НС в наслідок пожежі з метою усунення загрози життю людей та руйнування приміщень.

5. Розробка керуючого алгоритму методу запобігання надзвичайним ситуаціям внаслідок пожеж

Відповідно до розробленої моделі прогнозування поточної рекурентності природних стану ПСП при загоряннях матеріалів на основі вимірювання довільної множини небезпечних факторів пожежі розроблений керуючий алгоритм методу запобігання НС внаслідок пожежі у приміщеннях. Керуючий алгоритм складається з шести послідовних блоків.

Перший блок включає інженерний аналіз приміщень, які є потенційними джерелами виникнення НС внаслідок пожежі.

Другий блок включає визначення небезпечних факторів ПСП, які є індикаторами виникнення можливих НС внаслідок пожежі.

Третій блок включає інженерно-технічне обґрунтування вибору вимірювальних сенсорів для небезпечних факторів ПСП, визначених як небезпечних в другому блоці. При цьому обґрунтовуються відповідні кошти та методики виконання вимірювань. Аналізуються точності обраних засобів вимірювання та їх апаратурні і методичні похибки.

Четвертий блок включає технічне вимірювання станів небезпечних факторів ПСП в дискретні моменти часу. За результатами одержаних поточних вимірювань обчислюються поточні значення щодо природних вектору стану.

П'ятий блок складається в інженерно-технічному використанні запропонованої моделі для прогнозування поточної рекурентності природних стану ПСП при загоряннях матеріалів за результатами обчислення поточних РПС, які визначаються у четвертому блоці.

Шостий блок призначений для прогнозування загорянь матеріалів на основі моменту часу стійкої втрати динамічної рівноваги РПС ПСП в реальному часі. При цьому слід враховувати, що чисельне значення прогнозованої величини РПС ПСП співпадає з поточною оцінкою ймовірності РПС ПСП. Це означає, що прогнозне значення РПС ПСП дорівнює оберненій ймовірності загоряння матеріалу в приміщенні та визначає ймовірність виникнення ПП і відповідної НС внаслідок ПП.

6. Опис процедури застосування методу запобігання надзвичайним ситуаціям внаслідок пожеж

Метод запобігання виникненню НС внаслідок ПП на основі прогнозування поточної рекурентності природних стану ПСП при загоряннях матеріалів передбачає виконання наступних процедур:

1) обґрунтування і визначення вхідних даних про приміщення і небезпечних факторах пожежі ПСП;

2) інженерно-технічне обґрунтування вимірювальних сенсорів для визначення небезпечних факторів пожежі ПСП, засобів та методики їх вимірювань;

3) технічне вимірювання небезпечних факторів ПСП і обчислення на їх основі поточних значень рекурентності прирощень станів ПСП;

4) інженерно-технічне використання розробленої моделі прогнозування поточної рекурентності прирощень стану ПСП при загоряннях матеріалів на основі обчислених поточних значень рекурентності прирощень станів ПСП;

5) визначення початку загорянь матеріалів на основі значення прогнозованої величини РПС ПСП, при якому спостерігається стійка за часом втрата динамічної рівноваги РПС ПСП в реальному часі. При цьому чисельне значення прогнозованої величини РПС ПСП, при якому відбувається стійка втрата РПС ПСП буде визначати обернену ймовірність появи загоряння матеріалу в приміщенні;

6) обґрунтування за результатами прогнозування загорянь відповідних управлінських рішень, спрямованих на недопущення ПП та запобігання виникненню НС внаслідок ПП.

Основні результати верифікації розробленої моделі та методу запобігання виникненню НС внаслідок ПП на основі прогнозування поточної рекурентності прирощень стану ПСП при загоряннях тестових матеріалів у лабораторній камері наведені в [32].

