



ROLE OF SCIENCE AND EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Monograph

Katowice 2021



ROLE OF SCIENCE AND EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Edited by Magdalena Wierzbik-Strońska
and Iryna Ostopolets

Series of monographs
Faculty of Architecture,
Civil Engineering and Applied Arts
University of Technology, Katowice
Monograph 44

Publishing House of University of Technology, Katowice, 2021

Editorial board :

Nataliia Khlus – PhD, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine

Paweł Mikos – University of Technology, Katowice

Aleksander Ostenda – Professor WST, PhD, University of Technology, Katowice

Iryna Ostopolets – PhD, Associate Professor, Donbas State Pedagogical University (Ukraine)

Yurii Otrosh – Doctor of Technical Science, Professor, National University of Civil Defence of Ukraine (Ukraine)

Viktoriia Overchuk – Doctor of Economic Science, Vasyl` Stus Donetsk National University (Ukraine)

Nataliia Svitlychna – PhD, National University of Civil Defence of Ukraine (Ukraine)

Magdalena Wierzbik-Strońska – University of Technology, Katowice

Reviewers :

Tetyana Nestorenko – Professor WST, PhD, Associate Professor, Berdyansk State Pedagogical University (Ukraine)

Sławomir Śliwa – PhD, the Academy of Management and Administration in Opole

Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts, University of Technology, Katowice

Monograph · 44

The authors bear full responsible for the text, data, quotations and illustrations

Copyright by University of Technology, Katowice, 2021

ISBN 978 – 83 – 960717 – 0 – 5

Editorial compilation

Publishing House of University of Technology, Katowice
43 Rolna str. 43 40-555 Katowice, Poland
tel. 32 202 50 34, fax: 32 252 28 75

5.22. EMERGENCY RESILIENCE TECHNOLOGY IS THE BASIS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

5.22. ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ – ОСНОВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Одним з найважливіших напрямків забезпечення стійкості до лих є розробка технологій і систем раннього попередження в надзвичайних ситуаціях (НС)¹⁶⁹⁵. Сучасні мобільні технології відкривають нові можливості для раннього попередження НС різного характеру. Відомо, що будь-яка НС виникає тільки в разі одночасної наявності в навколишньому середовищі об'єкта небезпеки (джерела небезпеки), середовища передачі небезпеки і об'єкта її впливу. Світова статистика свідчить про те, що щорічна кількість НС техногенного характеру більш ніж втричі перевищує число відповідних НС природного та іншого характеру¹⁶⁹⁶. Основними джерелами НС техногенного характеру зазвичай є різні небезпечні об'єкти технічної сфери. Результати аналізу статистики НС свідчать про наявність стійкої тенденції їх росту. Основною причиною цього є розширення кількості типів небезпек і фізичних середовищ їх передачі. У загальному випадку небезпеки чинять негативний вплив на об'єкти впливу через відповідне середовище. У разі виникнення НС такий вплив зазвичай призводить до людських жертв, збитку здоров'ю людей, руйнування або знищення самих об'єктів. При цьому, як правило, наноситься серйозна шкода і самому оточуючому середовищу, що в свою чергу призводить до порушення стійкості розвитку цивілізації. У багатьох випадках причини порушення сталого розвитку при НС техногенного характеру створює сама людина. У зв'язку з цим, для забезпечення сталого розвитку процес взаємодії людини із навколишнім середовищем повинен мінімізувати ризик появи небезпек, що викликають НС. Одним з важливих напрямків зниження ризику небезпек і забезпечення стійкості до лих прийнято вважати розробку технологій і систем раннього попередження НС¹⁶⁹⁷. Попередження НС, як зазначається в роботі¹⁶⁹⁸, дозволяє в 2-3 рази скоротити витрати на ліквідацію наслідків НС та забезпечити сталий розвиток людства. Однак, існуюча об'єктивна складність раннього попередження НС, пов'язана з різноманіттям небезпечних об'єктів технічної та природної сфери, складністю і різноманітністю фізичних середовищ передачі небезпеки, а також зростанням числа і типу об'єктів впливу, обумовлюють актуальність технологій підвищення стійкості до НС з метою забезпечення сталого розвитку.

