

УДК 351.861

*О. А. Левтєров, к.т.н., с.н.с., доц. каф. (ORCID 0000-0001-5926-7146)
Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УНАСЛІДОК ПОЖЕЖІ З ОСЕРЕДКОМ ВИНИКНЕННЯ УСЕРЕДЕНІ ПОТЕНЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНОГО ОБ'ЄКТУ

Проаналізовано сучасні методи і способи виявлення пожежі на потенційно-небезпечному об'єкті. Розглянуто виявлення надзвичайної ситуації унаслідок пожежі за фізичних факторів які супроводжують процеси горіння. Розглянуто основні чинники процесу горіння. Виникнення ініціюючих факторів безпеки запропоновано поділити на дві групи: внутрішні, де домінуючими є чинники техногенного походження та зовнішні де домінуючими є чинники природного походження. Запропоновано математичну модель попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на потенційно-небезпечних об'єктах в інтересах недопущення їх розповсюдження та переростання на більш значні рівні поширення, а також зниженню помилкових спрацьовувань запобіжних пристроїв. Модель складається з системи рівнянь. Перше рівняння характеризує зв'язок між інтегральним показником наслідків надзвичайної ситуації та змінними чинниками спектральної та фрактальної обробки акустичного сигналу з осередку надзвичайної ситуації. Друге рівняння це вибір рішень окремих задач з послідовного формування акустичного ряду спектрів, які мають місце в осередку безпеки. Це задача розміщення засобів контролю, формування акустичних образів безпеки та порівняння останніх з акустичним навантаженням технологічного процесу функціонування потенційно-небезпечного об'єкту. Визначено ефективний детектор надзвичайної ситуації виходячи з умов його застосування. Запропоновані подальші напрямки досліджень направлені на попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на потенційно-небезпечних об'єктах за рахунок розробки та застосування нових інженерно-технічних методів, які спираються на можливості сучасних технологій контролю акустичного випромінювання осередку безпеки. Ці мають відповідний математичний апарат.

Ключові слова: акустичний метод, математична модель, запобігання надзвичайній ситуації, фрактальний аналіз, спектральний аналіз

1. Вступ

Висока концентрація потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО), на яких зберігаються, обертаються або утилізуються вибухонебезпечні речовини, в окремих регіонах України обумовлює досить велику ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру унаслідок пожежі, які становлять потенційну загрозу як населенню та персоналу цих об'єктів, так і природно-техногенно-соціальному середовищу. Надзвичайні ситуації унаслідок пожежі на зазначених об'єктах, що мали місце у період з 2010 по 2019 роки [1], підтвердили загрозу населенню та об'єктам економіки, а також довели здатність значно забруднювати навколишнє природне середовище.

Так наприклад, тільки за даними Міністерства оборони України на території держави налічується понад 130 одиниць складних ПНО військової призначення, на яких зберігається 1,3 млн. тон боєприпасів і вибухових речовин з яких більш як 500 тис. тонн віднесені до розряду надлишкових, тобто тих, що потребують утилізації, а від так до природних чинників безпеки слід додати технологічні чинники безпеки процесу обертання та утилізації вибухонебезпечних речовин на ПНО.

Наведене вимагає сучасних підходів до процесу попередження можливих надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на ПНО. Останні базуються на інно-

ваційних методах, в першу чергу на інженерно-технічних методах акустичної ідентифікації небезпеки виникнення загоряння в осередку надзвичайної ситуації. В свою чергу формування зазначеної методології неможливе без чіткого усвідомлення фізики процесів попередження надзвичайних ситуацій та формування відповідного математичного апарату.

Таким чином, формування математичної моделі процесу попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на ПНО є актуальною задачею проблематики цивільного захисту.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Виявлення НС унаслідок пожежі за фізичних факторів які супроводжують процеси горіння розглянуті у роботах [2] і [3]. В роботах [4, 5] розглянуті основні чинники процесу горіння. Оскільки, велику проблему викликають помилкові спрацьовування запобіжних пристроїв, то саме цій темі присвячена робота [6], мета якої визначити ефективний детектор НС виходячи з умов його застосування. У статті [7], описані сучасні уявлення про методи і способи виявлення пожежі [8] на ПНО.