7. Обговорення результатів розробки методу запобігання надзвичайним ситуаціям внаслідок пожеж

Метод запобігання НС внаслідок пожеж, що пропонується, заснований на реалізації підходу, який розвивається останнім часом у роботах професора Поспелова Б.Б. та суттєво відрізняється від відомих раніш підходів професорів Кошмарова Ю.А. та Шаровара Ф.І. А саме це стосується використання новітніх технологій аналізу складних систем. У якості складної системи при пожежі запропоновано розглядати повітряне середовище приміщень, а саме характеристики стану повітряного середовища. В загальному випадку стан повітряного середовища, як складної системи, в довільний момент і часу буде характеризуватися вектором $z(t_i)$, розмір якого буде визначатись кількістю вимірюваних факторів пожежі у повітряному середовищі. У роботі основними небезпечними факторами пожежі прийнято рахувати оптичну щільність диму, температуру повітряного середовища та концентрації чадного газу в оточуючому середовищі. З урахуванням цього такий вектор $z(t_i)$ буде тривимірним. Для кожного дискретного моменту і вектора $z(t_i)=z_i$ станів ПСП визначається величина прирощення $x_i=z_i-z_{i+1}$ між поточним і наступним $i+1$ станами цього вектора. Слід зауважити, що вимірюваним є тільки реальний вектор стану повітряного середовища. В цьому випадку знання моделей динаміки небезпечних факторів не потрібні, непотрібно знати та розраховувати також параметри таких моделей з урахуванням особливостей приміщень та інших факторів. Тому підхід професора Поспелова Б.Б. вигідно відрізняється від відомих універсальністю та оперативністю. Це дозволило розробити нову модель щодо виявлення ранніх загорянь у приміщеннях, яка заснована на поточному обчисленні міри РПС ПП (2). Розроблена модель дозволить визначати в реальному часі спостереження особливості динаміки РПС ПСП щодо вимірюваних небезпечних факторів повітряного середовища при загоряннях різних типів матеріалів в довільних приміщеннях. Крім того ця модель дозволить також визначати в реальному часі особливості динаміки РПС ПСП у випадку загоряння та розвит-

ку пожеж у заданих або змодельованих приміщеннях. На основі обчислення поточної міри РПС ПП запропоновано модель щодо запобігання виникненню ПП, яка базується на прогнозуванні цієї міри. Це означає, що прогнозування цієї міри дозволить своєчасно виявляти ПП та запобігати тим самим появі НС внаслідок пожеж. При цьому прогнозування ПП шляхом виявлення ранніх загорянь на основі поточної РПС ПСП дозволяє своєчасно вжити відповідних заходів щодо недопущення ПП та запобігання виникненню НС в наслідок пожежі з метою усунення загибелі людей та руйнування приміщень. Відповідно до розробленої моделі прогнозування розроблений керуючий алгоритм методу запобігання НС внаслідок пожежі у приміщеннях, який складається з шести характерних функціональних послідовних блоків. Кожен з блоків забезпечує обчислення необхідних даних щодо цілі запобігання виникненню НС в наслідок пожеж. На основі керуючого алгоритму запропоновано новий метод запобігання виникненню НС внаслідок ПП, який відрізняється від відомих обчисленням прогнозних значень щодо поточної РПС ПСП при загоряннях різних типів матеріалів у довільних приміщеннях. Розроблений метод передбачає виконання відповідних процедур, пов'язаних з особливостями його застосування на практиці.

8. Висновки

1. Розроблено параметричну модель прогнозування поточної рекурентності природного стану повітряного середовища приміщення при загоряннях матеріалів в умовах, що мають місце в реальних приміщеннях на основі використання тільки результатів вимірювання довільної множини небезпечних факторів пожежі. Розроблена модель залежить від двох параметрів, які визначаються априорі та впливають на результат прогнозу рекурентності природного стану повітряного середовища приміщень. Перший параметр використовується при обчисленні рекурентних діаграм, а другий – при формуванні поточного прогнозу рекурентності природного стану повітряного середовища приміщень з метою виявлення загорянь матеріалів та прийняття відповідних управлінських рішень щодо недопущення пожежі у приміщенні та запобігання виникненню відповідних надзвичайних ситуацій. Новий науковий результат визначається теоретичним обґрунтуванням розробленої моделі прогнозування рекурентності природного стану повітряного середовища приміщень. Запропонована модель має дві властивості. Перша властивість пов'язана з можливістю її використання в теоретичних дослідженнях виявлення ранніх загорянь різних матеріалів в довільних умовах сучасних приміщень. Друга властивість моделі полягає в її практичному застосуванні щодо реальних вимірювань небезпечних факторів пожежі повітряного середовища приміщень. Саме друга властивість дозволила запропонувати метод запобігання виникненню надзвичайних ситуацій внаслідок пожежі шляхом прогнозування рекурентності природного стану повітряного середовища приміщень.