У загальному випадку навколишнє середовище є фізичним середовищем передачі небезпеки від джерела до об'єкта впливу, що представляє собою досить складну систему, яка володіє дисипативною структурою, нелінійною динамікою станів і властивістю самоорганізації. Виявляти складні зв'язки в такій системі на основі класичних технологій не представляється можливим, оскільки вони ґрунтуються на лінійних підходах, які зазвичай не виконуються на практиці. Це призводить до хибних уявлень про динаміку стану реального фізичного середовища, що передає небезпечні впливи від джерела до об'єкта впливу. Тому зазначені підходи не дозволяють підвищувати стійкість до лих на основі попередження НС. При цьому, для попередження різних небезпечних впливів на об'єкти впливу та забезпечення сталого розвитку в цілому першорядне значення має характер динаміки стану фізичного середовища передачі небезпеки. З огляду на складність та індивідуальність динаміки стану реальних фізичних середовищ передачі небезпек для їх вивчення необхідні нетрадиційні підходи і технології. Наприклад, такі підходи можуть базуватися на технологіях, прийнятих в

¹⁶⁹⁵ Commission for Science and Technology for Development. Twenty-second session. Geneva, 13-17 May (2019).

¹⁶⁹⁶ Kustov, M. V., Kalugin, V. D., Tutunik, V. V., Tarakhno, E. V. (2019). Physicochemical principles of the technology of modified pyrotechnic compositions to reduce the chemical pollution of the atmosphere. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 1, 92-99.

¹⁶⁹⁷ Commission for Science and Technology for Development. Twenty-second session. Geneva, 13-17 May (2019).

¹⁶⁹⁸ Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 11-16.

нелінійній динаміці. Останнім часом, технології кількісного аналізу нелінійної динаміки є активною областю досліджень в багатьох дисциплінах¹⁶⁹⁹. Зокрема, в геофізиці застосовуються технології нелінійної динаміки, засновані на фрактальності процесів¹⁷⁰⁰. При цьому технології попередження НС, які є основними джерелами порушення стійкості розвитку, не розглядаються.

Найбільш небезпечними з точки зору порушення стійкості розвитку є НС внаслідок пожеж та наявності в навколишньому середовищі шкідливих для людини речовин. Так, наприклад, вивчення процесу виникнення пожежі в приміщеннях на основі експериментальних даних виконано в роботі¹⁷⁰¹. Оцінка впливу теплового випромінювання на швидкість процесу вивільнення тепла для типових матеріалів виконано в роботі¹⁷⁰². Експериментальне дослідження особливостей горіння різних матеріалів при зовнішньому тепловому впливі, виконано в роботі¹⁷⁰³. Дослідження швидкості тепловиділення при пожежі наведено в роботі¹⁷⁰⁴. В розглянутих роботах зазначається, що динаміка стану повітряного середовища в приміщеннях при загорянні матеріалів є складною, носить нелінійний і нестационарний характер. Аналогічні висновки наводяться і в роботі¹⁷⁰⁵, яка присвячена технології виявлення небезпечного забруднення атмосферного повітря і комбінованого ризику здоров'ю людини.

В роботі¹⁷⁰⁶ розглядається застосування частотно-часової технології до дослідження структурних особливостей динаміки небезпечних факторів повітряного середовища при загорянні в приміщеннях. Відзначається, що дана технологія виявляється складною в реалізації і має недостатню оперативність. При цьому, така технологія є параметричною, а її ефективність істотно залежить від заданих параметрів. Крім цього, технологія, будучи енергетичною, не дозволяє досліджувати структуру динаміки небезпечних факторів повітряного середовища в багатовимірному фазовому просторі. Аналогічні обмеження справедливі і для технологій виявлення небезпечних забруднень в атмосферному повітрі¹⁷⁰⁷.