В даний час доступні методи вимірювань і аналіз газоподібних середовищ, що з'являються до і під час згоряння [9]. Впровадження методів штучного інтелекту значно підвищує ефективність технології раннього виявлення осередку надзвичайної ситуації [10, 11]. Пристрій контролю, може обробляти ознаки пожежі одночасно по декількох каналах вимірювання, як-то: дим, тепло, CO₂ тощо. Метод напівпровідникових технологій дозволяє розрізняти вогонь при будь-якому типі пожежі [12]. При цьому умови не загрожують екології, не вводять в оману інтелектуальні системи виявлення пожежі. В той же час спромогтися докорінних змін у ефективності процесу ідентифікації осередку надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі у складних умовах функціонування ПНО на сьогодні не вдалося.

Таким чином, наведений аналіз методів попередження, які застосовуються для виявлення НС унаслідок пожежі на ПНО довів, що у специфічних умовах експлуатації ПНО відомі методи захисту (ідентифікації небезпеки як початкового його етапу) малоефективні. В той же час використання альтернативних методів, як-то методів які базуються на явищі акустичної емісії (АЕ), попре їх доведену спроможність у інших сферах організації безпеки суспільства, не використовується. Від так шляхом вирішення проблеми підвищення ефективності процесу попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на ПНО є розробка інженерно-технічного методу з їх попередження. Останній реалізує у своєму керуючому алгоритмі математичну модель, яка базується на застосуванні явища акустичної емісії.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на потенційно-небезпечних об'єктах в інтересах недопущення їх розповсюдження та переростання на більш значні рівні поширення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1) Проаналізувати сучасний стан попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на потенційно-небезпечних об'єктах.

2) Розробити математичну модель попередження надзвичайної ситуації унаслідок пожежі з осередком виникнення усередині потенційно-небезпечного об'єкту.

4. Розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на ПНО

Аналізуючи сучасні тенденції, щодо розв'язання задач пов'язаних з проблематикою моделювання складних процесів виникнення небезпеки та поширення НС природного та техногенного характеру [13], слід зауважити, що сучасні підходи вимагають чіткого поділу наслідків за якими класифікуються НС стосовно масштабів поширення на домінуючі, за якими організуються заходи з попередження НС та інші, які враховуються як граничні умови області можливих рішень задачі з попередження НС за домінуючими наслідками.

Цінність зазначеного підходу полягає у конкретизації шляхів подальшої практичної реалізації формуємих методів протидії поширенню негативних наслідків НС. Умовним обмеженням, щодо можливості використання зазначеного підходу до формування математичного апарату процесів протікання НС, є швидкість наростання наслідків НС.

У випадку моделювання небезпеки виникнення НС на ПНО унаслідок пожежі, процес поділяється на дві часові фази, які відрізняються фізикою розвитку, по різному описуються математичними залежностями наростання наслідків НС від часу та наведені на рис. 1.