2. Відповідно до розробленої моделі прогнозування поточної рекурентності природного стану повітряного середовища приміщення при загоряннях матеріалів на основі вимірювання довільної множини небезпечних факторів пожежі розроблений керуючий алгоритм методу запобігання виникненню надзвичайної ситуації внаслідок пожежі у приміщеннях. Керуючий алгоритм складається з шести послідовних функціонально пов'язаних блоків, що виконують відповідні функції методу. Розроблений керуючий алгоритм дозволяє запропонувати відповідний метод запобігання надзвичайним ситуаціям внаслідок пожеж у приміщеннях шляхом прогнозування

рекурентності прирощень стану повітряного середовища приміщення, яке відбувається на основі поточного дискретного вимірювання довільної множини небезпечних факторів пожежі щодо повітряного середовища приміщення.

3. Описана процедура застосування запропонованого методу запобігання виникнення надзвичайних ситуацій внаслідок пожеж у приміщеннях шляхом прогнозування повітряного середовища приміщення, що передбачає шість базових послідовних функціональних процедурних елементів.

Література

1. Reproduced with permission from fire loss in the United States during 2020. National Fire Protection Association. 2021. 11 p. URL: www.nfpa.org

2. Кошмаров Ю. А., Пузач С. В., Андреев В. В. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. АГПС МЧС России, 2012. 126 с.

3. Otrosh Yu., Semkiv O., 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.

4. Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Meleshchenko R. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 3/9 (93). P. 34–40.

5. Examining the learning fire detectors under real conditions of application / Andronov V., Pospelov B., Rybka E., Skliarov S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 3, Is. 9 (87). P. 53–59.

6. Ahn C. -S., Kim J. -Y. A study for a fire spread mechanism of residential buildings with numerical modeling. WIT Transactions on the Built Environment. 2011. V. 117. P. 185–196. doi:10.2495/SAFE110171

7. Recurrence plots and their quantifications: expanding horizons. International Symposium on Recurrence Plots, Grenoble, France, 17-19 June 2015. 380 p.

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

9. Turcotte D. L. Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge university press, 1997.

10. Poulsen A., Jomaas G. Experimental study on the burning behavior of pool fires in rooms with different wall linings. Fire Technology. 2011. V. 48 (2). P. 419–439.

11. Zhang D., Xue W. Effect of heat radiation on combustion heat release rate of larch. Journal of West China Forestry Science. 2010. Is. 39. P. 148.

12. 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.

13. Peng X., Liu S., Lu G. Experimental analysis on heat release rate of materials. Journal of Chongqing University. 2005. Is. 28. P. 122.

14. Andronov V., Pospelov B., Rybka E. Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 2. Is. 9 (86). P. 32–37.

15. Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Meleshchenko R., Gornostal S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 5/10 (95). P. 25–30.

16. Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition / Pospelov B.,

Andronov V., Rybka E., Skliarov S. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. V. 4. Is. 9 (88). P. 53–59.

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

18. Results of experimental research into correlations between hazardous factors of ignition of materials in premises / Pospelov B., Rybka E., Meleshchenko R., Gornostal S., Shcherbak S. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. V. 6. Is. 10 (90). P. 50–56.

19. Bendat J. S., Piersol A. G. *Random data: analysis and measurement procedures*. 2th ed. John Wiley Sons, 2010.

20. Techniques to obtain good resolution and concentrated time-frequency distributions: a review / Shafi I., Ahmad J., Shah S. I., Kashif F. M. // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 2009. V. Is. 1.

21. Singh P. *Time-frequency analysis via the fourier representation*. HAL. 2016.

22. Pretrel H., Querre P., Forestier M. *Experimental Study Of Burning Rate Behaviour In Confined And Ventilated Fire Compartments*. *Fire Safety Science*. 2005. V. 8. P. 1217–1228.