Таким чином, з аналізу слідує, що велика частина досліджень присвячена підвищенню стійкості до лих, які викликаються пожежами і забрудненнями атмосферного повітря. При цьому такі явища, зумовлені небезпеками, які передаються через інші фізичні середовища до об'єкту впливу, не розглядаються. З огляду на складність і різноманітність фізичних середовищ, що передають небезпеки від джерела до об'єкта впливу, необхідна технологія підвищення стійкості до лих, узагальнююча підходи нелінійної динаміки на різні фізичні середовища передачі небезпеки. Більш конструктивними і перспективними для цього виявляються фрактальні методи нелінійної динаміки¹⁷⁰⁸. Дані технології повинні базуватися

¹⁶⁹⁹ 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.

¹⁷⁰⁰ Turcotte, D. L. (1997). *Fractals and chaos in geology and geophysics*. Cambridge university press.

¹⁷⁰¹ 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.

¹⁷⁰² Zhang, D., Xue, W. (2010). Effect of heat radiation on combustion heat release rate of larch. *Journal of West China Forestry Science*, 39, 148.

¹⁷⁰³ Ji, J., Yang, L., Fan, W. (2003). Experimental study on effects of burning behaviours of materials caused by external heat radiation. *JCST*, 9, 139.

¹⁷⁰⁴ Peng, X., Liu, S., Lu, G. (2005). Experimental analysis on heat release rate of materials. *Journal of Chongqing University*, 28, 122.

¹⁷⁰⁵ Pospelov B., Kovrehin V., Rybka E., Krainiukov O., Petukhova O., Butenko T., Borodych P., Morozov I., Horbov O., Hrachova I. (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*, 5/9 (107), 49-56.

¹⁷⁰⁶ Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Semkiv, O. (2018). Development of the method of frequency-temporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/10 (92), 44-49.

¹⁷⁰⁷ Pospelov, B., Andronov, V., Meleshchenko, R., Danchenko, Yu., Artemenko, I., Romaniak, M., Khmyrova, A., Butenko, T. (2019). Construction of methods for computing recurrence plots in space with a scalarproduct. *Eastern-European Journal of Enterprise*, 3/4 (99), 37-44.

¹⁷⁰⁸ Mandelbrot, B. (2002). *Fraktalnaya geometriya prirody*. Institut kompyuternykh issledovaniy, 656, 12.

на використанні поточних мір рекурентності станів довільного фізичного середовища передачі небезпеки.

Тому, метою дослідження є розробка технології підвищення стійкості до НС за допомогою контролю динаміки поточного стану відповідного фізичного середовища передачі небезпеки від джерела до об'єкта впливу з використанням поточної міри рекурентності його станів.

Нехай довільне навколишнє середовище включає об'єкт небезпеки O , фізичне середовище G її передачі, а також об'єкт впливу небезпеки R . Тоді навколишнє середовище може розглядатися у вигляді деякої системи $S = O \cup E$ за умови, що $E = G \cup R$ являється об'єктом лих, що виникають в результаті небезпеки. В розглянутій системі об'єкт O небезпеки здійснює через фізичне середовище G вплив на об'єкт R лих. Нехай об'єкт небезпеки O характеризується небезпечними станами $h \in O$. Такими станами можуть бути, наприклад, різні небезпеки технічної та природної сфери. Це означає, що стани об'єкта O в моменти часу $t \in [0, T]$ будуть описуватися випадковою функцією $h = h(t)$. Фізичне середовище G , за допомогою якого здійснюється передача небезпечних станів від джерела до об'єкта впливу, також характеризується деяким станом $g \in G$. При цьому, параметрами стану фізичного середовища можуть бути, наприклад, небезпечні для людини або об'єкта впливу чинники. Для людини це можуть бути, наприклад, ударна хвиля, радіація, температура, концентрація чадного газу або щільність диму. У різні моменти часу стан G характеризується випадковою функцією $g = g(t)$. При цьому, стан об'єкта R , який піддається впливу об'єкта O небезпеки, може бути охарактеризований деяким скалярним параметром $l \in R$, який у загальному випадку представляє величину втрат (збитків), що наносяться об'єкту R впливом об'єкта O небезпеки. У цьому випадку параметр l буде визначатися станом системи $SG = O \cup G$, що характеризує лихо, і представляє собою деякий функціонал виду: $l = l(h(t), g(t))$. У системі $S = O \cup E$ стан фізичного середовища $g = g(t)$ визначається станом $h = h(t)$ об'єкта O небезпеки. Тому розглянутий параметр l , що характеризує лихо, буде визначатися поточним станом фізичного середовища. Наприклад, якщо збиток, що наноситься об'єкту R в результаті лиха, залежить від стану $g = g(x, t)$ небезпечних факторів фізичного середовища в точці середовища x , то параметр l може бути представлений у вигляді відповідної одновимірної інтегральної функції, яка визначає, наприклад, інгаляційну дозу небезпечних факторів, що впливають на людину. Таким чином, підвищення стійкості до НС можливо забезпечувати за рахунок раннього виявлення небезпечних станів фізичного середовища шляхом контролю його поточного стану $g = g(t)$ з урахуванням можливих втрат, що наносяться об'єкту R впливу.