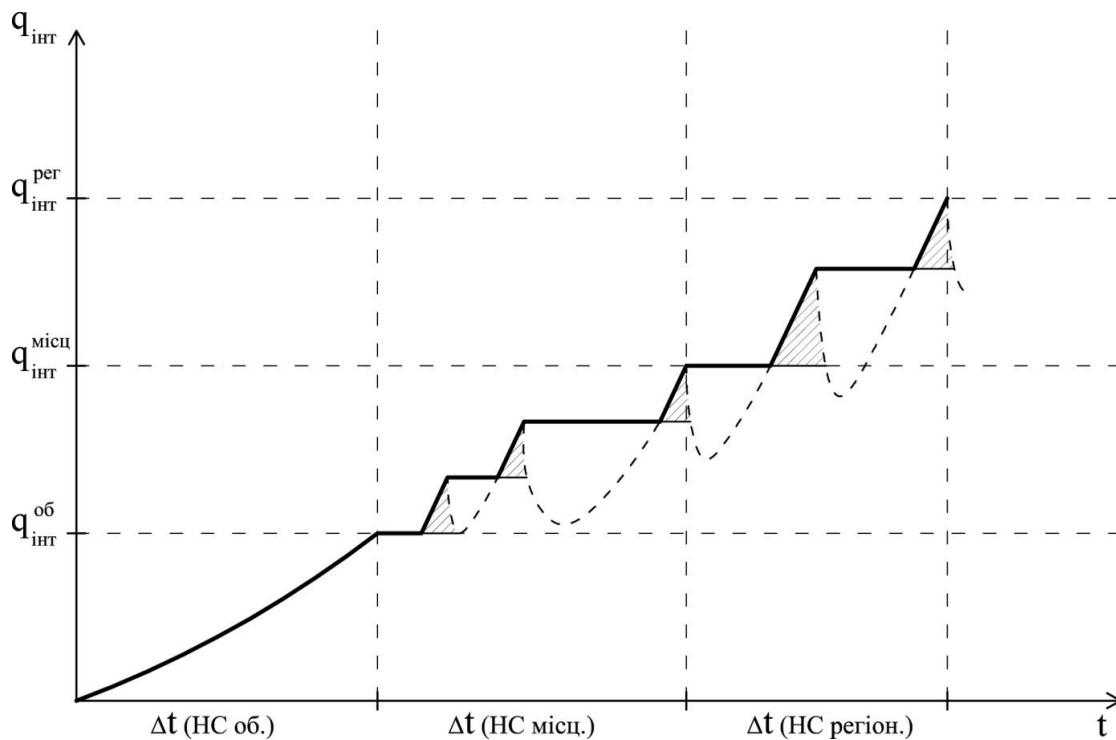


Рис. 1. Залежність $q_{\text{інт}}$, інтегрального показника наслідків НС на ПНО від t - часу розвитку НС

Перша часова фаза співпадає з часом протікання НС об'єктового рівня $\Delta t(\text{НС}_{\text{об}})$, коли домінуючий наслідок – $S(\text{НС}_{\text{об}})$ площа поширення НС співпадає з інтегральним $q_{\text{інт}}^{\text{об}}(t)$, та дорівнює осередку загоряння, який поступово зростає за експоненціальним законом. Наслідки, які не є домінуючими взагалі відсутні.

На цій стадії процес поширення наслідків НС на ПНО визначається рівнянням зв'язку (1) між керованою змінною, а саме $q_{\text{інт}}^{\text{об}}(t)$ і некерованими змінними

$S(\text{HC}_{об})$ та температурою в осередку НС – $T_{нс}$

$$q_{інт}^{об}(t) = f_{нс}^{об}(S(\text{HC}_{об}), T_{нс}, t), \text{ за умови } t \in \Delta t(\text{HC}_{об}). \quad (1)$$

Останні, у свою чергу, визначають акустичний спектр (образ) осередку $\Psi_{нс}^j(t)$ НС на ПНО (2):

$$\Psi_{нс}^j(t) = K_{нс}^s K_{нс}^T S(\text{HC}_{об}) \exp(T_{нс}), \quad (2)$$

де $K_{нс}^s(t)$ $K_{нс}^T(t)$ – коефіцієнти впливу некерованих змін на інтенсивність акустичного спектру.

У свою чергу процес попередження наслідків НС на ПНО базується на припущенні, що в осередку НС на стадії об'єктового поширення небезпеки мають місце акустичні зміни, які відповідають одному з акустичних образів з переліку небезпек осередку.

Відповідно на стадії поширення НС на ПНО на об'єктовому рівні має місце наступне умова існування рівняння зв'язку (1), а саме (3–4):

$$\Psi_{нс}^j(t) \in [\Psi_{нс}^1(t_j), \Psi_{нс}^2(t_j) \dots \Psi_{нс}^k(t_j)]; \quad (3)$$

$$T_{нс} < T_{детон}, \quad (4)$$

де $\Psi_{нс}^1(t_j), \Psi_{нс}^2(t_j) \dots \Psi_{нс}^k(t_j)$ – акустичні спектри переліку небезпек, що мають місце в осередку НС на ПНО у фіксований час t_j з часового інтервалу $\Delta t(\text{HC}_{об})$; k – кількість потенційних небезпек які можливо визначити в осередку НС, $T_{детон}$ – температура детонації вибухонебезпечних речовин, що мають місце в осередку НС на ПНО.

Друга часова фаза характеризується імпульсним характером зростання наслідків, що викликано детонацією вибухонебезпечних речовин. Характерним показником цієї фази є часовий розподіл (5):

$$\Delta t(\text{HC}_{місц}) \ll \Delta t(\text{HC}_{регіон}) \ll \Delta t(\text{HC}_{держ}), \quad (5)$$

де $\Delta t(\text{HC}_{місц})$, $\Delta t(\text{HC}_{регіон})$, $\Delta t(\text{HC}_{держ})$ – час протікання НС на ПНО відповідно місцевого, регіонального та державного рівня поширення небезпеки.

У реальних умовах виникнення НС на ПНО час $\Delta t(\text{HC}_{місц})$ стрімко наближається до нуля та фактично є верхньою межею підконтрольного періоду попередження НС інженерно-технічними засобами акустичного впливу на осередок її виникнення. Цей період також характеризується стрімким зростанням наслідків у хаотичній послідовності. У найгіршому випадку, без будь-якого домінування котрого з них. Відповідно мова може йти лише про фактично інтегральний показник наслідків НС на ПНО унаслідок пожежі який є результатом випадкового імпульсного процесу. Еквівалентна схема протікання якого наведена на рис. 2.