23. Experimental study of the fluctuations of gas medium parameters as early signs of fire / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Popov V., Romin A. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V. 1. Is. 10 (91). P. 50–55.

24. Stankovic L., Dakovic M., Thayaparan T. *Time-frequency signal analysis*. Kindle edition, Amazon, 2014. 655 p.

25. Avargel Y., Cohen I. *Modeling and identification of nonlinear systems in the short-time Fourier transform domain*. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 2010. V. 58. Is. 1. P. 291–304.

26. Giv H. H. *Directional short-time Fourier transform*. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. 2013. V. 399. Is. 1. P. 100–107.

27. Development of the method of frequency temporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Popov V., Semkiv O. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V. 2. Is. 10 (92). P. 44–49.

28. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Meleshchenko R., Gornostal S. *Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V. 5/10 (95). P. 25–30.

29. Pospelov B., Rybka E., Meleshchenko R., Borodych P., Gornostal S. *Development of the method for rapid detection of hazardous atmospheric pollution of cities with the help of recurrence measures*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. V. 1/10 (97). P. 29–35.

30. Construction of the method for semi-adaptive threshold scaling transformation when computing recurrent plots / Pospelov B., Rybka E., Togobytska V., Meleshchenko R., Danchenko Yu. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. V. 4/10 (100). P. 22–29.

31. Development of the correlation method for operative detection of recurrent states / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Karpets K., Pirohov O., Semenyshyna I., Kapitan R., Promska A., Horbov O. // *Eastern-European Journal of Enterprise*. 2019. V. 6/4 (102). P. 39–46.

32. Development of the method of operational forecasting of fire in the premises of objects under real conditions / Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Samoilo M., Krainiukov O., Biryukov I., Butenko T., Bezuhla Yu., Karpets K., Kochanov E. // Eastern-European Journal of Enterprise. 2021. V. 2/10 (110). P. 43–50.

B. Pospelov¹, DSc, Professor, Chief Researcher
E. Rybka¹, DSc, Senior Researcher, Deputy Head of the Center – Head of Department
M. Samoylov¹, Adjunct
Y. Bezuhla¹, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
O. Yashchenko¹, PhD, Associate Professor, Deputy Head of Department
Yu. Veretennikova², Head of the training laboratory
¹National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
²Kharkiv National University of Construction and Architecture, Kharkiv, Ukraine

METHOD OF PREVENTING EMERGENCIES DUE TO FIRE THROUGH SHORT-TERM FIRE FORECASTING

A parametric model for predicting the current recurrence of the state of the airspace of premises in the conditions that are characteristic of real premises on the basis of the use of an arbitrary plural of dangerous factors of fire. The developed model depends on two parameters that are defined by a priori and affect the result of the recurrence of the recurrence of the conditions of the airspace of the premises. The new scientific result is determined by the theoretical substantiation of the developed model of prediction of recurrence of the growth of the airspaces of the airspace. The proposed model has two properties. The first one is associated with the possibility of use in theoretical studies of the detection of early inflammation of various materials in arbitrary conditions of modern premises. The second one is to practice the real measurements of hazardous fire factors of the airspace of premises. In accordance with the proposed model of prediction of current recurrence of the state of the air environment of premises in the fire of materials based on the measurement of an arbitrary set of dangerous fire factors, a control algorithm of the method of prevention of emergency situations as a result of fires in premises is developed. The control algorithm consists of six successive functionally linked blocks. The developed control algorithm allows us to offer an appropriate method for preventing emergencies as a result of fire in premises by predicting the recurrence of appliance of the airspace of the premises, which occurs on the basis of the current discrete measurement of an arbitrary plurality of dangerous fire factors. The procedure for application of the proposed method includes six successive functional procedural elements.

Keywords: fire, dynamics, recurrence of state growing, dangerous factors, air environment, recurrent diagram

References

1. Reproduced with permission from Fire Loss in the United States During 2020 (2021). National Fire Protection Association, 11. URL: www.nfpa.org
2. Koshmarov, Yu. A., Puzach, S. V., Andreyev, V. V. (2012). Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii. AGPS MCHS Rossii, 126.
3. Otrosh, Yu., Semkiv, O., 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.
4. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P. (2018). Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises. Eastern-European Journal of Enterprise, 3/9 (93), 34–40.
5. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Examining the learning fire detectors under real conditions of application. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (9 (87)), 53–59.
6. Ahn C. -S., Kim J. -Y. (2011). A study for a fire spread mechanism of residential buildings with numerical modeling. WIT Transactions on the Built Environment, 117, 185–196. doi: 10.2495/SAFE110171

7. Recurrence plots and their quantifications: expanding horizons. International Symposium on Recurrence Plots, Grenoble, France, 17-19 June 2015, 380.

8. Sadkovi, 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.

9. Turcotte, D. L. (1997). *Fractals and chaos in geology and geophysics*. Cambridge university press.

10. Poulsen, A., Jomaas, G. (2011). Experimental study on the burning behavior of pool fires in rooms with different wall linings. *Fire Technology*, 48 (2), 419–439.

11. Zhang, D., Xue, W. (2010). Effect of heat radiation on combustion heat release rate of larch. *Journal of West China Forestry Science*, 39, 148.

12. Ji, J., Yang, L., Fan, W. (2003). Experimental study on effects of burning behaviours of materials caused by external heat radiation. *JCST*, 9, 139.

13. Peng, X., Liu, S., Lu, G. (2005). Experimental analysis on heat release rate of materials. *Journal of Chongqing University*, 28, 122.

14. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2017). Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 32–37.

15. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R. (2018). Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/10 (95), 25–30.

16. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (88)), 53–59.

17. 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.

18. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S., Shcherbak, S. (2017). Results of experimental research into correlations between hazardous factors of ignition of materials in premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10 (90), 50–56.

19. Bendat, J. S., Piersol, A. G. (2010). *Random data: analysis and measurement procedures*. John Wiley & Sons.

20. Shafi, I., Ahmad, J., Shah, S. I., Kashif, F. M. (2009). Techniques to Obtain Good Resolution and Concentrated Time-Frequency Distributions: A Review. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2009 (1).

21. Singh, P. (2016). Time-frequency analysis via the fourier representation. *HAL*, 1–7.

22. Pretrel, H., Querre, P., Forestier, M. (2005). Experimental Study Of Burning Rate Behaviour In Confined And Ventilated Fire Compartments. *Fire Safety Science*, 8, 1217–1228.

23. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Romin, A. (2018). Experimental study of the fluctuations of gas medium parameters as early signs of fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (91)), 50–55.

24. Stankovic, L., Dakovic, M., Thayaparan, T. (2014). *Time-frequency signal analysis*. Kindle edition, Amazon, 655.

25. Avargel, Y., Cohen, I. (2010). *Modeling and Identification of Nonlinear Systems*. Civil Security. DOI: 10.52363/2524-0226-2021-34-21

tems in the Short-Time Fourier Transform Domain. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58 (1), 291–304.

26. Giv, H. H. (2013). Directional short-time Fourier transform. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 399 (1), 100–107.

27. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Semkiv, O. (2018). Development of the method of frequencytemporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/10 (92), 44–49.

28. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S. (2018). Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/10 (95), 25–30.

29. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P., Gornostal, S. (2019). Development of the method for rapid detection of hazardous atmospheric pollution of cities with the help of recurrence measures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/10 (97), 29–35.

30. Pospelov, B., Rybka, E., Togobytska, V., Meleshchenko R., Danchenko, Yu. (2019). Construction of the method for semi-adaptive threshold scaling transformation when computing recurrent plots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/10 (100), 22–29.

31. 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 Technologies*, 6/4 (102), 39–46.

32. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Samoilo, M., Krainiukov, O., Biryukov, I., Butenko, T., Bezuhla, Yu., Karpets, K., Kochanov, E. (2021). Development of the method of operational forecasting of fire in the premises of objects under real conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise*, 2/10 (110), 43–50.

Надійшла до редколегії: 15.10.2021

Прийнята до друку: 22.11.2021