Стани $g = g(t)$ фізичного середовища в загальному випадку залежать не тільки від джерела небезпеки, але й чутливі до дії різних збурень, що діють в реальному середовищі. У більшості випадків відомості про збурення відсутні і єдиною інформацією є вимірні стани фізичного середовища з урахуванням невідомих збурень¹⁷⁰⁹. У більшості практичних випадків вимірювання станів фізичного середовища виконується в дискретні моменти часу¹⁷¹⁰. В цьому випадку, вимірювана інформація для довільного моменту часу і може бути представлена m -мірним вектором стану небезпечних параметрів

$$z_i = d_i + \Delta_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, N_S - 1, \quad (1)$$

¹⁷⁰⁹ Marwan, N. (2011). How to avoid potential pitfalls in recurrence plot based data analysis. International Journal of Bifurcation and Chaos, 21 (04), 1003-1017.

¹⁷¹⁰ Marwan, N., Webber, C. L., Macau, E. E. N., Viana, R. L. (2018). Introduction to focus issue: Recurrence quantification analysis for understanding complex systems. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, 28 (8), 085601.

де d_i – вектор поточних станів фізичного середовища, обумовлених небезпекою; d_j – вектор поточних збурень стану фізичного середовища; N_s – розмір вибірки вимірювань вектора станів.

Застосування методу рекурентних діаграм (RP) для вектора станів (1) дозволяє відобразити траєкторії стану фізичного середовища, що розглядаються в m -вимірному фазовому просторі, на двовимірну двійкову матрицю розміром $N_s \times N_s$. При цьому, одиничний елемент цієї матриці при деяких моментах часу i та j відповідає рекурентним станам (РС) фізичного середовища, а координатні осі RP визначаються дискретними моментами часу вимірювання. Математично таке відображення можна представити співвідношенням виду:

$$R^{m,\varepsilon}_{i,j} = \Theta(\varepsilon - \|z_i - z_j\|), \quad z_i \in \Omega^m, \quad i, j = 1, 2, \dots, N_s, \quad (2)$$

де $\Theta()$ – функція Хевісайда; ε – розмір околиці РС в момент часу i , а $\| * \|$ – оператор норми.

Дослідження динаміки станів різних складних систем на основі (2) стало популярним, завдяки появі методів кількісного аналізу РС¹⁷¹¹. Дані методи ґрунтуються на відповідних мірах, що дозволяють чисельно вимірювати складності RP, що відображають особливі стани досліджуваних систем. В дослідженні¹⁷¹² запропоновано міри рекурентності станів фізичної середовища на основі (2) у вигляді атмосферного повітря, що характеризується поточними концентраціями забруднювачів. Однак, відомі міри не дозволяють використовувати їх для підвищення стійкості до лих шляхом попередження НС на основі контролю поточного стану фізичного середовища. Основним обмеженням відомих мір є недостатня оперативність виявлення змін динаміки станів фізичної середовища передачі небезпеки.