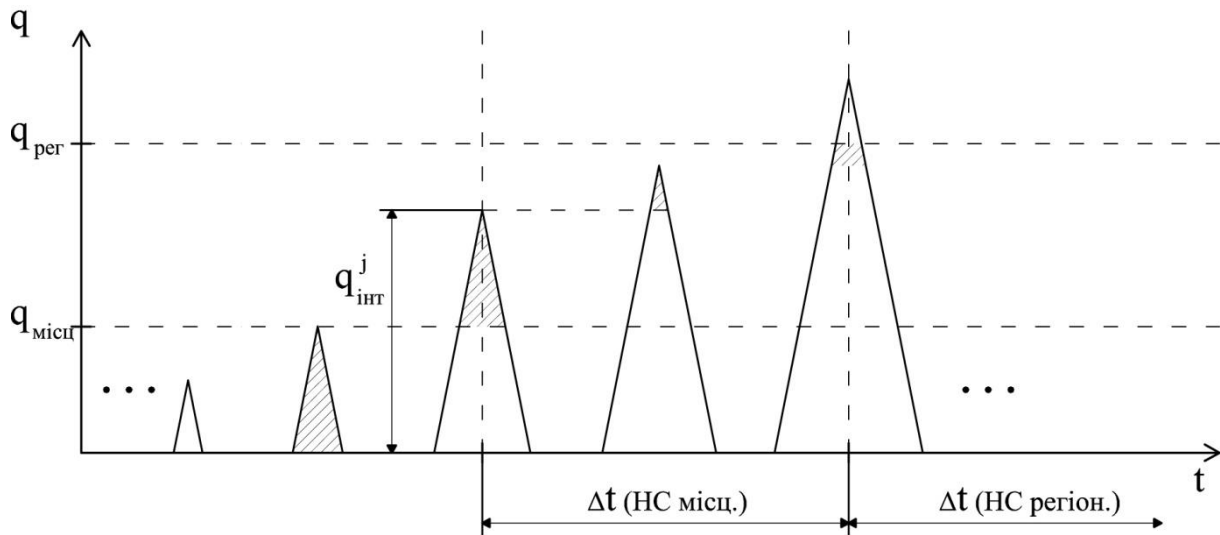


Рис. 2. Еквівалентна схема протікання процесу поширення наслідків НС на ПНО

Випадковий імпульсний процес зростання показнику інтегральних наслідків НС на ПНО може бути представлений у вигляді суми імпульсів з випадковою амплітудою, що виникають у моменти часу t_j інтервалу розвитку НС на місцевому рівні у вигляді (6):

$$q_{\text{інт}}(t) = q_{\text{інт}}^{\text{місц}} + \sum_{i=1}^N (q_{\text{інт}}^{i+1} - q_{\text{інт}}^i) \cdot \varphi(t_i), \quad (6)$$

де $q_{\text{інт}}^i$ – амплітуди імпульсів процесу зростання негативних наслідків; $\varphi(t_i)$ – відображення часу процесу поширення наслідків НС, яке відповідає умові (7):

$$\varphi(t_i) = \begin{cases} 1, & \text{за умови } t_i \in \Delta t(\text{НС}_{\text{місц}}) \\ 0, & \text{за умови } t_i \notin \Delta t(\text{НС}_{\text{місц}}) \end{cases}. \quad (7)$$

Слід зазначити, що форма імпульсу $q_{\text{інт}}^i$ залежить від варіації індивідуальних внесків негативних наслідків та у загальному плані дослідження немає принципового значення для подальшого моделювання процесу їх попередження.

На найбільш складних рівнях поширення небезпеки НС на ПНО а саме регіональному та державному, процес (6–7) носить хаотичний характер, відповідно задача попередження НС на ПНО немає рішення в рамках інженерно-технічного підходу з використанням акустичних засобів.

З метою забезпечення ефективного процесу контролю акустичного випромінювання осередку НС на ПНО, в рамках вирішення основного рівняння зв'язку процесу попередження НС на ПНО (2) необхідно розглянути можливість вирішення окремих задач з послідовного формування акустичного ряду спектрів $\Psi_{\text{нс}}^j(t)$, які мають місце в осередку небезпеки, а саме задач розміщення засобів контролю, формування акустичних образів небезпеки та порівняння останніх з акустичним навантаженням технологічного процесу функціонування ПНО.