З метою забезпечення оперативності розроблених мір рекурентності і можливості їх використання для підвищення стійкості до лих шляхом виявлення змін в динаміці станів фізичних середовищ пропонується спочатку модифікувати технологію обчислення RP (2) відповідно до виразу

$$TRP^{m,\varepsilon}_{i,j} = if(i \neq j \cap j \leq i, R^{m,\varepsilon}_{i,j}, 0) \quad (3)$$

Вираз (3) в порівнянні з (2) визначає технологію оперативного обчислення RP в реальному часі вимірювань. На підставі виразу (3) може бути запропонована технологія визначення поточної міри РС фізичного середовища передачі небезпеки, яка визначається співвідношенням виду

$$M_2(i, \varepsilon) = \frac{1}{i+1} \sum_{k=0}^i TRP^{m,\varepsilon}_{i,k} \quad (4)$$

Міра (4) дозволяє оцінювати РС фізичного середовища передачі небезпеки на основі технології (3) для кожного моменту часу i з урахуванням заданого розміру ε околиці РС. При цьому міра (4) залежить від розміру околиці ε , який повинен обиратися з умови автентичності оцінки (4) реальним значенням РС розглянутого фізичного середовища передачі небезпеки. Це означає, що за допомогою міри (4) можливо оцінювати динаміку повторюваності станів фізичного середовища в часі. При цьому, оцінка (4) чисельно характеризує ймовірність РС розглянутої фізичного середовища передачі небезпеки. Це дозволяє виявляти порушення стійких станів фізичного середовища передачі небезпеки і

¹⁷¹¹ Webber Jr. C. L., Zbilut J. P. (2005). Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences, 26.

¹⁷¹² 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.

забезпечувати підвищення стійкості до лих на основі оперативного запобігання їхньому виникненню. В цьому випадку, розроблювана технологія підвищення стійкості до лих на основі попередження НС базується на оперативній оцінці (4). Слід зауважити, що для підвищення стійкості до лих на основі виявлення небезпечних змін в динаміці станів фізичного середовища оцінка (4) повинна визначатися не для станів фізичної середовища, а для природжень її станів, виміряних в поточний і попередній моменти часу. Пояснюється це тим, що природження станів, наприклад, фізичне середовище у вигляді повітряного середовища виявляються більш чутливими до передачі небезпеки. Встановлено¹⁷¹³, що небезпека у вигляді загоряння матеріалів призводить до порушення стійкості саме природжень станів газового середовища в приміщеннях. Слід зауважити, що в загальному випадку на основі міри (4) можливо розробляти не тільки технології забезпечення, але і прогнозування моментів порушення станів, що підвищує стійкість до лих. При цьому, прогнозування на момент $i+1$ за поточними вимірами до моменту часу і може здійснюватися, наприклад, шляхом експоненціального згладжування або іншими методами.

Таким чином, запропонована технологія підвищення стійкості до НС ґрунтується на оперативному контролі поточного стану фізичного середовища передачі небезпеки від джерела до об'єкта впливу з використанням міри (4) для його станів або природжень станів. При цьому, оперативне виявлення порушень стійкості станів або природжень станів для фізичного середовища передачі небезпеки дозволяє своєчасно вжити заходів щодо їх ліквідації та недопущення їх розвитку, що приводить до появи НС, що представляють значну загрозу життю людини і руйнування об'єктів. Це дозволяє, в кінцевому випадку, підвищити стійкість до різних лих.

Перевірка запропонованої технології здійснювалася на основі експериментальних даних, отриманих при загорянні спирту і паперу в модельній камері. В ході експерименту вимірювалися складові вектора станів, що визначаються концентрацією CO, температурою і щільністю диму газового середовища в камері. Вимірювання станів газового середовища в камері проводилися в дискретні моменти часу t_i (з кроком $\Delta t = 0,1$ секунда), для $i = 0, 1, 2, \dots, 400$. При цьому номер відліку і відповідав моменту часу t_i інтервалу контролю станів газового середовища. Це означає, що для відліку і значення вектора станів газового середовища визначалося величиною z_i . Підпал спирту і паперу здійснювався в районі 200 дискретного відліку. Отримані RP для природжень станів газового середовища, що визначаються на основі (3), для $i = 0, 1, 2, \dots, 400$ і $j = 0, 1, 2, \dots, 400$ в разі загоряння спирту і паперу в модельній камері при величині $\varepsilon = 0,01$. Також отримані залежності динаміки оцінки ймовірності РС (4) для природжень газового середовища при загорянні спирту і паперу в камері для $\varepsilon = 0,01$.

Зазначені залежності отримані з урахуванням реальних помилок вимірювання сенсорами складових вектора стану газового середовища в модельній камері при загорянні матеріалів. В межах методичної похибки, а також враховуючи, що використовувані сенсори є основою пожежних сенсорів сучасних систем протипожежного захисту приміщень, можна вважати, що наведені дані задовольняють відповідний ступінь достовірності.

Таким чином, в результаті дослідження, виконано системний аналіз процесу виникнення НС на основі аналізу динаміки станів фізичного середовища передачі небезпеки від джерела до об'єкта в навколишньому середовищі. Показано, що підвищення стійкості до лих в загальному випадку можна здійснити на основі аналізу динаміки поточного стану фізичного середовища передачі небезпеки від джерела до об'єкта впливу.

Розроблено технологію підвищення стійкості до НС на основі поточної динаміки стану фізичного середовища передачі небезпеки і оцінки ймовірності рекурентності її станів в реальному часі. Запропонована технологія дозволяє забезпечувати раннє виявлення

¹⁷¹³ 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, 6/4 (102), 39-46.

небезпечних станів у фізичному середовищі передачі, що призводять до небезпеки, і на їх основі здійснювати підвищення стійкості до НС.

Виконано перевірку працездатності запропонованої технології на прикладі стану газового середовища при загорянні спирту і паперу в модельній камері. Встановлено, що до моменту загоряння спирту і паперу динаміка оцінки ймовірності рекурентності прирощень газового середовища камери носить періодичний характер з двома значеннями ймовірності рекурентності прирощень станів, в середньому рівних 0 і 0,6. Зазначений характер динаміки прирощень станів газового середовища відповідає режиму його динамічної стійкості. При загорянні матеріалів оцінка ймовірності рекурентності прирощень різко знижується і наближається до нуля – відбувається втрата динамічної стійкості станів газового середовища в камері. Втрата динамічної стійкості спостерігається в діапазоні 200-250 відлік. Після загоряння динаміка рекурентності прирощень станів характеризується окремими рекурентними точками, випадково розташованими в області головної діагоналі діаграми. Надалі настає нестійкий режим прирощень станів газового середовища, що свідчить про хаотичний розвиток загорянь. Отримані результати свідчать в цілому про працездатність запропонованої технології, заснованої на поточному контролі стану фізичного середовища передачі небезпеки від джерела до об'єкта впливу.