5. Обговорення результатів дослідження

Слід зауважити, що надзвичайні ситуації унаслідок пожежі на потенційно-небезпечних об'єктах за природою виникнення ініціюючих факторів небезпеки поділяються на дві групи: внутрішні, де домінуючими є чинники техногенного походження та зовнішні де домінуючими є чинники природного походження.

Останнє обумовлює розробку в подальшому методів попередження надзвичайні ситуації унаслідок пожежі на потенційно-небезпечних об'єктах враховуючи особливості природи виникнення ініціюючих факторів.

6. Висновки

1. Проаналізувавши сучасний стан досліджень за визначеною темою слід відзначити наступне – дослідження з різною долею ефективності щодо розробки новітніх підходів з попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на потенційно-небезпечних об'єктах проводяться всіма провідними країнами світу. Від так подальші авторські дослідження повинні бути направлені на вирішення актуальної науково-практичної проблеми, а саме – попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі на потенційно-небезпечних об'єктах за рахунок розробки та застосування нових інженерно-технічних методів, які спираються на можливості сучасних технологій контролю акустичного випромінювання осередку небезпеки та мають відповідний математичний апарат.

2. Розроблено математичну модель попередження надзвичайної ситуації унаслідок пожежі з осередком виникнення усередині потенційно-небезпечного об'єкту, яка складається з системи рівнянь, а саме рівняння зв'язку між інтегральним показником наслідків надзвичайної ситуації та змінними чинниками спектральної та фрактальної обробки акустичного сигналу з осередку надзвичайної ситуації, та рівняння вибору рішень окремих задач з послідовного формування акустичного ряду спектрів, які мають місце в осередку небезпеки, а саме задач розміщення засобів контролю, формування акустичних образів небезпеки та порівняння останніх з акустичним навантаженням технологічного процесу функціонування ПНО.

Література

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2018 рік. URL: <http://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyibezpeki-v--Ukrayini-za-2017-rik.html> (дата звернення: 26.09.2019).
2. Hietaniemi J., Mikkola E. Minimising fire risks at chemical storage facilities. Basis for the guidelines for safety engineers. Espoo 1997, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1811. 32 p.
3. Wehmeier G., Mitropetros K. Fire Protection in the Chemical Industry. Chemical engineering transactions vol. 48, 2016. P. 259–264.
4. Wehmeier G. DECHEMA/ProcessNet Arbeitskreis, Brandschutz in der Chemischen Industrie, VDS Fachtagung Brandschutz in der Chemischen Industrie, Koln. VDS 3664.2012.
5. International Alert Saferworld University of Bradford SEESAC. Ammunition stocks: Promoting safe and secure storage and disposal. Briefing 18: Biting the Bullet ISBN:1-898702-63-2. 2005. 36 p.
6. Michael J. Hosch and John Jarvis Special Focus Industry Support & Challenges Fire Protection in Army Aircraft Hangars: Is Yours Up to Date issue of ARMY AVIATION Magazine, 2016. P. 38–41.

7. Paunila S., Hoole A. Ammunition safety management preventing loss of life and property, and diversion from stockpiles. Libya. Source Threat Resolution Ltd. COUNTER-IED Report, 2015/16. P. 86–92.

8. Dinaburg. J., D. T. G. Fire Detection in Warehouse Facilities: Fire Protection Research Foundation, 2012.

9. Leggett D. J. Lab-HIRA: Hazard identification and risk analysis for the chemical research laboratory. Part 2. Risk analysis of laboratory operations. Journal of Chemical Health and Safety. 19(5). P. 25–36.

10. Zhenping X., Tao W., Yuan L. A new algorithm for fast detection of flutter analysis of video smoke, microelectronics and computer. V. 28. № 10. 2011. P. 209–214.

11. Maruta H., Nakamura A., Kurokawa F. “Smokedetection in open areas with texture analysis and support vectormachines”, IEEJ Trans Electron Eng. V. 7. № S 1. 2012. P. 59–70.

12. Zeng W., Liu T., Wang Z., Tsukimoto S., Saito M., Ikuhara Y. Selective detection of formaldehyde gas using a Cd-Doped TiO₂-SnO₂ sensor. Sensors. 2009. № 9. P. 9029–9038.

13. Левтеров О. А., Шевченко Р. І. Апаратно-програмна реалізація сучасних підходів з попередження надзвичайних ситуацій природного характеру. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2019. № 1(29). С. 47–60.

*O. Levterov, PhD, Senior Researcher, Associate Professor of the Department
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR PREVENTING EMERGENCY SITUATIONS AS A RESULT OF FIRE WITHIN A POTENTIALLY HAZARDOUS OBJECT

Modern methods and means of detecting fire at a potentially hazardous object have been analyzed. The detection of an emergency as a result of the fire by the physical factors accompanying the combustion processes was considered. The main factors of the combustion process have been considered. Occurrence of initiating factors of hazard into two groups: internal, where factors of anthropogenic origin are dominant and external, where factors of natural origin are dominant is proposed to divide. A mathematical model for the prevention of emergencies resulting from a fire at potentially hazardous objects in order to prevent their spread and escalate to more significant levels of development, as well as to reduce false alarms of safety devices. The model consists of a system of equations. The first equation characterizes the relationship between the integral indicator of the consequences of an emergency situation and the variable factors of spectral and fractal processing of an acoustic signal from the seat of an emergency. The second equation is the choice of solutions to individual problems with the sequential formation of acoustic spectrums that take place in the seat of danger. It is the task of placing the means of control and formation of acoustic images of danger and comparing the latter with the acoustic loads of the technological process of functioning potentially dangerous object. An effective emergency detector based on its conditions of use has been determined. Further areas of research aimed at preventing emergencies from fire at potentially hazardous sites have been proposed. This is achieved through the development and application of new engineering techniques that build on the capabilities of current acoustic radiation control technologies of the hazard seat. These have a corresponding mathematical apparatus.

Keywords: acoustic method, mathematical model, emergency prevention, fractal analysis, spectral analysis

References

1. Analitichnij ogljad stanu tehnogennoï ta prirodnoï bezpeki v Ukraïni za 2018 rik. URL: <http://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyibezpeki-v--Ukrayini-za-2017-rik.html> (data zvernennia: 26.09.2019).

2. Hietaniemi, J., & Mikkola, E. Minimising fire risks at chemical storage facilities. Basis for the guidelines for safety engineers. Espoo 1997, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1811, 32.

3. Wehmeier, G., & Mitropetros, K. (2016). Fire Protection in the Chemical Industry. Chemical engineering transactions, 48, 259–264.

4. Wehmeier, G. (2012). DECHEMA/ProcessNet Arbeitskreis, Brandschutz in der Chemischen Industrie, VDS Fachtagung Brandschutz in der Chemischen Industrie, Koln. VDS 3664.

5. International Alert Saferworld University of Bradford SEESAC. Ammunition stocks: Promoting safe and secure storage and disposal. Briefing 18: Biting the Bullet ISBN:1-898702-63-2, 2005, 36.

6. Michael, J. (2016). Hosch and John Jarvis Special Focus Industry Support & Challenges Fire Protection in Army Aircraft Hangars: Is Yours Up to Date issue of ARMY AVIATION Magazine, 38–41.

7. Paunila, S., Hoole, A. (2015). Ammunition safety management preventing loss of life and property, and diversion from stockpiles. Libya. Source Threat Resolution Ltd. COUNTER-IED Report, 16. 86–92.

8. Dinaburg, J., D. T. G. (2012). Fire Detection in Warehouse Facilities: Fire Protection Research Foundation.

9. Leggett, D. J. Lab-HIRA: Hazard identification and risk analysis for the chemical research laboratory. Part 2. Risk analysis of laboratory operations. Journal of Chemical Health and Safety, 19(5), 25–36.

10. Zhenping, X., Tao, W., & Yuan, L. (2011). A new algorithm for fast detection of flutter analysis of video smoke, microelectronics and computer, 28, 10, 209–214.

11. Maruta, H., Nakamura, A., & Kurokawa, F. (2012). “Smokedetection in open areas with texture analysis and support vectormachines”, IEEJ Trans Electron Eng, 7, S1, 59–70.

12. Zeng, W., Liu, T., Wang, Z., Tsukimoto, S., Saito, M., & Ikuhara Y. (2009). Selective detection of formaldehyde gas using a Cd-Doped TiO₂-SnO₂ sensor. Sensors, 9, 9029–9038.

13. Lievtierov, O.A., Shevchenko, R.I. (2019). Aparatno-programna realizacija suchasnih pidhodiv z poperedzhennja nadzvichajnih situacij prirodnoho harakteru. Problemi nadzvichajnih situacij, 1(29), 47–60.

Надійшла до редколегії: 08.10.2019

Прийнята до друку: 24.10.2019