Література

1. Commission for Science and Technology for Development. Twenty-second session. Geneva, 13-17 May 2019.
2. Physicochemical principles of the technology of modified pyrotechnic compositions to reduce the chemical pollution of the atmosphere / Kustov M. V., Kalugin V. D., Tutunik V. V., Tarakhno E. V. // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2019. № 1. P. 92-99.
3. Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge / Dubinin D., Korytchenko K., Lisnyak A., Hrytsyna I., Trigub V. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6, Issue 10 (90). P. 11-16.
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. Turcotte D. L. *Fractals and chaos in geology and geophysics*. Cambridge university press, 1997.
6. Poulsen A., Jomaas G. Experimental Study on the Burning Behavior of Pool Fires in Rooms with Different Wall Linings // *Fire Technology*. 2011. Vol. 48, Issue 2. P. 419-439.
7. Zhang D., Xue W. Effect of heat radiation on combustion heat release rate of larch // *Journal of West China Forestry Science*. 2010. Issue 39. P. 148.
8. Ji J., Yang L., Fan W. Experimental study on effects of burning behaviours of materials caused by external heat radiation // *JCST*. 2003. Issue 9. P. 139.
9. Peng X., Liu S., Lu G. Experimental analysis on heat release rate of materials // *Journal of Chongqing University*. 2005. Issue 28. P. 122.
10. Development of a method for detecting dangerous states of polluted atmospheric air based on the current recurrence of the combined risk / Pospelov B., Kovrehin V., Rybka E., Krainiukov O., Petukhova O., Butenko T., Borodych P., Morozov I., Horbov O., Hrachova I. // *Eastern-European Journal of Enterprise*. 2020. V. 5/9 (107). P. 49-56.
11. 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. 2/10 (92). P. 44-49.
12. Construction of methods for computing recurrence plots in space with a scalarproduct / Pospelov B., Andronov V., Meleshchenko R., Danchenko Yu., Artemenko I., Romaniak M., Khmyrova A., Butenko T. *Eastern-European Journal of Enterprise*. 2019. V. 3/4 (99). P. 37-44.
13. Mandelbrot B. *Fraktalnaya geometriya prirody* // *Institut kompyuternyih issledovaniy*. 2002. V. 656. P. 12.

14. Marwan N. How to avoid potential pitfalls in recurrence plot based data analysis // International Journal of Bifurcation and Chaos. 2011. V. 21 (04). P. 1003-1017.
15. Introduction to focus issue: Recurrence quantification analysis for understanding complex systems / Marwan N., Webber C., Macau E., Viana R. // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. 2018. V. 28(8). P. 085601.
16. Webber Jr. C. L., Zbilut J. P. Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences. 2005. 26 p.
17. 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. 2019. V. 1/10 (97). P. 29-35.
18. 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. // 2019. V. 6/4 (102). P. 39-46.

5.12. Yuliia Iliina – PhD of Biological Sciences, Associate Professor, National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Kateryna Cherkasova – Student, National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

5.13. Tetiana Koliada-Berezovska – PhD in Philology, Associate Professor, Odesa National Polytechnic University, Odesa, Ukraine

Olga Romanova – PhD in Philology, Associate Professor, Odesa National Polytechnic University, Odesa, Ukraine

5.14. Olena Kuts – PhD in Philology, Associate Professor, National Pedagogical Dragomanov University, Kyiv, Ukraine

5.15. Natalia Lapshova – PhD Student, Senior Lecturer, Vasyl' Stus Donetsk National University, Vinnytsia, Ukraine

5.16. Natalia Moskvina – Practical Psychologist, Communal Establishment «Mariupol Educationat Unil «Lyceum School № 14» Mariupol City Council Donetsk Region», Mariupol, Ukraine

Valeria Sechko – Student, Communal Establishment «Mariupol Educationat Unil «Lyceum School № 14» Mariupol City Council Donetsk Region», Mariupol, Ukraine

5.17. Viktoriya Overchuk – Doctor in Economics, PhD of Psychological Sciences, Associate Professor, Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, Ukraine

5.18. Viktoriya Overchuk – Doctor in Economics, PhD of Psychological Sciences, Associate Professor, Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, Ukraine

Vladislava Bozhenko – Master, Assistant , Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, Ukraine

5.19. Olha Pavlushenko – PhD in Philology, Associate Professor, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Vinnytsia, Ukraine

Lada Mazai – PhD Student, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Vinnytsia, Ukraine

5.20. Svitlana Pidoprygora – Doctor in Philology, Professor, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

5.21. Roman Ponomarenko – Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Oleksandr Cherkashyn – PhD of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Ivan Ponomarenko – Psychologist, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

5.22. Boris Pospelov – Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Evgeniy Rybka – Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Mikhail Samoilov – Adjunct, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine