

**ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ  
СИТУАЦІЙ**

---

**PROBLEMS OF EMERGENCIES**

Випуск 23

Свідоцтво про державну реєстрацію  
друкованого засобу масової інформації  
серія КВ №21459-11259ПР (видано  
Міністерством юстиції України 27.07.2015 р.)

Затверджено до друку вченою радою  
НУЦЗ України  
(протокол № 9 від 14.03.2016 р.)

Харків  
2016

Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 23. – 211 с.

Видання засноване у 2005 році. Включене до Переліку наукових фахових видань України (наказ МОН України від 21.12.2015 №1328).

Наведені результати наукових досліджень, спрямованих на попередження, ліквідацію і боротьбу з наслідками надзвичайних ситуацій.

**Редакційна колегія:** д.т.н., проф. *Ю.О. Абрамов* (гол. ред.), д.т.н., проф. *В.А. Андронов*, д.т.н., проф. *О.Є. Басманов*, д.т.н., проф. *Е.В. Бодяньський*, д.т.н., с.н.с. *Ю.П. Ключка*, д.т.н., проф. *В.М. Комяк*, д.т.н., проф. *В.І. Кривцова*, д.т.н., проф. *Л.М. Куценко*, д.н., проф. *А. Мізерські* (Польща), д.т.н., проф. *Е.Ю. Прохач*, д.т.н., с.н.с. *О.М. Соболев*, д.т.н., проф. *В.В. Соловей*, д.філос., проф. *Б. Сцакал* (Угорщина), д.т.н., с.н.с. *О.А. Тарасенко*, д.т.н., проф. *І.Б. Туркін*, д.т.н., проф. *І.А. Чуб*.

Издание основано в 2005 году. Включено в Перечень научных специализированных изданий Украины (приказ МОН Украины от 21.12.2015 №1328).

Представлены результаты научных исследований, направленных на предупреждение, ликвидацию и борьбу с последствиями чрезвычайных ситуаций.

**Редакционная колегія:** д.т.н., проф. *Ю.А. Абрамов* (гл. ред.), д.т.н., проф. *В.А. Андронов*, д.т.н., проф. *А.Е. Басманов*, д.т.н., проф. *Э.В. Бодяньський*, д.т.н., с.н.с. *Ю.П. Ключка*, д.т.н., проф. *В.М. Комяк*, д.т.н., проф. *В.И. Кривцова*, д.т.н., проф. *Л.Н. Куценко*, д.н., проф. *А. Мизерски* (Польша), д.т.н., проф. *Э.Е. Прохач*, д.т.н., с.н.с. *А.Н. Соболев*, д.т.н., проф. *В.В. Соловей*, д.філос., проф. *Б. Сцакал* (Венгрия), д.т.н., с.н.с. *А.А. Тарасенко*, д.т.н., проф. *И.Б. Туркин*, д.т.н., проф. *И.А. Чуб*.

The issue was founded in 2005. It has been included in the list of specialized scientific issues of Ukraine (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 21.12.05, N1328).

The results of research aimed at the prevention, eradication and struggle with the consequences of emergencies.

**Editorial Board:** Dr. Sc., prof. *Y.A. Abramov* (Chief Editor), Dr. Sc., prof. *V.A. Andronov*, Dr. Sc., prof. *A.E. Basmanov*, Dr. Sc., prof. *E.V. Bodyanskiy*, Dr. Sc., Senior Research *Y.P. Klyuchka*, Dr. Sc., prof. *V.M. Komyak*, Dr. Sc., prof. *V.I. Krivtsova*, Dr. Sc., prof. *L.N. Kutsenko*, Dr. Sc., prof. *A. Mizurski* (Poland), Dr. Sc., prof. *A. Mizurski (Poland)*, Dr. Sc., prof. *E.Y. Prokhach*, Dr. Sc., Senior Research *A.N. Sobol*, Ph.D., prof. *B. Stsakal* (Hungary), Dr. Sc., Senior Research *A.A. Tarasenko*, Dr. Sc., prof. *I.B. Turkin*, Dr. Sc., prof. *I.A. Chub*.

Рецензенты: д.т.н., проф. О.Н. Фоменко,  
д.т.н., проф. О.Г. Руденко.

С.А. Виноградов, к.т.н. доцент, НУЦЗУ,  
М.О. Консуров, викладач, НУЦЗУ,  
С.С. Пономаренко, викладач, НУЦЗУ

## РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІМПУЛЬСНИМ ВОДНИМ СТРУМЕНЕМ ВИСОКОЇ ШВИДКОСТІ

(представлено д-ром техн. наук Туркінім І.Б.)

У статті наведено результати експериментальних досліджень з перевірки адекватності запропонованої залежності для визначення швидкості руху імпульсного водного струменя високої швидкості, при якій відбувається руйнування будівельної конструкції, що включає щільність рідини і межу міцності матеріалу на стиск.

**Ключові слова:** аварійно-рятувальні роботи, руйнування, система гідроімпульсного руйнування, імпульсний струмінь рідини високої швидкості, будівельні конструкції, межа міцності.

**Постановка проблеми.** Використання високошвидкісних струменів рідини для руйнування будівельних конструкцій є перспективним напрямком вдосконалення аварійно-рятувального інструменту (АРІ) [1, 2].

З публікації [3] відомо, що для руйнування матеріалу динамічний тиск  $p$  струменя на нього повинен у 10 разів перевищувати межу міцності  $\sigma_m$  цього матеріалу на стиск. У роботі [4] наведено, що в найпростішому випадку, який може бути використаний у більшості випадків, зв'язок швидкості руху струменя  $u$  рідини зі щільністю  $\rho$  та динамічного тиску  $p$  можна записати за допомогою рівняння Бернуллі

$$p = \frac{\rho u^2}{2}. \quad (1)$$

Ураховуючи наведене, для визначення швидкості  $u_{стр}$  водного струменя, при якій відбувається руйнування будівельної конструкції, можна використовувати рівність

$$u_{стр} = \sqrt{\frac{10\sigma_m}{\rho}}. \quad (2)$$

Однак рівність (2) потребує експериментального підтвердження, яке до сьогодні не було проведено.

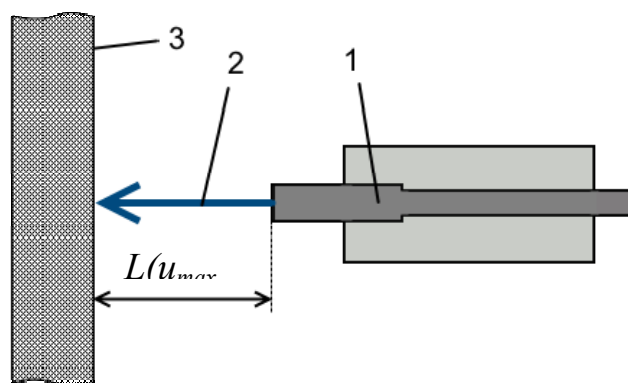
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спосіб руйнування елементів будівельних конструкцій, запропонований авторами, захищений охоронним документом [2].

Руйнування різних матеріалів за допомогою імпульсних водних струменів високої швидкості розглядалося в роботах [3, 5]. Дослідження руйнування конкретних будівельних конструкцій, що використовуються під час будівництва житлового фонду в Україні, у ній не проводилось.

У роботі [4] запропонована схема системи гідроімпульсного руйнування будівельних конструкцій (СГІР) та визначена швидкість струменя на виході з сопла. Дослідження швидкості руху імпульсного водного струменя для цієї СГІР проведено в [6].

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є перевірка експериментальним шляхом адекватності залежності (2) для визначення швидкості, при якій відбувається руйнування будівельної конструкції під час впливу на неї імпульсним водним струменем.

Експериментальні дослідження проводилися за схемою, що наведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема проведення експериментального дослідження: 1 – СГІР; 2 – імпульсний водний струмінь; 3 – будівельна конструкція

З метою забезпечення адекватності проведення дослідження з руйнування будівельних конструкцій імпульсним водним струменем високої швидкості проаналізований житловий фонд України на предмет визначення конструкційних матеріалів, з яких здійснювалася забудова.

На рис. 2 наведений приблизний розподіл житлового фонду України у залежності від технології огорожуючих конструкцій [7].

Аналіз аварій з руйнуванням будівель за часів незалежності України [8] показав, що переважна більшість аварій сталася в панельних будівлях. З урахуванням цього та у результаті аналізу конструкцій житлового фонду України нами обрано перелік конструкцій, що повинні бути використані для проведення експериментальних досліджень з їх руйнування імпульсним водним струменем високої швидкості (табл. 1).

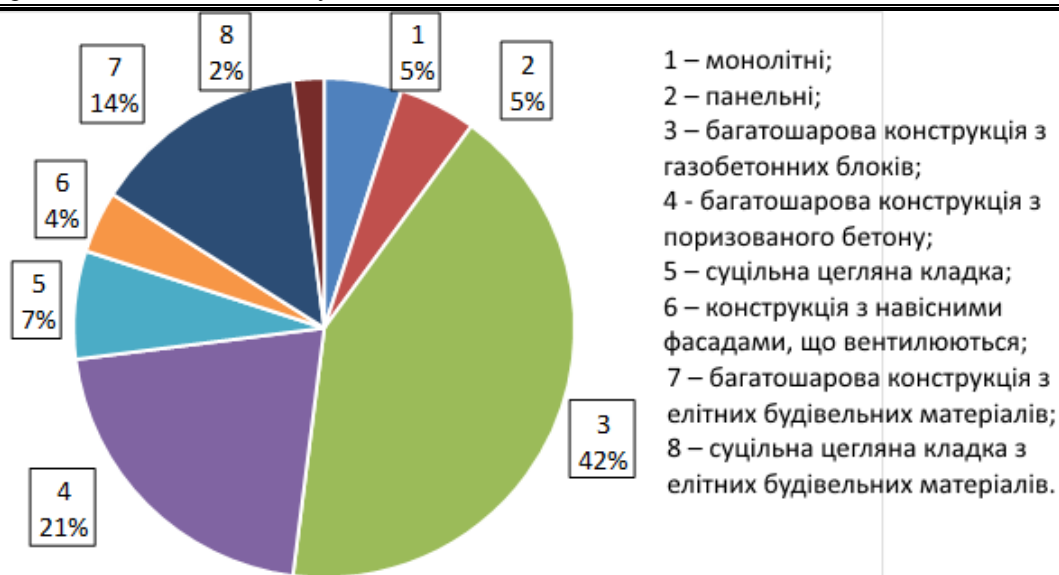


Рис. 2. Розподіл житлового фонду України

Оскільки під час впливу імпульсним водним струменем високої швидкості переважають сили стискання, то у якості основного параметру конструкція обрана межа міцності на стиск.

Критерії руйнування кам'яної конструкції - умови незворотної зміни початкового стану кам'яної конструкції під дією зовнішніх навантажень або силових впливів [9]. Незворотною зміною вважається утворення тріщин у кладок елементах і/або розчинних швах, роздроблення матеріалу, взаємне ковзання частин кладки [10].

Тому під час проведення дослідження з руйнування будівельних конструкцій водним струменем високої швидкості під терміном «руйнування» будемо розуміти:

- для залізобетонних конструкцій – утворення продольних тріщин або наскрізного отвору в конструкції;
- для цегляних конструкцій – утворення тріщин у розчинних швах або цеглі, дроблення цегли;
- для газобетону – утворення поперечних тріщин, дроблення блоку.

Дослідний зразок системи гідроімпульсного руйнування зображений на рис. 3. Він складається зі ствола 3 діаметром 20 мм, що закріплений на опорному пристрої 7 та має відкатний пристрій 2. Довжину ствола можна змінювати за допомогою набору подовжувачів 5 за допомогою з'єднувачів 4. Для надання струменю рідини прискорення наприкінці ствола встановлюються змінні сопла 6 різного діаметру. Водяний заряд заливається через сопло 6 та отримує енергію від порохового заряду, що розташований в патроні в казенній частині 8 СГР. За допомогою ударно-спускового механізму 1 з дистанційним керуванням СГР приводиться в дію. Відстань, з якої проводилось руйнування

$L(u_{\max}) = 0,85$  м. Швидкість руху струменя визначалась за емпіричною формулою, отриманою авторами для цієї СГІР в роботі [6].

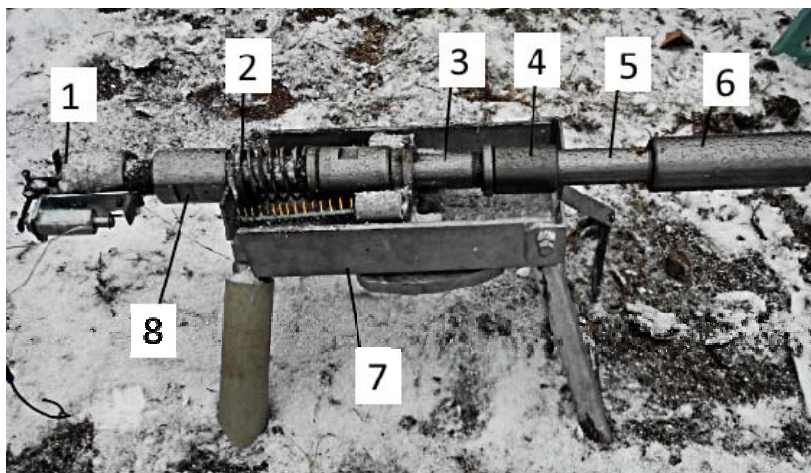


Рис. 3. Дослідний зразок системи гідроімпульсного руйнування: 1 – ударно-спусковий механізм; 2 – відкатний пристрій; 3 – ствол; 4 – з’єднувач; 5 – подовжувач ствола; 6 – сопло; 7 – опорний пристрій; 8 – казенна частина

Результати дослідження наведено в табл. 1.

Табл. 1. Результати експериментальних досліджень з руйнування будівельних конструкцій імпульсним водним струменем високої швидкості

№ з/п	Будівельна конструкція	Межа міцності на стиск $\sigma_m$ , $\cdot 10^6$ Па	Швидкість струменя $u_{emp}$ , м/с	Кількість пострілів до руйнування
1	Стіна з газобетону $\delta=400$ мм	2,9 [11]	170	1
2	Стіна з залізобетону $\delta=350$ мм	16,4 [12]	405	2
3	Стіна з залізобетону $\delta=180$ мм	29,7 [12]	545	1
4	Перегородка з гіпсобетону $\delta=80$ мм	6,5 [12]	255	1
5	Цегляна стіна $\delta=510$ мм	2 [9]	141	1
6	Цегляна стіна $\delta=250$ мм	2 [9]	141	1
7	Плита перекриття залізобетонна багатопустотна $\delta=220$ мм	32,7 [13]	572	2
8	Плита перекриття залізобетонна суцільна $\delta=160$ мм	29,7 [14]	545	1

На рис. 4 наведено фото руйнування деяких будівельних конструкцій імпульсним водним струменем високої швидкості.



Рис. 4. Будівельні конструкції після руйнування імпульсним водним струменем високої швидкості

**Висновки.** Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що для більшості будівельних конструкцій, що обрано для дослідження, формула (2) є адекватною для визначення швидкості, за якої необхідно проводити руйнування будівельних конструкцій в залежності від їх міцності.

Необхідність повторних пострілів для стіни з залізобетону  $\delta=350$  мм та залізобетонної багатопустотної плити перекриття  $\delta=220$  мм пояснюється значною їх товщиною. Вочевидь, для таких будівельних конструкцій формула (2) потребує уточнення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Грицына И.Н. Высокоскоростные струи жидкости как средство гидроразрушения элементов строительных конструкций при проведении аварийно-спасательных работ / Грицына И.Н., Виноградов С.А., Консуров Н.О. // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ, 2013. – №2 (28). – С. 173-178.

2. Пат. 93939 Україна, МПК (2014.01) А62В 5/00, Е21F 11/00. Спосіб руйнування елементів будівельних конструкцій / Виноградов С.А., Консуров М.О., Калиновський А.Я., Ларін О.М.; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № u201404035, заяв. 15.04.2014; опубл. 27.10.2014, бюл. № 20.

3. Атанов Г.А. Гидроимпульсные установки для разрушения горных пород / Атанов Г.А. – К.: Вища школа, 1987. – 155 с.

4. Разработка схемы аварийно-спасательного инструмента для разрушения элементов строительных конструкций и определение его геометрических параметров [Электронный ресурс] / [Виноградов С.А., Грицына И.Н., Консуров Н.О., Семко А.Н.] // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2013. – Вып. 34. – С. 45-51. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol34/vinogradov.pdf>.

5. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / Семко Александр Николаевич. – Донецк: Вебер, 2007. – 149 с.

6. Виноградов С.А. Експериментальні дослідження системи гідроімпульсного руйнування елементів будівельних конструкцій / Вино-

градов С.А., Консуров М.О., Сокол Я.С. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 21. – С. 11-17. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Vinogradov.pdf>.

7. Маляренко В.А. Состояние и пути санации жилого фонда прошлых лет / Маляренко В.А., Орлова Н.А. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. - № 9 (91). – С. 9-14.

8. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні / ДСНС України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/national\\_lecture.html](http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html).

9. Онищик Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. Часть 1. Работа элементов каменных конструкций / Онищик Л.И. – М.: ОНТИ, 1937. – 291 с.

10. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей / Зайцев Ю.В. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.

11. ДСТУ Б В.2.7-137:2008. Блоки з ніздрюватого бетону. Стінові дрібні. Технічні умови. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2008. – 10 с.

12. ДСТУ Б В.2.6-64:2008. Панелі стінові зовнішні бетонні і залізобетонні для житлових і громадських будинків. Технічні умови. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009. – 64 с.

13. ДСТУ Б В.2.6-53:2008. Плити перекриттів залізобетонні багатопустотні для будівель і споруд. Технічні умови. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009. – 23 с.

14. ДСТУ Б В.2.6-58:2008. Плити залізобетонні суцільні для перекриттів будівель і споруд. Технічні умови. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009. – 30 с.

С.А. Виноградов, Н.О. Консуров, С.С. Пономаренко

#### **Разрушение строительных конструкций импульсной водной струей высокой скорости**

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по проверке адекватности предложенной зависимости для определения скорости движения импульсного водной струи высокой скорости, при которой происходит разрушение строительной конструкции, включающая плотность жидкости и предел прочности материала на сжатие.

**Ключевые слова:** аварийно-спасательные работы, разрушение, система гидроимпульсного разрушения, импульсная струя жидкости высокой скорости, строительные конструкции, предел прочности.

S.A. Vinogradov, N.O. Konsurov, S.S. Ponomarenko

#### **The destruction of building construction by impulsed high-speed water jet**

The results of experimental studies to verify the adequacy of the proposed dependence to determine the velocity of the **impulsed high-speed water jet** at which the destruction of the building **construction**, which includes the fluid density and the compressive strength of the material.

**Keywords:** rescue works, destruction, device of hydroimpulsive destruction, **high-speed water jet**, building construction.



*Х.Ш. Гасанов, ад'юнкт, НУГЗУ*

## ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В ПОМЕЩЕНИИ НА ПОКАЗАНИЯ ТЕПЛОВИЗОРА

(представлено д-ром техн. наук Ключкою Ю.П.)

Рассмотрены модели по распределению температуры в помещении при пожаре. Получена математическая модель воздействия опасных факторов чрезвычайной ситуации на величину температуры на внешней стенке с учетом неравномерности распределения температуры в помещении.

**Ключевые слова:** тепловизор, пожар, распределение температуры, время, температура.

**Постановка проблемы.** На сегодняшнем этапе при разведке чрезвычайных ситуаций в основном, используется визуальный метод. Однако, в некоторых случаях, например, на начальном этапе или в процессе развития пожара, источник можно определять исходя из длин волн, которые невидимы для человеческого глаза, с помощью тепловизора.

Учитывая все преимущества тепловизоров не сегодняшний день одной из проблем является отсутствие методик по применению данных устройств, рекомендаций к тактическим действиям, математического аппарата для анализа пожара на основе изображений в инфракрасном диапазоне и т.д.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Применение тепловизоров при определении температуры наружных поверхностей, а именно стен зданий, жилых домов в случае пожара может усугубляться по ряду таких причин:

- неизвестные особенности конструкции стены (применение различных материалов для утепления);
- неравномерное распределение температуры по высоте помещения при пожаре в нем.

Существует ряд работ, посвященных изучению температурного режима пожара в помещении [2-5].

В [3] получена математическая модель для определения температуры в любой точке закрытого помещения при пожаре (рис. 1)

$$T_i = T_{tg} \frac{C_t \cdot G^{0,28} \cdot \tau_{sg}^{0,218} \cdot Z^{1,116+0,105 \ln(z)} \cdot S_n^{0,24}}{x^{0,479}}, \quad (1)$$

где  $T_{tg}$  – температура горения, °C;  $G$  – пожарная нагрузка в помещении, кг/м<sup>2</sup>;  $\tau_{sg}$  – время свободного горения, мин.;  $Z$  – высота, на которой определяется температура, м;  $S_n$  – площадь пожара, м<sup>2</sup>;  $x$  – расстояние, на котором определяется температура, м;  $C_t$  – коэффициент пропорциональности,  $C_t = 0,0172 \text{ мин}^{0,218} \cdot \text{кг}^{0,28} \cdot \text{м}^{-0,557}$ .

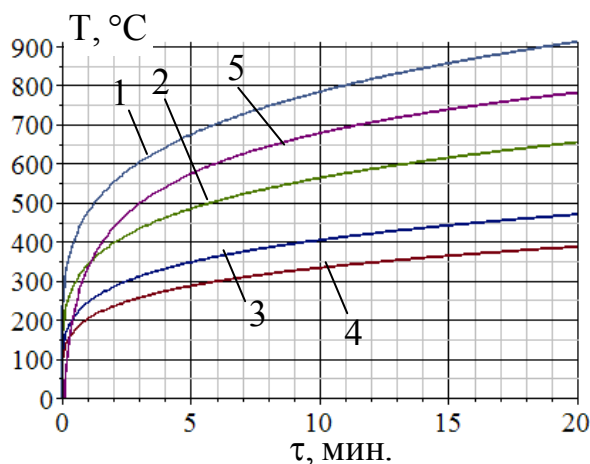


Рис. 1. Зависимость температуры в локальной точке помещения при  $Z=2,5$  м.: 1 –  $x=0,25$  м.; 2 –  $x=0,5$  м.; 3 –  $x=1$  м.; 4 –  $x=1,5$  м.; 5 – «стандартная температурная кривая»

В [4] локальное значение температуры среды в помещении при пожаре для любого момента времени  $\tau$  определялось в соответствии

$$T_{x,y,\tau} = T_{m,\tau} \left( 0,8 + \frac{0,2y}{0,5H} \right) \cdot \left( 1,33 - \frac{x}{2x + 0,5 \cdot \ell} \right), \quad (2)$$

где  $T_{m,\tau}$  – среднеобъемная температура в помещении;  $H, L$  – высота и длина помещения;  $x, y$  – расстояние от границы горения и от пола.

При анализе пожаров, проведении исследований на огнестойкость и т.д. зачастую оперируют стандартным температурным режимом при пожаре. Тогда зависимость среднеобъемной температуры можно записать в виде [5]

$$T = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0, \quad (3)$$

где  $T_0$  – начальная температура в помещении;  $\tau$  – длительность пожара в мин.

В работах [2, 6] распределение температур предлагается в виде

$$T = \frac{T_{cp}}{1 + a(1 - 2z/H)}, \quad (4)$$

где  $a = f(T_m)$  – экспериментальный безразмерный коэффициент.

В [7] представлені результати численного експерименту по розвитку пожеги в зрительному залі кінотеатра з використанням полевий (дифференціальної) математичної моделі розрахунок тепломасообміну (рис. 2., рис. 3).

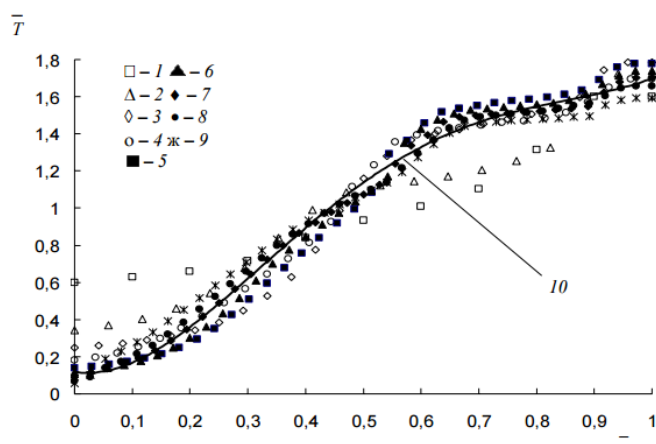


Рис. 2. Розподілення температур по товщині припотолочного слоя в різні моменти часу: 1 – 120 с.; 2 – 180 с.; 3 – 240 с.; 4 – 300 с.; 5 – 360 с.; 6 – 420 с.; 7 – 480 с.; 8 – 540 с.; 9 – 600 с.; 10 – апроксимуюча крива

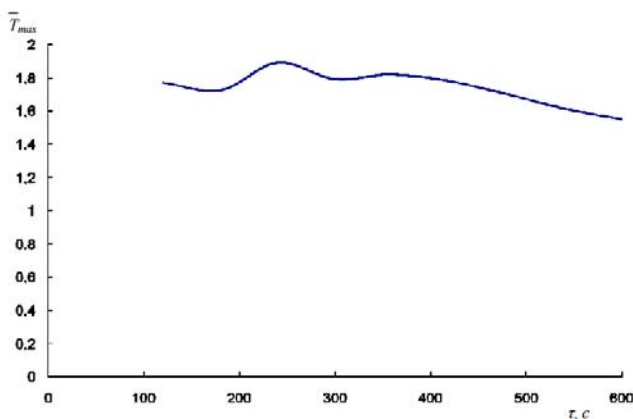


Рис. 3. Залежності відношення максимальної температури припотолочного слоя до його середньої температури від часу з початку пожеги

Аналіз рисунків показує, що градієнти температури по товщині нагрітого припотолочного газозовдушного слоя є суттєвими.

**Постановка задачі і її рішення.** Цілью роботи є побудова моделі впливу небезпечних факторів надзвичайної ситуації на величину температури на зовнішній стінці з урахуванням нерівномірності розподілення температури в приміщенні.

Неоднорідність температурного поля в приміщенні призводить до того, що розподілення температури в стінці будівлі, з якою контактують небезпечні фактори ЧС (продукти спаління) також є неоднорідним (рис. 4).

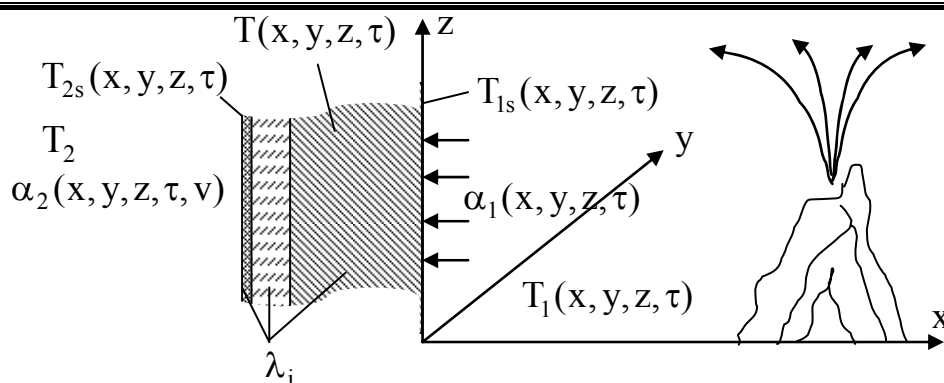


Рис. 4. Схема помещения и пожара в нем:  $T_1(x, y, z, \tau)$ ,  $T_2$  – температура внутри помещения и внешней среды;  $T_{1s}(x, y, z, \tau)$ ,  $T_{2s}(x, y, z, \tau)$  – температура внутренней и внешней поверхности стены;  $\alpha_1(x, y, z, \tau)$ ,  $\alpha_2(x, y, z, \tau)$  – коэффициент теплоотдачи у внутренней и внешней поверхности стены;  $\lambda_i$  – коэффициенты теплопроводности конструкции стены, утеплителя, отделочного материала ( $i=1..n$ )

В случае возникновения пожара, происходит изменение температуры внутри помещения, что влечет за собой изменение параметров стены согласно выражению

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_{st} \cdot \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right], \quad (5)$$

где  $a_{st}$  – коэффициент температуропроводности стены.

Для построения математической модели приняты граничные условия третьего рода на внешней и на внутренней поверхности стены

$$\lambda_{st2} \frac{\partial T_{2s}(x_2, y, z, \tau)}{\partial x} = \alpha_2 \cdot (T_{2s}(x_2, y, z, \tau) - T_2), \quad (6)$$

$$\lambda_{st1} \frac{\partial T_{1s}(x_1, y, z, \tau)}{\partial x} = \alpha_1 \cdot (T_1(x_1, y, z, \tau) - T_{1s}(x_1, y, z, \tau)), \quad (7)$$

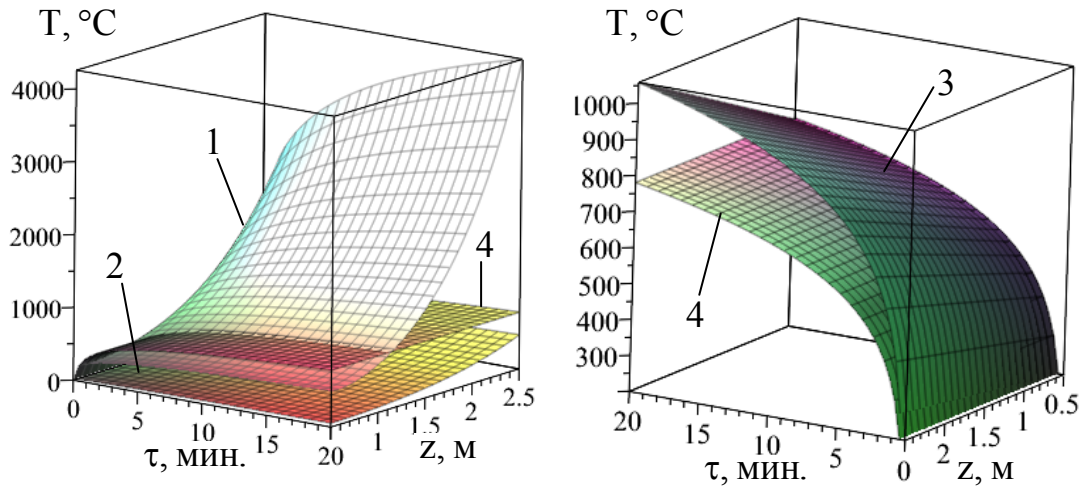
Начальные условия можно записать в следующем виде

$$T(x, 0)|_{x \in [x_1, x_2]} = f(x, T_{0vs}, T_0, \lambda_i), \quad (8)$$

$$T_1(x_1, 0) = T_0, \quad (9)$$

$$T_2(x_2, 0) = T_{0vs}. \quad (10)$$

Анализ зависимостей (1), (2) и (4) показывает, что результаты расчетов по данным моделям могут иметь отклонения более 100% (рис. 5).



**Рис. 5.** Зависимость температуры в помещении от высоты точки измерения и времени: 1-  $x=0,01$  м (1); 2 –  $x=1$  м (1); 3 –  $x=1$  м (2); 4 – стандартная температурный режим при пожаре

Следует также отметить различный характер изменения температуры с ростом  $z$  (степенной и линейный).

Таким образом, систему уравнений для определения температуры на внешней стенке с учетом неравномерности распределения температуры в помещении можно представить в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial T}{\partial \tau} = a_{st} \cdot \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right]; \\ \lambda_{st2} \frac{T_{2s}(x_2, y, z, \tau)}{\partial x} = \alpha_2 \cdot (T_{2s}(x_2, y, z, \tau) - T_2); \\ \lambda_{st1} \frac{T_{1s}(x_1, y, z, \tau)}{\partial x} = \alpha_1 \cdot (T_1(x_1, y, z, \tau) - T_{1s}(x_1, y, z, \tau)); \\ T(x, 0)|_{x \in [x_1; x_2]} = f(x, T_{0vs}, T_0, \lambda_i); \\ T_1(x_1, 0) = T_0; \quad T_2(x_2, 0) = T_{0vs}; \\ \alpha_1 = 1,66(T_1(x, y, z, \tau) - T_{1s}(x_1, y, z, \tau))^{1/3}; \\ \alpha_2 = 5,07v^{0,656} + 3,25e^{-1,91v}; \\ T_1(x, y, z, \tau) = \varphi(x, y, z, \tau), \end{array} \right. \quad (11)$$

где  $\varphi(x, y, z, \tau)$  – модель, описывающая изменение температуры в помещении.

**Выводы.** Получена математическая модель воздействия опасных факторов чрезвычайной ситуации на величину температуры на внешней стенке с учетом неравномерности распределения температуры в помещении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ключка Ю.П. Анализ применения тепловизоров при тушении пожаров / Ю.П. Ключка, Х.Ш. Гасанов, Н.В. Крынская // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 36. – С. 109-116. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol36/kluchka.pdf>.
2. Астапенко В.М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский, А.Н. Шевляков под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
3. Гулида Э.Н. Модель пожара в закрытом помещении на основе полного факторного эксперимента / Гулида Э.Н., Ренкас А.А. // Вестник ВИ ГПС МЧС России. – 2013. – №4 (9). С.78-81.
4. Кузьмин А.А. Теплотехника / Под ред. В.С. Артамонова. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2011. – 33 с.
5. Рябова І.Б. Термодинаміка і теплопередача у пожежній справі / І.Б. Рябова, І.В. Сайчук, А.Я. Шаршанов // Навчальний посібник. – Харків, АПБУ, 2002. – С.352.
6. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Кошмаров Ю.А. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2000. – 118 с.
7. Пузач С.В. Неоднородность температурного поля в припотолочном газоздушном слое при пожаре в помещении / Пузач С.В., Нгуен Тхань Хай, Лебедченко О.С. // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 5 (21). – 2008. – С. 1-9.

Х.Ш. Гасанов

### **Вплив нерівномірного розподілу небезпечних факторів надзвичайної ситуації в приміщенні на покази тепловізора**

Розглянуто моделі по розподілу температури в приміщенні під час пожежі. Отримана математична модель впливу небезпечних чинників надзвичайної ситуації на величину температури на зовнішній стінці з урахуванням нерівномірності розподілення температури в приміщенні.

**Ключові слова:** тепловізор, надзвичайна ситуація, розподіл температури, час, температура.

Kh.Sh. Hasanov

### **The impact of uneven distribution of hazards emergency room on the testimony of the thermal imager**

The models for the distribution of temperature in the room in case of fire. A mathematical model of the effect of hazards on the value of the emergency temperature in the outer wall based on the unevenness of temperature distribution in the room.

**Keywords:** Thermal, fire, temperature distribution, time, temperature.

*Г.Б. Гишко, к.військ.н., доцент, ХУПС,  
І.І. Попов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПАЛЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН**

(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Проведений порівняльний аналіз окремих складових методичного забезпечення прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин, за результатами якого запропоновані рекомендації щодо його удосконалення.

**Ключові слова:** запалювальні речовини, оперативність розрахунків, достовірність та повнота результатів, прогнозування наслідків.

**Постановка проблеми.** Сучасний стан і тенденції розвитку засобів ураження показують, що запалювальні речовини можуть бути застосовані для ураження цивільного населення, об'єктів державного та громадського призначення, для вчинення різноманітних терористичних актів з боку реакційно налаштованих режимів. У разі застосування запалювальних речовин (ЗР) особовий склад Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), цивільне населення, техніка та об'єкти господарчого і громадського призначення будуть підпадати під вплив як безпосередньо запалювальних речовин, так і пожеж, які мають тенденцію до масового поширення [1, 2]. В цих районах створюються великі зони вогневого впливу, що може призвести до значних втрат особового складу ДСНС та значно ускладнює умови виконання покладених завдань за призначенням щодо проведення рятувальних робіт та локалізації і гасіння пожеж, які набувають масового характеру. В цих випадках прогнозування та оцінка можливих втрат особового складу ДСНС та цивільного населення, які підпадають під вогневий вплив масових пожеж, проводиться з метою одержання даних для визначення обсягу та можливості виконання завдань і ступеня боєздатності підрозділів ДСНС в осередках застосування запалювальних речовин. Це обумовлює необхідність аналізу методичного забезпечення заходів, які спрямовані на недопущення (мінімізацію) втрат особового складу підрозділів ДСНС, що залучаються до ліквідації НС, та цивільного населення в осередках надзвичайних ситуацій. У зв'язку з цим удосконалення існуючих методик, за допомогою яких здійснюються визначання кількісних характеристик масових пожеж та оцінка їх наслідків в районах можливого застосування запалювальних речовин, є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз існуючих методик, за допомогою яких здійснюються оцінка наслідків застосування запалювальних речовин і прогнозування масштабів розвитку пожеж, показує, що вони мають ряд істотних недоліків і не повною мірою відповідають вимогам щодо прогнозу та оцінки обстановки в осередках надзвичайних ситуацій [3]. В роботі [2] запропонований математичний апарат, який являє собою новий підхід до оцінки обстановки в районах можливих втрат серед цивільного населення та особового складу підрозділів ДСНС від вогневого впливу масових пожеж в осередках надзвичайних ситуацій і який потребує відповідного обґрунтування щодо ефективності використання для прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин.

**Постановка завдання та його вирішення.** Мета роботи – розробка рекомендацій для удосконалення методичного забезпечення прогнозування наслідків від запалювальних речовин на основі порівняльного аналізу методик оцінки обстановки в районах їх застосування.

В роботі проведений порівняльний аналіз методики прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин, що запропонована в [2], з існуючою методикою [3]. Методика [2], що розроблена, може бути рекомендована до застосування у випадку, коли порівняльна оцінка з існуючою методикою покаже її перевагу за наступними показниками:

- оперативність розрахунків;
- достовірність результатів;
- повнота результатів.

Оперативність роботи методики прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин буде визначатися часом циклу проведення розрахунків. Для знаходження значення показника оперативності  $P$  як ймовірності своєчасного отримання результатів розрахунків відповідно до методики використовується формула

$$P = 1 - e^{-\frac{t_p}{t}}, \quad (1)$$

де  $t_p$  – час, який є в наявності для проведення розрахунків відповідно до методики, хв.;  $t$  – необхідний час для проведення розрахунків відповідно до методики, хв.

Величина часу, який є в наявності  $t_p$ , та необхідного часу  $t$  для проведення розрахунків відповідно до методики на практиці залежить від багатьох факторів, що визначаються ймовірністю. У зв'язку з цим були проведені дослідження по оцінці часу, який є в наявності для проведення розрахунків відповідно до методики прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин. Було встановлено, що для своєчасного виконання заходів щодо планування та організації захисту від запалювальних речовин значення часу, який є в наявності для проведення розрахунків відповідно до методики для одного об'єкту, що може підпасти під ураження, при проведенні завчасної оцінки пожежної обстановки не повинно перевищувати 8 хвилин. При проведенні розра-



хунків у ході попередньої оцінки значення часу, який є в наявності для проведення розрахунків відповідно до методики для одного об'єкту не повинно перевищувати 5 хвилин. При проведенні розрахунків відповідно до методики у ході оцінки пожежної обстановки за фактичними даними, що отримані від сил та засобів розвідки, значення часу, який є в наявності, буде залежати від тривалості вогневої дії запалювальної речовини і не повинно перевищувати 3 хвилини.

Значення часу, яке необхідне для проведення розрахунків відповідно до методики для одного об'єкту, що оцінюється, були визначенні експертним способом (табл. 1).

**Табл. 1. Середнє значення необхідного часу на проведення розрахунків за методикою прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин, хв.**

Методика	Час проведення розрахунків за методикою, що включає підготовку, введення даних в ЕОМ і час розрахунку, хв.		
	при завчасній оцінці	при попередній оцінці	при оцінці за фактичними даними розвідки
[2]	8	6	4
[3]	15	10	7

В табл.1. значення часових інтервалів проведення розрахунків за методикою приведені з урахуванням часу необхідного для підготовки вхідних даних. У той же час при проведенні оцінки обстановки за фактичними даними розвідки не враховується час її проведення.

**Табл. 2. Значення показників оперативності розрахунків за методикою прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин**

Методика	Етапи оцінки обстановки:		
	при завчасній оцінці	при попередній оцінці	при оцінці за фактичними даними розвідки
[2]	0,6321	0,5654	0,5276
[3]	0,4133	0,3934	0,3485

Використовуючи значення необхідного часу на проведення розрахунків по методикам [2] та [3] та часу, який є в наявності, значення показника Р оперативності знаходимо за формулою (1) (табл. 2.).

Значення показника достовірності результатів R, які отримані за допомогою методики прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин, залежить від вагомості факторів, що притаманні осередку ураження та способу обліку кожного фактору:

$$R = 1 - \sum_{j=1}^4 \beta_j \cdot \sum_{i=1}^4 \alpha_i, \quad (2)$$

де  $\alpha_i$  – вага важливості i-го фактору;  $\beta_j$  – відносна похибка способу обліку факторів, яка визначається як:

$$\beta_j = \begin{cases} 0 - \text{при безпосередньому обліку факторів;} \\ 0,445 - \text{при звичайному узагальненні;} \\ 0,6 - \text{при функціональному узагальненні;} \\ 1,33 - \text{при непрямому узагальненні.} \end{cases}$$

Значення показників достовірності, які розраховані за формулою (2) для методики, що розроблена [2], та існуючої методики [3], приведені у табл.3.

**Табл. 3. Значення показників достовірності результатів, які отримані з використанням методики прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин**

Показник ефективності	Методика	
	[2]	[3]
Достовірність R	0,6948	0,2159

Методики, що оцінюються, відрізняються по кількості оцінюваних показників щодо пожежної обстановки, умов застосування та типам об'єктів, які уражаються запалювальними речовинами. Облік кількості показників, що оцінюються, характеризується повнотою результатів, які отримані за допомогою методики. Значення показника повноти результатів, які отримані за допомогою методики прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин, можливо знайти з співвідношення:

$$W = R \cdot P \cdot \frac{\gamma}{Q}, \quad (3)$$

де Q – загальна кількість показників; R – значення показника достовірності результатів, отриманих за допомогою методики (табл. 3.); P – значення показника оперативності розрахунків (табл. 2.);  $\gamma$  – кількість показників щодо пожежної обстановки, які визначаються у методиці.

Результати існуючих досліджень [4] дозволяють зробити висновок відносно того, що методика прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин повинна враховувати сорок чотири основних показника щодо оцінки пожежної обстановки та захисту від запалювальних речовин (Q=44). При проведенні розрахунків за методикою [2] враховуються саме значення сорока чотирьох показників щодо оцінки пожежної обстановки та захисту від запалювальних речовин ( $\gamma=44$ ), а існуюча методика [3] враховує значення тільки дев'ятнадцяти показників із загальної кількості ( $\gamma=19$ ). Тобто, повнота результатів, які отримані за допомогою методики [2], у 2,3 рази перевищують можливості існуючої методики [3].

**Висновки.** Порівняльний аналіз отриманих результатів засвідчує, що методика прогнозування наслідків застосування запалювальних ре-

човин, яка розроблена на основі математичної моделі процесу виникнення і розповсюдження масової пожежі [2], перевершує існуючу методику [3] за показником оперативності на 60%, за показником достовірності на 65%, за показником повноти в 2,3 рази та може бути рекомендована для оцінки обстановки в осередках надзвичайних ситуацій із застосуванням запалювальних речовин.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гишко Г.Б. Визначення кількісних характеристик масових пожеж у районах виконання завдань підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій / Гишко Г.Б., Толкунов І.О. // Пожежна безпека. Збірник наукових праць НУЦЗ України. – Х.: НУЦЗ України. – 2014, Вип. 36. – С. 70 – 76.

2. Гишко Г.Б. Визначення втрат серед цивільного населення та особового складу підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій від впливу масових пожеж / Гишко Г.Б., Попов І.І. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Збірник наукових праць НУЦЗ України. – Х.: НУЦЗ України. – 2015, Вип. 21. – С. 18 – 22.

3. Гишко Г.Б. Способи визначення ймовірності виникнення та розвитку пожежі у лісових масивах від показника займистості // Зб. тез доповідей II наук. конф. молодих вчених ХВУ. Ч. 1. – Х.: ХВУ, 2003. – С. 109.

4. Кириченко І.А. Порядок визначення кількісних характеристик масових пожеж та оцінки стану об'єктів у районах виконання завдань частинами внутрішніх військ / Кириченко І.А., Гишко Г.Б. // Честь і закон: Науково-практичний журнал МВС України. – Х.: ВІВВ МВС України. – 2005. – Вип.1. – С.45-51.

Г.Б. Гишко, І.І. Попов

**Разработка рекомендаций для усовершенствования методического обеспечения прогнозирования последствий применения зажигательных веществ**

По результатам сравнительного анализа отдельных составляющих методического обеспечения прогнозирования последствий применения зажигательных веществ предложены рекомендации для повышения эффективности оценки обстановки в зонах чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** зажигательные вещества, оперативность расчётов, достоверность и полнота результатов, прогнозирование последствий.

G.B. Gishko, I.I. Popov

**Development of recommendations for improvement of methodical maintenance of forecasting effects of incendiary substances**

According to the results of comparative analysis of the individual components of methodological support of forecasting effects of incendiary substances proposed recommendations to enhance the evaluation of the situation in the emergency zones.

**Keywords:** inflammatory substances, efficiency calculations, the accuracy and completeness of results, prediction of consequences.

*А.В. Загора, к.т.н., доцент, ст. преподаватель, НУГЗУ,  
Е.Е. Селеенко, преподаватель, НУГЗУ,  
Д.Л. Соколов, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
А.Б. Фещенко, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ АППАРАТУРЫ ОПЕРАТИВНОЙ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СВЯЗИ С ДОСТАТОЧНОСТЬЮ КОМПЛЕКТА ЗАПАСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ**

(представлено д-ром техн. наук Чубом И.А.)

Получены и проанализированы выражения коэффициента готовности аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации. установлена взаимосвязь между коэффициентом готовности и обеспеченностью аппаратуры комплектом запасных технических средств, произведен вероятностный расчет достаточности элементов в комплекте запасных технических средств для восстановления и ремонта телекоммуникационной аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** оперативная диспетчерская связь, чрезвычайная ситуация, запасные технические средства, восстановление аппаратуры.

**Постановка проблемы.** Эффективность работы оперативной диспетчерской связи (ОДС) и оповещения в режиме чрезвычайной ситуации (ЧС) зависит, прежде всего, от показателей надежности, живучести и восстанавливаемости аппаратуры и степени влияния ЧС на работу сети электросвязи зависит по множеству факторов [1].

В некоторых случаях ЧС приводит к длительным отказам элементов сети электросвязи. Для поддержки оперативной готовности ОДС необходимо воспользоваться резервными техническими средствами (РТС) и провести восстановление аппаратуры за счет запасных технических средств (ЗТС). Одной из проблем при этом является повышение коэффициента готовности аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации и установление взаимосвязи между коэффициентом готовности и обеспеченностью аппаратуры комплектом запасных технических средств.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [2] и рассматривается классификация отказов, возникающих на современной телекоммуникационной аппаратуре в условиях ЧС по трем группам. К первой относятся отказы узлов коммутации (УК), в состав которых входит активное оборудование, необходимое для предоставления телекоммуникационных услуг. Вторую группу составляют транс-

портные ресурсы, служащие для формирования каналов обмена информацией. Третья группа — дополнительное оборудование, без которого поддержка ряда телекоммуникационных услуг возможна, но только с рядом ограничений.

Длительные отказы разделяют на два вида. К отказам первого вида относятся повреждения, вызванные непосредственным воздействием разрушительных сил ЧС. Длительные отказы транспортных ресурсов (линейных сооружений) учитывают возможные последствия от минимального (например, повреждение одного кабеля протяженностью менее 10 м) до максимального (предельный случай — разрушение всех линейных сооружений в сети электросвязи).

Отказы второго вида обусловлены прерыванием внешнего электропитания, вследствие которого УК перестает выполнять свои функции через некоторое время  $t_x$ , определяемое ресурсами внешнего электропитания.

Статистика последних лет показывает, что эксплуатируемые сети электросвязи, устойчивы к разрушениям, вызываемым ЧС. Чаще всего длительные отказы происходят из-за невозможности оперативного восстановления внешнего электропитания. Одним из способов поддержки работоспособности сетей электросвязи является формирование РТС [2].

В работе [3] при прерывании внешнего электропитания рассмотрен способ устранения отказа ОДС за счет перехода на резервный источник питания и представлена методика расчета времени автономной работы аварийного источника электропитания аппаратуры ОДС в условиях ЧС.

В работе [4] представлены графоаналитические методы определения периода регламентных работ датчиков ослабления последствий ЧС, позволяющие повысить коэффициент оперативной готовности аппаратуры.

В работе [5] представлены оценка необходимости корректировки комплекта ЗТС и методика расчета необходимого количества запасных технических средств для восстановления аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации.

**Постановка задачи и её решение.** Проанализировав приведенные научные работы, сформулируем критерия достаточности запасных элементов и оценим коэффициент готовности аппаратуры ОДС после восстановления в условиях чрезвычайной ситуации.

Аппаратуру ОДС необходимо обеспечивать требуемым комплектом запасных элементов, так как в противном случае значительно увеличивается время восстановления. Критерий достаточности запасных элементов зависит от составляющих среднего времени восстановления ОДС из следующего выражения [6].

$$T_{\epsilon} = T_a + T_{ad} + T_n, \quad (1)$$

где  $T_a$  – среднее время активного ремонта;  $T_{ad}$  – среднее время вынужденного простоя при текущем ремонте из-за административных факторов;  $T_n$  – среднее время вынужденного простоя аппаратуры из-за отсутствия в ЗТС необходимых элементов (время пополнения).

Представим выражение (1) в следующем виде

$$T_{\text{в}} = T'_{\text{в}} + T_{\text{п}}, \quad (2)$$

где  $T'_{\text{в}}$  – среднее время восстановления аппаратуры при неограниченном (идеальном) комплекте ЗТС (т.е. при отсутствии задержек в снабжении).

Выразим среднее время восстановления аппаратуры через среднее время восстановления при отказе определенных элементов

$$T_{\text{в}} = \sum_{i=1}^N t_{\text{в}i} q_i, \quad (3)$$

где  $t_{\text{в}i}$  – среднее время восстановления при отказе  $i$ -го элемента;  $q_i$  – вероятность отказа аппаратуры из-за  $i$ -го элемента (при достоверном факте отказа аппаратуры);  $N$  – число элементов в аппаратуре.

Время  $t_{\text{в}i}$  можно представить в виде двух компонентов

$$t_{\text{в}i} = t'_{\text{в}i} + t_{\text{п}i} \quad (4)$$

соответствующих выражению (4) только для  $i$ -го элемента.

Осуществляя переход от конкретного элемента к группе однотипных элементов путем замены  $t_{\text{в}i}$  на  $t_{\text{в}j}$ ,  $q_i$  на  $q_j$  и  $i$  на  $k$ , которые соответствуют значениям для группы элементов, получаем

$$T_{\text{в}} = T'_{\text{в}} + T_{\text{п}} = \sum_{j=1}^k t'_{\text{в}j} q_j + \sum_{j=1}^k t_{\text{п}j} q_j. \quad (5)$$

Из выражения (5) находим

$$T_{\text{п}} = \sum_{j=1}^k t_{\text{п}j} q_j, \quad (6)$$

где  $t_{\text{п}j}$  – среднее время вынужденного простоя аппаратуры при текущем ремонте из-за элементов  $j$ -й группы;  $q_j$  – вероятность отказа из-за элементов  $j$ -й группы при отказе аппаратуры вообще (т.е. условная вероятность отказа аппаратуры из-за элементов  $j$ -й группы);  $k$  – число групп элементов в аппаратуре (номенклатура элементов).

Время  $T_{\Pi}$  может быть принято за критерий достаточности ЗТС. Достаточность ЗТС влияет и на коэффициент готовности аппаратуры

$$K_r = T_o / (T_o + T_b) \quad (7)$$

или с учетом выражения (8)

$$K_r = T_o / (T_o + T'_b + T_{\Pi}), \quad (8)$$

где  $T_o$  – наработка на отказ.

Выполнив соответствующие преобразования, получим

$$K_r = \frac{T_o}{(T_o + T_b)} = \frac{T_o}{(T_o + T'_b)} \cdot \frac{(T_o + T'_b)}{(T_o + T'_b + T_{\Pi})} = K'_r K_{об}, \quad (9)$$

где  $K'_r = \frac{T_o}{(T_o + T'_b)} = \frac{1}{(1 + \lambda/\mu)}$  – коэффициент готовности аппаратуры

при неограниченном комплекте ЗТС;

$K_{об} = \frac{(T_o + T'_b)}{(T_o + T'_b + T_{\Pi})} = \frac{1}{(1 + \frac{T_{\Pi}}{(T_o + T'_b)})} = \frac{1}{(1 + \frac{T_{\Pi} \cdot \lambda \cdot \mu}{(\lambda + \mu)})}$  – коэффициент

обеспеченности аппаратуры запасными элементами;  $\lambda, \mu$  – соответственно интенсивности отказов и восстановления.

Следовательно, среднее время восстановления аппаратуры и коэффициент готовности являются показателями ремонтпригодности, а среднее время простоя из-за недостатка ЗТС и коэффициент обеспеченности аппаратуры ЗТС являются критериями обеспеченности запасными элементами.

Номенклатура запасных частей для обеспечения эксплуатации определяется на основании рекомендаций завода-изготовителя той или иной аппаратуры и опыта эксплуатации ее в реальных условиях.

Количественный состав ЗТС аппаратуры следует считать достаточным, если по всем типам отказываемых элементов (заменяемых блоков, модулей) выполняются условия вида

$$n_{cpi} \leq m_{zi}, \quad (10)$$

где  $n_{cpi}$  – среднее число отказов элементов (заменяющих блоков, модулей)  $i$ -го типа;  $m_{zi}$  – число элементов (блоков, модулей)  $i$ -го типа, находящихся в ЗТС.

Как рассмотрено в [5] решение задачи комплектации аппаратуры

запасными деталями, анализ расходования ЗТС и составления заявок на его пополнение, подготовка материальной части к работе в условиях ЧС. заключается в решении функции  $m = f(N, \lambda, T_n)$ , т.е. нахождении необходимого числа запасных элементов  $m$  данного типа в зависимости от числа их в аппаратуре  $N$  и интенсивности их отказов  $\lambda$ , а также времени пополнения комплекта ЗТС  $T_n$ , при условии, что отказы независимы друг от друга, а их поток подчиняется закону Пуассона.

На основании формулы вероятности недостаточности, как вероятности того, что число отказов за время  $T_n$  будет больше числа запасных элементов  $m$ , находящихся в комплекте ЗТС, получим выражение для расчета  $m$  в виде

$$P_n(n(T_n) > m) = \sum_{n=m+1}^{\infty} \frac{(n_{cp})^n}{n!} e^{-n_{cp}} = \bar{\psi}(m+1; n_{cp}), \quad (11)$$

где  $\bar{\psi}(m+1; n_{cp})$ , – функция, получаемая из табличной функции  $\bar{\psi}(\chi; \mu)$ , путем замены переменных  $\chi = m+1; \mu = n_{cp}$ . [7].

Для достаточно малых значений вероятности недостаточности  $\bar{\psi}(m+1; n_{cp}) = 0.01$ , получим график функции  $m = f(N, \lambda, T_n)$ , например, при следующих значениях  $N=100; T_n = 720\text{ч}; 2160\text{ч}; 4320\text{ч}$ ,  $\lambda = 10^{-5} - 10^{-4} \text{ч}^{-1}$  представленный на рис. 1.

Из анализа графиков (Рис.1) следует, что с уменьшением  $\lambda$  и  $T_n$  количество необходимых элементов замены ЗТС  $m$  требуется тем меньше, чем меньше их интенсивность отказов  $\lambda$  и время пополнения  $T_n$  комплекта ЗТС.

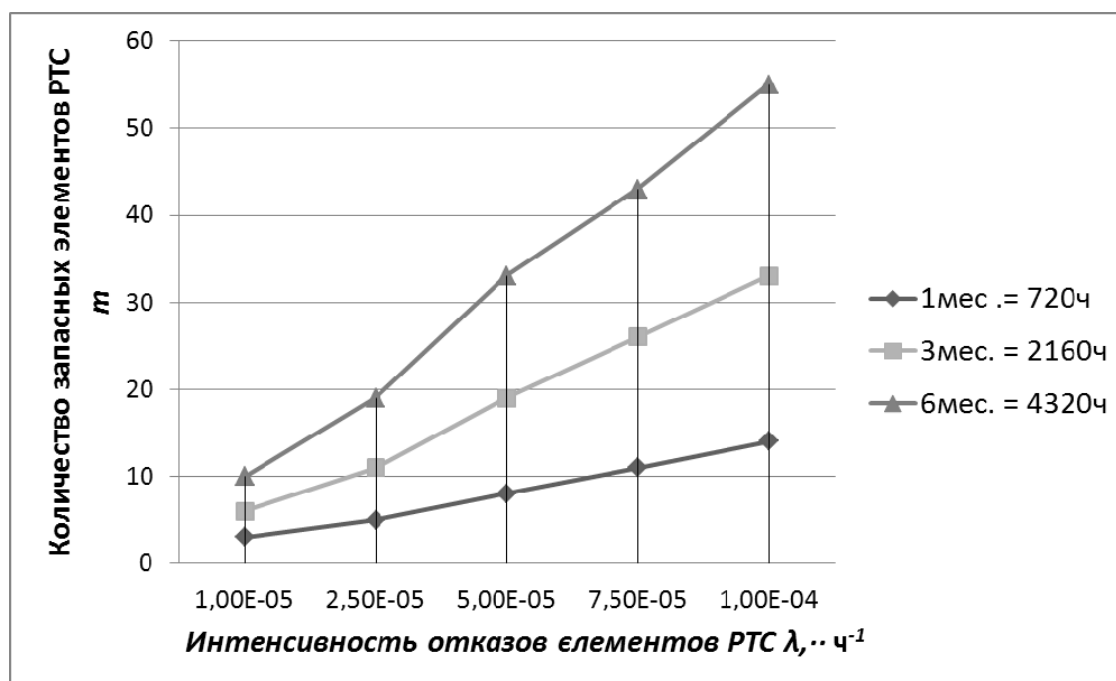


Рис. 1. График функции  $m = f(N, \lambda, t_n)$ , при  $N=100$



$$T_n = 720\text{ч}; 2160\text{ч}; 4329\text{ч}, \lambda = 10^{-5} - 10^{-4} \text{ч}^{-1}$$

**Выводы.** Получены и проанализированы выражения для оценки коэффициента готовности аппаратуры ОДС после отказов в условиях чрезвычайной ситуации. установлена взаимосвязь между коэффициентом готовности и обеспеченностью аппаратуры комплектом ЗТС, произведен вероятностный расчет достаточности элементов в комплекте ЗТС для восстановления и ремонта телекоммуникационной аппаратуры ОДС в условиях ЧС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Леваков А.К. Особенности функционирования телекоммуникационных сетей следующего поколения в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков. – М.: ИРИАС, 2012. – 107 с.
2. Леваков А.К. Задачи формирования комплекса резервных технических средств для восстановления отказов в сети электросвязи вследствие чрезвычайных ситуаций / А.К. Леваков // Электросвязь. – наука. – М.: «Электросвязь», 2013. – №12. – С. 38–40.
3. Загора А.В. Методика расчета времени автономной работы аварийного источника электропитания аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации / Загора А.В., Селеенко Е.Е., Фещенко А.Б. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – №21. – С. 23-30. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Zakora.pdf>.
4. Абрамов Ю.А. Выбор метода определения проведения регламентных работ датчиков систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций / Абрамов Ю.А., Е.Е., Кальченко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – №21. – С. 3-6. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Abramov.pdf>.
5. Загора А.В. Методика расчета количества запасных технических средств для восстановления аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации / Загора А.В., Фещенко А.Б. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – №22. – С. 23-37. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Zakora.pdf>.
6. Зыков В.И. Автоматизированные системы управления и связь. Учебник / Зыков В.И., Командиров А.В., Мосягин А.Б., Тетерин И.М., Чекмарев Ю.В. // Под редакцией Зыкова В.И. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – С. 645-647.
7. Абезгауз, Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам / Абезгауз Г.Г., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н. и др // М.: Воениздат, 1966. – С. 67-69.

---

О.В. Загора, Є.Є. Селеєнко, Д.Л. Соколов, А.Б. Фещенко

**Взаємозв'язок коефіцієнта готовності апаратури оперативного диспетчерського зв'язку з достатністю комплексу запасних технічних засобів при відновленні після відмов в умовах надзвичайної ситуації**

Отримані й проаналізовані вираз коефіцієнта готовності апаратури оперативного диспетчерського зв'язку після відмов в умовах надзвичайної ситуації. установлений взаємозв'язок між коефіцієнтом готовності й забезпеченістю апаратури комплектом запасних технічних засобів, зроблений імовірнісний розрахунок достатності елементів у комплекті запасних технічних засобів для відновлення й ремонту телекомунікаційної апаратури оперативного диспетчерського зв'язку в умовах надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** оперативна диспетчерська зв'язок, надзвичайна ситуація, запасні технічні засоби, відновлення апаратури.

O.V. Zakora, Y.Y. Seleenko, D.L. Sokolov, A.B. Feshchenko

**The relationship of the coefficient of readiness of equipment operational control communication with the sufficiency of the set of spare technical resources when recovering from failures in emergency situations**

Obtained and analyzed the expression of the coefficient of readiness of equipment operational dispatch communication after failures in emergency situations. the relationship between the availability and security of equipment spare set of technical tools that were produced by the probabilistic adequacy calculation of elements in the set of spare technical means for rehabilitation and repair of telecommunication equipment of operative-dispatch communication in emergencies.

**Keywords:** operational dispatch communication, emergency situation, replacement hardware, restoration hardware.

*А.В. Загора, к.т.н., доцент, ст. преподаватель, НУГЗУ,  
Е.Е. Селеенко, преподаватель, НУГЗУ,  
Д.Л. Соколов, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
А.Б. Фещенко, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

**ВЫБОР МАЛОГАБАРИТНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ  
ПОРТАТИВНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО  
ИЗМЕРИТЕЛЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА**  
(представлено д-ром техн. наук Чубом И.А.)

Разработаны рекомендации по выбору портативной антенны радиолокационного измерителя толщины льда при обеспечении безопасности ледовых переправ в районе чрезвычайной ситуации, а также мероприятий по спасению людей на льду.

Ключевые слова: радар, лёд, измерения толщины льда, антенна радара.

**Постановка проблемы.** Большинство водоёмов Украины в течение холодного времени года покрыто льдом. Минимальное значение толщины льда, при котором обеспечивается безопасное преодоление человеком и лёгким автотранспортом ледяных переправ, составляет от 5 до 15 см. Определение толщины льда необходимо для поиска переправ, построения карт ледового покрова района чрезвычайной ситуации (ЧС) для организации поисково-спасательных работ и в других аналогичных ситуациях. Оперативное решение данных задач возможно при использовании портативных радаров – радиолокационных станций подповерхностного зондирования (РЛСПЗ), установленных на автомобилях, беспилотных летательных аппаратах (БЛА) либо выполненных в переносном (носимом) варианте. Поскольку возможности таких измерителей в значительной степени определяются свойствами и характеристиками применяемых антенных систем, выбор малогабаритной антенны портативного радиолокационного измерителя является актуальной задачей при разработке (выборе) и моделировании эффективности функционирования подобных систем.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [1] предложено методическое обеспечение и пример работы системы мобильного мониторинга, имеющей в составе БЛА, при оценке характеристик ЧС.

В работе [2] исследована зависимость формы зондирующего сигнала на точность радиолокационных измерителей толщины льда; отмечен, в частности, относительно узкий (примерно от 25 до 200 МГц) диапазон радиопрозрачности льда.

В [3] дана классификация льдов, основанная на динамике вод,  
Выбор малогабаритной антенны для портативного радиолокационного  
измерителя толщины льда

размере водной поверхности и ходе развития ледяного покрова, исследованы возможности бесконтактных оперативных измерений толщины льда с помощью многофункционального портативного радара.

В работе [4] проведено обоснование требований к энергетическому потенциалу РЛСПЗ и основным характеристикам зондирующих сигналов. Показано, в частности, что мощности передатчика в 1 Вт может быть достаточно для выполнения соответствующих измерений на высоте до 500 м.

**Постановка задачи и ее решение.** Рынок антенных систем в настоящее время предлагает значительное количество измерительных антенн отечественных и зарубежных фирм-производителей, отличающихся по своему предназначению, диапазону рабочих частот, и представляющих широкий спектр конструктивных решений. Обычно производители в технической документации указывают конкретное назначение и технические условия, требованиям которых соответствует та или иная антенна. Интерес для специалистов представляет выбор наиболее эффективной антенны при её минимальной стоимости.

Говоря об эффективности измерительная антенна, следует четко обозначить цели и условия, в которых антенна будет применяться. В случае измерения толщины льда мобильным радиолокационным измерителем возрастает роль как собственно электрических, так и тактических характеристик прибора (вес, габариты, ветровое сопротивление и др.). Выбирая диапазон антенны необходимо учитывать, что особенностью современных портативных радаров является использование в качестве зондирующего сигнала коротких импульсов без несущей частоты, обладающих свойствами широкополосных сигналов [3]. Направленность антенны также может существенно влиять на энергетический потенциал РЛСПЗ [4]

$$N_{дБ} = 10 \log(P_{прд}/P_{прм}) \approx 17 + 20 \lg(H) - 20 \lg(n) - 10 \lg(K) \approx \approx 17 + 20 \lg(H) - 10 \lg(K), \quad (1)$$

где  $P_{прд}$  – мощность зондирующего сигнала;  $P_{прм}$  – чувствительность приёмника;  $K$  – коэффициент направленного действия (КНД) антенны;  $n \approx 1$  – средний коэффициент отражения;  $H$  – высота полёта.

Видим, что повышение КНД антенны позволяет компенсировать потери энергетического потенциала, вызванные увеличением высоты измерений, ограничением мощности передатчика, что особенно важно в условиях жестких ограничений веса РЛСПЗ при размещении на БПЛА. Особенностью рассматриваемого случая является также то, что антенна должна сочетать в себе направленные свойства с максимально возможной широкополосностью.

Из теории антенных систем известно, что эффективность антен-

ны находится в прямой зависимости от ее геометрических размеров. Коэффициент усиления  $G$  антенны по отношению к ненаправленному (изотропному излучателю) определяется по формуле [5]

$$G \approx \frac{4\pi S}{\lambda^2}, \quad (2)$$

где  $S$  – эквивалентная площадь антенны;  $\lambda=c/f$  – длина волны ( $c$  – скорость распространения радиоволн,  $f$  – частота) принимаемого сигнала.

Из формулы (2) видно, что чем больше эквивалентная площадь антенны, тем больше коэффициент ее усиления. Так, ширина главного лепестка диаграммы направленности связана с линейными размерами следующим приближенным соотношением

$$\Delta\Theta \approx \frac{50\lambda}{l}, \quad (3)$$

где  $\Delta\Theta$  – ширина главного лепестка ДНА по уровню  $-3$ дБ, град;  $l$  – линейный размер эквивалентной площадки в плоскости измерения ДНА.

Преобразовав (3), получим

$$l \approx \frac{50\lambda}{\Delta\Theta} = 50 \frac{c}{f \cdot \Delta\Theta}. \quad (4)$$

Отсюда следует, что для антенны с шириной ДНА в горизонтальной плоскости  $60^\circ$  эквивалентная площадка будет иметь размер по горизонтали 0,25 м для частоты 1 ГГц, а для частоты 100 МГц – уже 2,5 м. Размеры антенны обратно пропорциональны частоте применяемого сигнала и определяются данной частотой.

Еще одним важным фактором, определяющим эффективность антенны, является коэффициент полезного действия (КПД). В общем случае коэффициент усиления антенны является произведением КНД антенны и её КПД  $\mu$

$$G=K \cdot \mu. \quad (5)$$

Поэтому недостаточно выбрать антенну с большой эквивалентной площадью, надо еще всю энергию, падающую на данную площадь, с минимальными потерями доставить ко входу приёмо-передатчика, к которому подключена антенна.

В таблице 1 приведены характеристики некоторых конструкций антенн, отвечающих предъявляемым требованиям [6-8].

**Табл. 1. Основные характеристики широкополосных антенн**

Название (конструкция)	Рабочий диапазон	Коэффици- ент стоячей волны	Габарит- ные раз- меры	Коэффициент усиления, дБи, ДНА
антенна Вивальди "Антрад-10"	0,6-8 ГГц	2,5	325 x 200 x 1.5 мм	до 13
Веерная антенна	40-300 МГц	1,4-1,7		1,5 - 2
Широкополосная зиг- загообразная антенна	выше 1 ГГц, 50-55% от $F_{cp}$	2		7 дБи, ширина ДНА 70° на 90°

Видим, что, например, по коэффициенту усиления существенным преимуществом обладают антенны, разработанные на основе конструкции Вивальди. В то же время такие параметры, как КПД, вес и другие из тактической группы в значительной степени определяются материалами и технологиями, используемыми производителем при их изготовлении. Поэтому окончательное решение о соответствии конструкции и характеристик антенны предъявляемым требованиям должно приниматься по результатам натурных полевых испытаний предлагаемых образцов.

**Выводы.** Мониторинг толщины ледового покрова необходим для предотвращения чрезвычайных ситуаций на воде. Применение портативного радара для измерений толщины льда требует выбора антенн, используемых локатором, по совокупности технических и эксплуатационных параметров. Окончательный вывод о целесообразности использования выбранной конструкции антенн может быть принят в ходе практических исследований её эффективности в реальных условиях эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кирочкин А.Ю. Использование системы мобильного мониторинга с беспилотным летательным аппаратом для оценки характеристик выброса опасной химического вещества / А.Ю. Кирочкин, А.А. Левтеров // Сборн. научн. трудов: Проблемы чрезвычайных ситуаций». – Х.: НУГЗУ. – № 15. – 2012. – С. 72. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol15/Kirochkin.pdf>.

2. Оганесян А.Г. Влияние формы зондирующего сигнала на точность радиолокации слоистых сред. [Электронный ресурс] / А.Г.Оганесян, И.Б.Чайковский // Журнал радиоэлектроники. – 2001. – № 7. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/alt/aug01/5/text.html>.

3. Многофункциональный портативный радар для измерения толщины льда. [Электронный ресурс] / Топольский Н.Г., Симаков В.В.,

Зеркаль А.Д., Серегин Г.М., Мокшанцев А.В., Агеев С.В. // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 1 (14). – Режим доступа: <http://uwbs.ru/wp-content/uploads/Статья-АГПС-МЧС.pdf>.

4. Оганесян А.Г. О возможности создания орбитальной радиолокационной станции проникающего зондирования. [Электронный ресурс] / А.Г. Оганесян, И.Б. Чайковский // Журнал радиоэлектроники – 2000. – № 5. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/alt/may00/7/text.html>.

5. Донцов В. Выбор широкополосных измерительных антенн в целях контроля эффективности защиты информации. [Электронный ресурс] / Донцов В. // Jet Info – 2008. – № 9. – Режим доступа: <http://www.jetinfo.ru/stati/vybor-shirokopolosnykh-izmeritelnykh-antenn-v-tselyakh-kontrolya-effektivnosti-zaschity-informatsii>.

6. Сверхширокополосные печатные, рупорные антенны для георадаров, датчиков, измерительные антенны. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ledomer.ru/antennas>.

7. Широкополосные антенны. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://radiowolna.narod.ru/shyr.html>.

8. Пат. 2373619 Российская Федерация. Широкополосная зигзагообразная антенна. [Электронный ресурс] / Бесков О.А. – Заявитель и патентообладатель Фед.гос.унитар.пред. «Центр. науч.-исслед. ин-т химии и механики2. – № 2373619. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/237/2373619.html>.

О.В. Загора, Є.Є. Селєнко, Д.Л. Соколов, А.Б. Фещенко

**Вибір малогабаритної антени для портативного радіолокаційного вимірювача товщини льоду**

Розроблено рекомендації щодо вибору портативної антени радіолокаційного вимірювача товщини льоду при забезпеченні безпеки льодових переправ в районі НС, а також заходів з порятунку людей на льоді.

**Ключові слова:** радар, лід, вимірювання товщини льоду, антена радара.

O.V. Zakora, Y.Y. Seleenko, D.L. Sokolov, A.B. Feshchenko

**Choosing a small-sized antenna for portable radar ice thickness measurer**

The recommendations on the choice of the portable radar antenna for measuring the thickness of ice at securing ice crossings in the area of emergency, as well as measures to save lives on the ice.

**Keywords:** radar, ice, ice thickness measurement, radar antenna.

*Е.В. Иванов, соискатель, НУГЗУ,  
А.Е. Васюков, д.х.н., профессор, НУГЗУ,  
В.М. Лобойченко, к.х.н., доцент, НУГЗУ,  
А.В. Плиско, курсант, НУГЗУ*

### **К ВОПРОСУ О СОСТАВЕ И КОЛИЧЕСТВЕ ГАЗОВ ПРИ ВЗРЫВЕ БОЕПРИПАСОВ НА СКЛАДАХ. СООБЩЕНИЕ 3. РУЧНЫЕ ГРАНАТЫ**

(представлено д-ром техн. наук Чубом И.А.)

Представлен качественный и количественный анализ ручных гранат, которые взорвались в результате чрезвычайной ситуации техногенного характера на территории военной части А0828 в г. Лозовая (2008 год). Оценено количество выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ, образовавшихся в результате взрыва взрывчатых веществ различных гранат и горения компонентов запалов.

**Ключевые слова:** взрывы боеприпасов, состав газа при горении пороха, химические загрязняющие вещества, загрязнение атмосферы, экологический ущерб.

**Постановка проблемы.** В период с 2000 года по 2015 год в европейской части бывшего СССР и на территории балканских стран было зафиксировано 73 чрезвычайные ситуации техногенного характера (ЧСТХ) с взрывами боеприпасов. За этот период средний рост подобных ЧСТХ составил 8 % в год, или количество ЧСТХ с взрывами боеприпасов возрастает на единицу каждые 12 лет [1]. Массовые взрывы боеприпасов на складах и военных базах приводят к образованию пылегазового облака, которое содержит большое количество загрязняющих веществ, в том числе ртуть, свинец и другие тяжелые металлы [2 - 5]. В работе [1] отмечен фактор масштабности явления, в результате которого малые свойства патронов для стрелкового оружия, где содержание ртути составляет 3 мг в капсуле патрона, увеличиваются в миллионы раз и превращаются в катастрофические свойства ЧСТХ с взрывами боеприпасов. Поэтому актуальным является анализ послеаварийного состояния артскладов на предмет оценки количества и состава выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ с целью минимизации последствий воздействия ЧСТХ на окружающую природную и социальную среды.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В Украине значительное количество работ по оценке химического загрязнения окружающей среды при авариях на складах боеприпасов выполнено



В.Л. Сидеренко и С.И. Азаровым с соавторами [2, 3]. В этих работах дана оценка выбросов в атмосферу оксида и диоксида углерода, диоксида серы, сажи или углерода, свинца и его соединений, меди, никеля, в частности, в результате ЧСТХ с взрывами боеприпасов в с. Новобогдановка Мелитопольского района Запорожской области (06.05.2004).

Две публикации посвящены последствиям ЧСТХ с взрывами боеприпасов на территории военной части А 0828 в г. Лозовая (2008 год) [4, 5].

В первом сообщении [4] представлена оценка количества выбросов в атмосферу газов и ртути после взрыва патронов для стрелкового оружия. Было показано, что в результате ЧСТХ на территории военной части А 0828 при уничтожении патронов для стрелкового оружия в атмосферу было выброшено около 1 миллиона м<sup>3</sup> газов и более 1500 кг ртути. Во втором сообщении [5] было подсчитано, что при уничтожении артиллерийских выстрелов в атмосферу было выброшено около 7 миллионов м<sup>3</sup> газов.

**Постановка задачи и ее решение.** Цель работы – получить характеристику состава газов, которые были выброшены в атмосферу в результате процессов горения и взрыва ручных гранат в период ЧСТХ с взрывами боеприпасов на территории военной части А 0828 в г. Лозовая (2008 год).

Во время пожара и взрывов боеприпасов на территории военной части А 0828 с 27 августа 2008 на протяжении нескольких дней в атмосферу выбрасывались загрязняющие вещества в виде газообразных продуктов горения компонентов различных боеприпасов. Большая часть боеприпасов была уничтожена, а для утилизации оставшихся боеприпасов потребовалось три года, что было выполнено в рамках Государственной целевой экологической программы [6].

Граната – взрывчатый боеприпас, который состоит из корпуса, заряда взрывчатых веществ и взрывателя (запала).

По назначению ручные гранаты делятся на:

1. Гранаты основного назначения (предназначенные для непосредственного поражения противника):

- противотанковые (фугасные, кумулятивные);
- противопехотные (осколочные, осколочно-фугасные, фугасные);

- зажигательные;

2. Гранаты специального назначения:

- дымовые;
- осветительные;
- сигнальные;
- светозвуковые;

- газовые и другие.

3. Учебные гранаты (имеют форму и вес боевой гранаты).

Анализ материальной части на территории склада военной части А0828 показал, что до ЧСТХ там хранилось около 2 228 000 ручных гранат общей массой около 2 100 тонн (табл. 1).

**Табл. 1. Характеристика ручных гранат на складе военной части А 0828 до и после чрезвычайной ситуации**

№. пп	Вид гранаты	Запал	Всего до ЧСТХ		Уничтожено		
			шт.	тонн	шт.	тонн	%
1	Ручная осколочная граната РГ-42	УЗРГМ	1975	1,58	1735	1,39	88,0
		УЗРГМ-2	16900	13,5	16860	13,5	100
		Без запала	19563	15,6	19563	15,6	100
2	Ручная граната дистанционная РГД-5	УЗРГМ	19411	13,5	18031	12,6	93,3
		УЗРГМ-2	314146	219,9	216186	151,3	68,8
		Без запала	7970	5,58	7970	5,58	100
3	Ручная граната наступательная РГН	УДЗ	646368	484,7	300571	225,4	46,5
4	Ручная противопехотная оборонительная граната Ф-1	УЗРГМ	179520	179,5	129688	129,7	72,3
		УЗРГМ-2	263413	263,4	70350	70,3	26,7
		Без запала	153700	148,0	153700	148,0	100
5	Ручная граната оборонительная РГО	УДЗ	444360	416,5	29686	27,8	6,7
6	Ручная кумулятивная граната РКГ	ЗЕМ	158002	316,0	126024	252,0	79,7
7	Реактивная противотанковая граната	РПГ-18 «Муха»	2089	12,5	483	2,9	23,2
		РПГ-22 «Нетто»	416	2,6	0	0	0
<b>Всего</b>			<b>2227833</b>	<b>2092,9</b>	<b>1090847</b>	<b>1056,1</b>	<b>50,5</b>

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что на территории военной части А0828 в г. Лозовая Харьковской области в 2008 году хранились разнообразные ручные гранаты, среди которых:

- ручные осколочные гранаты РГ-42;
- ручные гранаты дистанционные РГД-5;
- ручные гранаты наступательные РГН;
- ручные противопехотные оборонительные гранаты Ф-1;
- ручные гранаты оборонительные РГО;
- ручные кумулятивные гранаты РКГ;
- реактивные противотанковые гранаты РПГ-18 «Муха» и РПГ-22 «Нетто».

Следует отметить, что большая часть ручных гранат (50,5 %) была уничтожена в результате ЧСТХ на территории военной части А0828.

Для определения вида и количества взрывчатых веществ (ВВ) в ручных гранатах были использованы литературные сведения о ручных гранатах [7, 8]. На их основании была составлена табл. 2. Принимая во внимание, что количество уничтоженных РПГ составляло менее 0,05 % от общего количества взорвавшихся ручных гранат (см. табл. 1), в дальнейшем их вклад не учитывался.

Анализ данных табл. 2 показывает, что общая масса ВВ в уничтоженных ручных гранатах составила около 159,9 тонн. Если учесть, что общая масса уничтоженных ручных гранат оценена в количестве 1056,1 тонн (см. табл. 1), то среднее содержание (массовая доля) ВВ в исследованных ручных гранатах составляет  $(159,9 : 1056,1) \times 100 \% = 15,1 \%$ . Как было показано ранее для ЧСТХ на территории военной части А 0828 [5], среднее содержание ВВ в взорвавшихся артиллерийских выстрелах было определено в количестве 20 % масс.

Условно можно принять, что при взрыве (горении) 1 кг ВВ образуется около 1 м<sup>3</sup> газов [4]. Тогда в результате ЧСТХ со взрывами боеприпасов на территории военной части А 0828 при уничтожении ручных гранат в атмосферу было выброшено 159 900 м<sup>3</sup> газов, содержащих загрязняющие токсичные вещества.

**Табл. 2. Расчет массы взрывчатых веществ в уничтоженных ручных гранатах**

№ пп	Характеристика гранаты			Количество уничтоженных гранат, шт	Масса ВВ, кг
	Вид гранаты	ВВ	Масса, г		
1	РГ-42	тротил	120	38158	4 579
2	РГД-5	тротил	110	242187	26 641
3	РГН	гексоген	97	300571	29 155
4	Ф-1	тротил	60	353738	21 224
5	РГО	тротил	92	29686	2 731
6	РКГ	тротил	600	126024	75614
Масса ВВ					159944

В исследованных ручных гранатах используются различные взрыватели (запалы) (см. табл. 1).

Запал состоит из ударного механизма и собственно запала. Ударный механизм включает, как правило, ударник с винтовой боевой пружиной, спусковой (предохранительный) рычаг и предохранительную чеку с кольцом. Собственно запал включает капсюль-воспламенитель, замедлитель во втулке (пороховая мякоть, заполняющая центральный канал) и капсюль-детонатор.

С точки зрения поиска источников загрязняющих токсичных веществ наибольший интерес представляют капсули-воспламенители и капсули-детонаторы.

Капсюль-воспламенитель предназначен для создания первоначального теплового импульса. Основным элементом капсюля-воспламенителя является ударный состав, который представляет собой смесь гремучей ртути, ТНРС (тринитрорезорцинат свинца  $C_6H(NO_2)_3O_2Pb$ ) и антимония или смесь, аналогичную смеси для капсюля винтовочного патрона:

- гремучая ртуть  $Hg(ONC)_2$ ;
- антимоний  $Sb_2S_3$  (сурьма трехсернистая);
- бертолетова соль  $KClO_3$  (калий хлорат).

Масса ударного состава в различных капсюлях колеблется от 18 до 30 мг, в среднем составляет 20 мг. Ударный состав для винтовочных патронов содержит компоненты в пропорциях 16,7 : 27,8 : 55,5 % масс. [8]. С учетом молекулярной массы веществ можно вычислить, что в 20 мг ударного состава, т.е. в одном капсюле-воспламенителе запала типа УЗРГ, содержится 2,7 мг ртути и 4,0 мг сурьмы.

Капсюль-детонатор предназначен для создания первоначального детонирующего (взрывного) импульса. Капсюль-детонатор с алюминиевым корпусом состоит из ударного состава, азид свинца ( $Pb(N_3)_2$ ) - 0,2 г и ТНРС – 0,1 г. Капсюль-детонатор с медным корпусом состоит из ударного состава: гремучая ртуть – 0,5 г (0,41 г ртути).

В запалах типа УЗРГ применяется азидный капсюль-детонатор. С учетом молекулярной массы веществ можно вычислить, что в одном капсюле-детонаторе запала типа УЗРГ содержится около 200 мг свинца.

На основании данных табл. 1 можно сделать вывод, что в результате ЧСТХ на территории военной части А0828 было уничтожено запалов типа УЗРГ в количестве 452 850 штук.

Результаты расчета показывают, что во время ЧСТХ на территории военной части А 0828 за счет уничтожения запалов типа УЗРГ в атмосферу было выброшено:

- ртути:  $2,7 \cdot 10^{-6} \times 452\ 850 \approx 1,22$  кг;
- сурьмы:  $4,0 \cdot 10^{-6} \times 452\ 850 \approx 1,81$  кг;
- свинца:  $200 \cdot 10^{-6} \times 452\ 850 \approx 90,6$  кг.

Это значительно меньше, чем в результате уничтожения патронов для стрелкового оружия, когда в атмосферу было выброшено более 1500 кг ртути [4]. Но не следует приуменьшать потенциальную опасность хранения как ручных гранат с запалами, так и самих запалов. Если бы в исследованных ручных гранатах запалы имели медные капсули-детонаторы, в которых иницирующим ВВ является гремучая ртуть (0,5 г), то в атмосферу было бы выброшено:

- ртути:  $410 \cdot 10^{-6} \times 452\ 850 \approx 185$  кг.

Таким образом, наибольшую экологическую опасность в виде выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в случае ЧСТХ с взрывами ручных гранат представляют не сами гранаты, а их запалы, и особенно те, которые имеют медные капсулы-детонаторы, инициирующим ВВ в которых является гремучая ртуть.

**Выводы.** Для ЧСТХ с взрывами боеприпасов на территории военной части А 0828 найдено, что среднее содержание (массовая доля) ВВ в исследованных уничтоженных ручных гранатах составляет 15,1 %, а в артиллерийских выстрелах – 20 % масс.

В результате ЧСТХ на территории военной части А0828 от уничтожения ручных гранат в атмосферу было выброшено около 159 900 м<sup>3</sup> газов. За счет уничтожения запалов типа УЗРГ в атмосферу поступило: ртути – 1,22 кг; сурьмы – 1,81 кг; свинца – 90,6 кг.

Наибольшую экологическую опасность в виде выбросов в атмосферу загрязняющих веществ случае ЧСТХ с взрывами ручных гранат представляют не сами гранаты, а их запалы, и особенно те, которые имеют медные капсулы-детонаторы, инициирующим ВВ в которых является гремучая ртуть.

Полученные результаты подтверждают наличие фактора масштабности явления, в результате которого малые свойства ручных гранат - содержания ртути в капсуле-детонаторе, увеличиваются в сотни тысяч раз и могут увеличить катастрофические свойства ЧСТХ с взрывами боеприпасов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Е.В. Чрезвычайные ситуации с взрывами боеприпасов: закономерности возникновения и протекания / Иванов Е.В., Лобойченко В.М., Артемьев С.Р., Васюков А.Е. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Экология. – 2016. – № 1/10(79). – С. 26-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.59684>.

2. Сидоренко В.Л. Забруднення повітря і ризик рятувальників в умовах аварії на складі боеприпасів / В.Л. Сидоренко, В.І. Паламарчук, С.І. Азаров // Український журнал з проблем медицини праці. – 2005. – Вип. 3-4. – С. 35-38.

3. Азаров С.І. Оцінка хімічного забруднення довкілля в результаті аварії на складі боеприпасів у с. Новобогдановка Мелітопольського району Запорізької області (06.05.2004 р.) / С.І. Азаров, О.В. Святун, В.Л. Сидоренко, В.В. Токаревський // Гігієна населених місць. – 2005. – Вип. 46. – С.186-190.

4. Иванов Е.В. К вопросу о составе и количестве газов при взрыве боеприпасов на складах. Сообщение 1. Патроны для

стрелкового озброєння / Е.В. Иванов, А.Е. Васюков // Проблеми надзвичайних ситуацій. Збірник наукових праць НУЦЗ України. – Харків: НУЦЗУ. – 2015. – Вип. 21. – С. 30-37. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Ivanov.pdf>.

5. Иванов Е.В. К вопросу о составе и количестве газов при взрыве боеприпасов на складах. Сообщение 2. Артиллерийские выстрелы унитарного снаряжения / Е.В. Иванов, А.Е. Васюков, В.М. Лобойченко, С.П. Буштец // Проблеми надзвичайних ситуацій. Збірник наукових праць НУЦЗ України. – Харків: НУЦЗУ. – 2015. – Вип. 22. – С. 54 – 64. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Ivanov.pdf>.

6. Державна цільова екологічна програма ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на території військової частини А0828 (м. Лозова Харківської області) на 2011 – 2013 роки, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 9 березня 2011 р. № 237. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/237-2011-%D0%BF>.

7. Эпов Б.А. Основы взрывного дела. Пособие. – М.: Воениздат, 1974. – 265 с.

8. Дик В.Н. Взрывные вещества, пороха и боеприпасы отечественного производства. Часть 1. Справочные материалы. – Минск: «Охотконтракт», 2009. – 280 с.

9. Б.В. Прибылов. Ручные и ружейные гранаты / Б.В. Прибылов, Е. Н. Кравченко. – М.: «Арктика 4Д», 2008. – 776 с.

Є.В. Иванов, О.Є. Васюков, В.М. Лобойченко, А.В. Пліско

**Щодо питання про склад і кількість газів при вибуху боеприпасів на складах. Повідомлення 3. Ручні гранати**

Представлено якісний і кількісний аналіз ручних гранат, що вибухнули в результаті надзвичайної ситуації техногенного характеру на території військової частини А 0828 у м. Лозова (2008 рік). Оцінено кількість викинутих в атмосферу забруднюючих речовин, які утворилися в результаті вибуху вибухових речовин різних гранат і горіння компонентів запалів.

**Ключові слова:** вибухи боеприпасів, склад газу при горінні пороху, хімічні забруднюючі речовини, забруднення атмосфери, екологічний збиток.

E.V. Ivanov, A.E. Vasyukov, V.M. Loboichenko, A.V. Plisko

**On structure and amount of gases at explosion of ammunition in warehouses. Message 3. Hand grenades**

Presents qualitative and quantitative analysis of hand grenades that exploded as a result of man-made emergency in the territory of the military unit A0828 in Lozovaya (2008). Estimated amount released into the atmosphere of pollutants generated by the explosion of explosives of different grenades and burning fuses components.

**Keywords:** explosions of ammunition, gas composition during combustion of gunpowder, chemical pollutants, atmospheric pollution, environmental damage.

*Г.В. Іванець, к.ф.-м.н., доцент, НУЦЗУ,  
А.Ю. Бугайов, викладач, НУЦЗУ*

## **ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ**

(представлено д-ром техн. наук Чубом І.А.)

У статті розглянуто методику прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру на основі статистичних даних моніторингу кількості надзвичайних ситуацій за деякий період спостереження. Вхідну емпіричну основу для проведення розрахунків складають статистичні дані, які щорічно наводяться у Національних доповідях «Про стан техногенної та природної безпеки в Україні».

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, моніторинг, регресійна модель, прогноз.

**Постановка проблеми.** Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій (НС) є одним з основних завдань системи цивільного захисту України. Забезпечення безпеки у НС потребує надійного функціонування системи реагування на НС, адекватної рівням і характеру загроз [1-3].

Природно-техногенна ситуація в Україні залишається напруженою, а в ряді її складових і в окремих регіонах країни – загрозливою. Моніторинг природної та техногенної безпеки впродовж останніх років підтверджує, що в цьому аспекті набувають своєї практичної ваги питання прогнозування та запобігання НС. Без урахування даних моніторингу і прогнозування НС неможливо планувати розвиток територій, приймати рішення на будівництво промислових і соціальних об'єктів, розробляти програми і плани з попередження та ліквідації можливих НС.

Прогнозування є ключовим елементом задачі моніторингу, оскільки саме результати прогнозування мають вирішальне значення для обґрунтованого прийняття рішень.

Практика останніх років наочно показує сильний вплив на економіку України різноманітних НС техногенного характеру. Це вимагає системної діяльності щодо боротьби з ними та запобігання їх виникненню. Важливим аспектом цієї діяльності є завчасне прогнозування можливості виникнення і економічних наслідків подібних НС. Праці щодо прогнозування можливості виникнення НС техногенного характеру завжди були актуальними, але не завжди вирішувалися на достатньо високому рівні. Сучасний рівень їх вирішення також недостатньо високий. Тому розробка нових підходів і методик щодо прогнозування

можливості виникнення НС техногенного характеру може значно поліпшити дану ситуацію.

НС, підпорядковуючись об'єктивним і людським факторам виникнення, безупинно змінюються і насамперед це стосується форм і засобів подолання їх. В теперішній час для успішної роботи щодо подолання чи запобігання наслідків НС необхідно передбачити можливий майбутній перебіг тих чи інших негативних процесів, запропонувати інструменти і способи зміни ситуації в бажаному напрямку.

Успіх застосування сил і засобів Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС), операції щодо ліквідації і попередження НС залежить від спроможності відповідних керівників підрозділів знати реальну обстановку, передбачати її зміни, швидко приймати обґрунтовані рішення і своєчасно ставити задачі виконавцям.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В загальному випадку прогнозування розглядається як дослідницький і розрахунково-аналітичний процес, метою якого є одержання імовірнісних даних про майбутній стан і характер розвитку прогнозних явищ, стану і характеру визначальних параметрів функціонування систем чи об'єкту [4].

Важливим завданням моделювання НС є встановлення просторово-часових залежностей для інтенсивності вражаючих факторів. Ці залежності можуть бути задані за допомогою функцій розподілу ймовірностей виникнення небезпечних подій (НС) або функцій розподілу ймовірностей випадкових величин вражаючих факторів [5-6].

Часто надзвичайні події виникають із-за накопичення великої кількості незалежних випадкових факторів. В цих випадках у відповідності з центральною граничною теоремою [7] виникає нормальний розподіл часу очікування НС. Нормальний розподіл і розподіл Пуассона більш адекватно описує можливість виникнення НС внаслідок відмови технічних систем, що повторюються, з великим ступенем зносу, а степеневі розподіли характерні для доволі рідкісних стихійних лих і катастроф.

Аналіз літературних джерел показує, що в більшості для вирішення задачі прогнозу НС застосовується методи регресійного аналізу, в меншій мірі досліджено статистично - імовірнісні методи, які використовують дані за деякий період спостереження.

Прогноз можливої загальної кількості НС техногенного характеру у відповідності з основною гіпотезою про природу передбачення майбутнього має здійснюватися на основі вивчення, аналізу і узагальнення попереднього досвіду – історії передбачуваного явища. Такі дані щорічно наводяться в національних доповідях про стан техногенної та природної безпеки в Україні.

Метою статті є розроблення методики прогнозування НС техногенного характеру на основі попередніх статистичних даних.



**Постановка завдання та його ви рішення.** До НС техногенного характеру відносяться [2, 8]: транспортні аварії (катастрофи), пожежі, неспровоковані вибухи або їх загроза, аварії з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптові руйнування споруд і будинків, аварії на інженерних системах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічні аварії на греблях дамбах.

Основні причини НС техногенного характеру:

а) стихійні сили природи (землетруси, паводки, затори, заноси і т.д.);

б) дії людини (навмисні або не навмисні в діяльності робітників, які проектували і обслуговують небезпечні об'єкти);

в) вихід з ладу обладнання (зношення, відсутність або недостача мастил і т.п.).

Техногенні НС залежать від діяльності людини (проекування, конструювання, будівництва, експлуатації, обслуговування, ремонту, змащення, регулювання, випробування і таке інше).

Серед техногенних загроз найбільшу небезпеку для території та населення України становлять радіаційна, хімічна, пожежна та вибухова небезпеки. Крім того, серед НС техногенного характеру велику небезпеку становлять аварії на транспорті, системах життєзабезпечення та пожежі (вибухи) [9].

Аналіз моніторингу стану природно-техногенної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць (АТО) України показав [10], що до зони підвищеної переваги НС техногенного характеру входять Донецька, Сумська, Дніпропетровська, Луганська, Запорізька та Київська області, а процентне співвідношення НС техногенного характеру складає більше 54%, від усіх НС.

Прогнозування, оцінка і попередження НС можливі лише на основі моніторингу. На підставі аналізу статистичних даних моніторингу кількості НС техногенного характеру за 1997-2012 роки [11-17] зробимо прогноз кількості НС техногенного характеру в 2013 році. Розподіл НС техногенного характеру за 1997-2013 роки представлено на діаграмі (рис. 1).

Прогнозування НС техногенного характеру в цілому здійснимо на основі регресійної моделі. Регресійну модель будемо шукати у вигляді степеневого поліному третього ступеня [18]

$$n_{\text{ТХ}} = r_0 + r_1 t + r_2 t^2 + r_3 t^3, \quad (1)$$

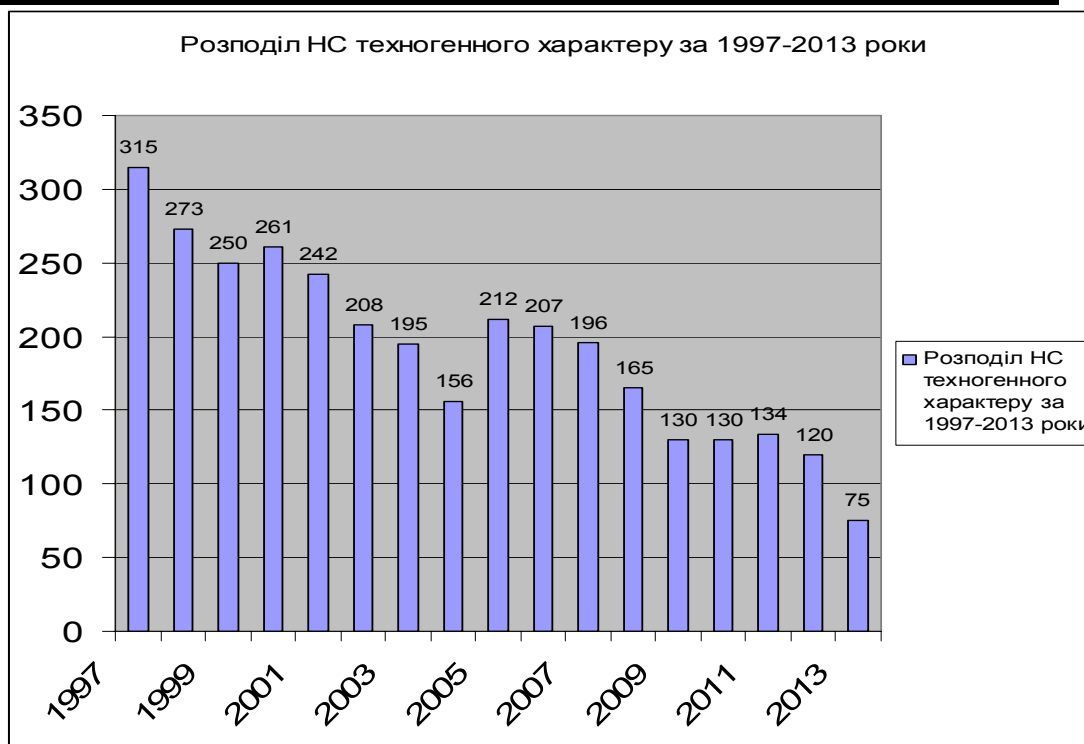


Рис. 1. Розподіл НС техногенного характеру за 1997-2013 роки

Коефіцієнти полінома знаходимо методом найменших квадратів (МНК) [19]

$$\bar{R} = (T^T \cdot T)^{-1} \cdot T^T \cdot \bar{Y}, \quad (2)$$

де  $\bar{R} = (r_0, r_1, r_2, \dots, r_k)^T$  – вектор коефіцієнтів поліному розмірністю  $(k \times 1)$ ;  $\bar{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^T$  – вектор вимірних значень кількості НС розмірністю  $(n \times 1)$ ;

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & 2^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & n & \dots & n^k \end{bmatrix} \text{ – матриця розмірності } (n \times k).$$

В результаті отримаємо наступні коефіцієнти поліному

$$\bar{R} = \begin{pmatrix} 342,7941 \\ -35,9884 \\ 3,1384 \\ -01134 \end{pmatrix}.$$

З врахуванням цього регресійну модель можна записати у вигляді:

$$n_{\text{ТХ}} = 342,7941 - 35,9894t + 3,1384t^2 - 0,1134t^3. \quad (3)$$

Тоді середнє прогнозне значення кількості НС в 2013 році складе:

$$n_{\text{ТХ}} = 342,7941 - 35,9894 \cdot 17 + 3,1384 \cdot 289 - 0,1134 \cdot 4913 \approx 81.$$

За статистичними даними знайдемо модуль середньої відносної похибки прогнозу

$$|\Delta| = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i|}{n} \approx 0,0833.$$

З врахуванням цього очікуване значення кількості НС буде знаходитися в інтервалі

$$74 \leq n_{\text{ТХ}} \leq 88.$$

Таким чином, за прогнозними даними в 2013 році можна очікувати від 74 до 88 НС техногенного характеру. Реально в Україні за 2013 рік спостерігалось 75 НС техногенного характеру.

**Висновки.** Запропонована методика прогнозування загальної кількості НС техногенного характеру на основі статистичних даних результатів моніторингу НС техногенного характеру. Для прогнозування НС техногенного характеру вибрана регресійна модель у вигляді степеневого поліному третього ступеню. Відносної похибки прогнозу в цьому випадку складає близько 0,08 (8%).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Емельянов В.М. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях / Емельянов В.М. – М., 2002. – С. 279-289.
2. Шоботов В.М. Цивільна оборона: Навчальний посібник. Вид. 2-е перероб / Шоботов В.М. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.
3. Кодекс цивільного захисту України (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 34-35, ст. 458.) [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
4. Шаптала В.Г. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций. Учебное пособие / Шантала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. // Белгород: 2010. – 166 с.

5. Самарский А.А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: Физматлит, 2002. – 320 с.

6. Михайлов Л.А. Чрезвычайные ситуации природного, техногенного и социального характера и защита от них / Л.А. Михайлов, В.П. Соломин. – СПб.: Питер, 2008. – 235 с.

7. Назаров А.А. Теория вероятностей и случайных процессов. Учебное пособие / А.А. Назаров, А.Ф. Терпугов. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 204 с.

8. ДК 019:2010. Класифікатор надзвичайних ситуацій. [Электронный ресурс] / Київ: Держспоживстандарт України, 2010. – 19 с. – Режим доступу: <https://yadi.sk/d/jnOZrL-88ipdv>.

9. Природні та техногенні загрози, оцінювання небезпек / Андронов В.А., Рогозін А.С., Соболев О.М., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. // – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2011. – 264 с.

10. Комплексні показники оцінювання стану природно-техногенної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України / Андронов В.А., Бабков Ю.П., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2010. – Вип. 12. – С. 9-20.

11. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. УНДІ ЦЗ ДСНС України. – Київ, 2013. – 542 с. – Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2013.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html).

12. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році. УНДІ ЦЗ ДСНС України. – Київ, 2013. – 384 с. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2012.html>.

13. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році. УНДІ ЦЗ ДСНС України. Київ, 2012. – 359 с. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2011.html>.

14. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році. МНС України. Київ, 2011. – 214с. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopov2010.html>.

15. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2009 році. МНС України. Київ, 2010. – 252с. – Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2009.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2009.html).

16. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році. МНС України. Київ, 2009. – 244 с. – Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2008.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2008.html).

17. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році. МНС України. Київ, 2008. – 226 с. – Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2007.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2007.html).

18. Ивахненко А.Г. Предсказание случайных процессов / А.Г. Ивахненко, В.Г. Лапа. – Киев: Наукова думка, 1971. – 404 с.

19. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов / Кремер Н.Ш. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 543 с.

Г.В. Иванец, А.Ю. Бугаёв

**Прогнозирование чрезвычайных ситуаций техногенного характера на основе статистических данных мониторинга**

В статье рассмотрена методика прогнозирования чрезвычайных ситуаций техногенного характера на основе статистических данных мониторинга количестве чрезвычайных ситуаций за некоторый период наблюдения. Входную эмпирическую основу для проведения расчетов составляют статистические данные, которые ежегодно приводятся в Национальных докладах «О состоянии техногенной и природной безопасности в Украине».

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, мониторинг, регрессионная модель, прогноз.

G.V. Ivanets, A.U. Bugaev

**Prediction of technogenic emergencies on the basis of statistical monitoring data**

In the article the technique of forecasting of emergency situations of technogenic character on the basis of statistical data for monitoring the amount of emergency for a period of observation. The input empirical basis for calculations up statistics that are annually in the national report «On the state of man-made and natural security Ukraine».

**Keywords:** emergency, monitoring, regression model, the forecast.

*Г.В. Іванець, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
І.О. Толкунов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
Є.І. Стецюк, викладач, НУЦЗУ*

## **МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗМІНИ УЗАГАЛЬНЕНИХ ПАРАМЕТРІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ**

(представлено д-ром техн. наук Тарасенком О.А.)

У статті розглянуто модель процесу зміни узагальнених параметрів надзвичайних ситуацій природного характеру з врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів, а також запропоновано алгоритм прогнозу їх на основі систематичної, періодичної та випадкової складових.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, узагальнений параметр, систематична складова, періодична складова, випадкова складова, метод попарного врахування аргументів.

**Постановка проблеми.** Сучасний період розвитку суспільства характеризується все більшими протиріччями між людиною і навколишнім природним середовищем. Вони приводять до виникнення стихійних лих, катастроф і надзвичайних ситуацій (НС), наслідки яких можуть бути жахливими.

До НС природного характеру відносять геологічні НС, метеорологічні НС, гідрологічні морські НС, гідрологічні прісноводні НС, пожежі в природних екологічних системах, інфекційні захворювання людей, масове отруєння людей, інфекційні захворювання сільськогосподарських тварин, масові отруєння сільськогосподарських тварин, масова загибель диких тварин, ураження сільськогосподарських рослин хворобами та шкідниками [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За статистикою в Україні за 1997-2013 роки виникло 6012 НС, з них 2215 НС, спричинених природними чинниками [2].

В теперішній час для успішної роботи щодо подолання чи запобігання наслідків НС необхідно передбачити можливий майбутній перебіг тих чи інших негативних процесів, запропонувати інструменти і способи зміни ситуації в бажаному напрямку. Одним із основних завдань є моделювання розвитку можливих негативних процесів і явищ при створенні тих чи інших умов. В умовах часткової невизначеності зв'язків між досліджуваними параметрами протікання негативних процесів і факторами, які впливають на них, виникає проблема вибору структури моделі, яка б якомога точніше описувала і пояснювала процеси на основі статистичних даних, і подальший її аналіз з метою прогнозу можливості виникнення НС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що ця проблему розглядалася доволі широко, особливо що стосується прогнозу виникнення пожеж в екосистемах, наприклад [3]. Однак недостатньо досліджена можливість прогнозу узагальнених параметрів процесу зміни НС природного характеру із врахуванням тенденцій їх періодичних змін.

**Постанова завдання та його вирішення.** Надзвичайна ситуація (НС) – обстановка на окремій території чи суб’єкті господарювання на ній або водному об’єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров’ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об’єкті, провадження на ній господарської діяльності [1].

Залежно від причин походження подій, що можуть зумовити виникнення НС на території України, визначаються такі види надзвичайних ситуацій: техногенного характеру, природного характеру, соціальні та воєнні рис 1. Процентне співвідношення НС по видам за 2007 – 2012 роки представлено на рис 1 ( 1 – НС техногенного характеру, 2 – НС воєнного характеру, 3 – НС природного характеру, 4 – НС соціального характеру) [2].

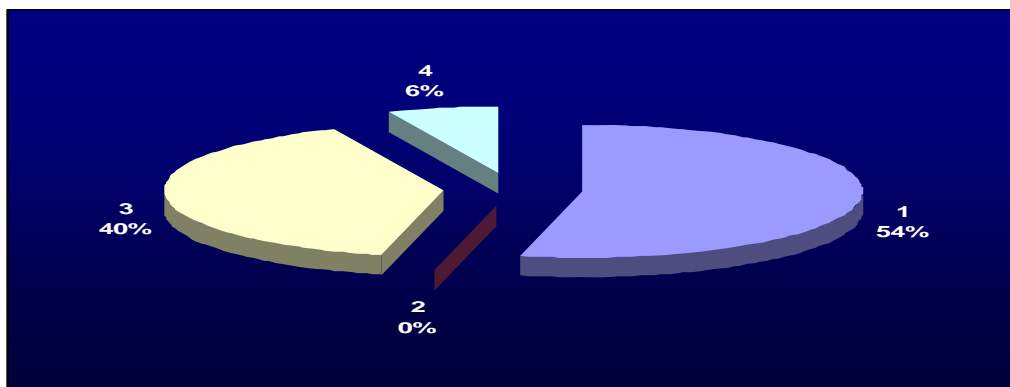


Рис. 1. Процентне співвідношення НС по видам за 2007 – 2012 роки

Аналіз діаграми показує, що більше 40% всіх НС складають НС природного характеру.

Серед НС природного характеру найбільшу небезпеку становлять пожежі в природних екосистемах, НС метеорологічного та медико біологічного характеру, процеси підтоплення, зсувні та карстові процеси, просідання лесових ґрунтів та комплексні гідрометеорологічні явища.

Виникнення НС природного характеру значною мірою залежить від перебігу погодних умов, які на території України мають значну мі-

нливисть. Контрастні погодні умови року, особливо зимово-весняного періоду (сильні снігопади, налипання мокрого снігу, хуртовини, снігові замети, сильні зливові дощі), нерідко призводять як до ускладнень в життєдіяльності населення, так і до виникнення НС гідрометеорологічного характеру. Найбільш характерними чинниками виникнення природних НС в Україні є стихійні явища метеорологічного, гідрологічного, геологічного, біологічного характеру, а саме: стихійні гідрометеорологічні явища, для яких характерна підвищена повторюваність, та небезпечні геологічні процеси; активізація зсувних процесів; розвиток провальних форм карсту; підтоплення; незбалансована та безсистемна господарська діяльність, отруєння та інфекційні захворювання людей і тварин. Причинами виникнення пожеж є збереження протягом тривалого періоду високих температур повітря при відсутності опадів. Пожежонебезпечний період триває протягом квітня-жовтня, а найбільша кількість пожеж фіксується у липні-серпні.

В якості узагальненого параметру процесу виникнення НС природного характеру будемо розглядати кількість НС природного характеру за деякий проміжок часу. Із врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів процес зміни узагальненого параметру доцільно представити у вигляді адитивної суми систематичної складової, яка характеризує незворотні процеси дрейфу параметрів, періодичної і випадкової складової:

$$N_{\text{НСПХ}} = C_{\text{НСПХ}} + P_{\text{НСПХ}} + B_{\text{НСПХ}}, \quad (1)$$

де  $N_{\text{НСПХ}}$  – кількість НС природного характеру за деякий проміжок часу (узагальнений параметр);  $C_{\text{НСПХ}}$  – систематична складова процесу зміни узагальненого параметру НС природного характеру;  $P_{\text{НСПХ}}$  – періодична складова процесу зміни узагальненого параметру НС природного характеру;  $B_{\text{НСПХ}}$  – випадкова складова процесу зміни узагальненого параметру НС природного характеру.

Така модель дозволить найбільш повно врахувати вплив всіх дестабілізуючих факторів на процес зміни узагальненого параметру НС природного характеру. Оцінка всіх трьох складових процесу зміни узагальненого параметру НС природного характеру дозволить не тільки здійснити прогнозування по кожній із них, але і глибше проаналізувати причини виникнення НС природного характеру.

Кількість НС природного характеру  $N_{\text{НСПХ}}$  за деякий проміжок часу уявляє нестационарний випадковий процес, який можна представити у вигляді суми систематичної (не випадкової)  $C_{\text{НСПХ}}$ , періодичної (не випадкової)  $P_{\text{НСПХ}}$  та випадкової  $B_{\text{НСПХ}}$  складових. Систематичну складову  $C_{\text{НСПХ}}$  будемо шукати у вигляді поліному ступеню  $k$  [4]



$$C_{\text{НСПХ}} = r_0 + r_1 t + r_2 t^2 + \dots + r_k t^k. \quad (2)$$

Ступінь поліному вибирається таким чином, щоб кількість заданих точок була в п'ять разів вище ступеня полінома. Коефіцієнти полінома можна знайти методом найменших квадратів (МНК) [5, 6]

$$\bar{R} = (T^T \cdot T)^{-1} \cdot T^T \cdot \overline{N_{\text{НСПХ}}}, \quad (3)$$

де  $\bar{R} = (r_0, r_1, r_2, \dots, r_k)^T$  – вектор коефіцієнтів поліному розмірністю  $(k \times 1)$ ;  $\overline{N_{\text{НСПХ}}} = (N_{1\text{НСПХ}}, N_{2\text{НСПХ}}, \dots, N_{n\text{НСПХ}})^T$  – вектор вимірних значень кількості НС природного характеру розмірністю  $(n \times 1)$ ;

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & 2^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & n & \dots & n^k \end{bmatrix} \text{ – матриця розмірності } (n \times k).$$

Систематичну складову можна записати у вигляді

$$\overline{C_{\text{НСПХ}}} = T \cdot \bar{R}. \quad (4)$$

Позначимо через  $\bar{Y} = \overline{N_{\text{НСПХ}}} - \overline{C_{\text{НСПХ}}} = \overline{\Pi_{\text{НСПХ}}} + \overline{B_{\text{НСПХ}}}$  випадковий процес, що містить суму періодичної та випадкової складових. Періодична функція  $\overline{\Pi_{\text{НСПХ}}}$  цілком визначається частотою  $w$  і значеннями коефіцієнтів ряду Фур'є [7]

$$\overline{\Pi_{\text{НСПХ}}}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cdot \cos(kwt) + B_k \cdot \sin(kwt)). \quad (5)$$

Приховану періодичність  $\overline{\Pi_{\text{НСПХ}}}$  буде знайдено, якщо визначені параметри  $w$ ,  $A_k$  і  $B_k$ .

Для виділення періодичних складових можна використовувати і різні перетворення вихідних функцій  $Y(t)$ , які посилюють роль періодичної компоненти в перетвореному процесі [7]. Усі подібні селекційні або сфокусовані перетворення можна поділити на два класи: лінійні перетворення і нелінійні перетворення. Застосування таких перетворень дає можливість виділити періодичну складову будь-якої частоти із заданого діапазону.

Слід відзначити, що вихідна функція може містити декілька періодичних складових. Кожну з виявлених періодичних складових можна екстрапольовати на довільний час випередження  $\Delta t$ . У випереджений час  $t + \Delta t$ , беручи суму екстрапольованих періодичних складових, дістаємо передбачене значення періодичної частини процесу.

Позначимо через  $\overline{V}_{\text{НСПХ}} = \overline{Y} - \overline{\Pi}_{\text{НСПХ}}$  випадкову складову процесу зміни узагальненого параметру НС і будемо розглядати її як стаціонарний випадковий процес з математичним очікуванням рівним нулю. В такому випадку для прогнозу випадкової складової можна використати метод групового врахування аргументів (МГВА), зокрема метод попарного врахування аргументів (МПВА) [4]. МПВА полягає в рекурентному вирішенні кількох систем нормальних рівнянь, складених для кожної пари аргументів і для нових допоміжних змінних. Наприклад, при наявності чотирьох аргументів можна користуватися не одним, а трьома майже однотипними поліномами

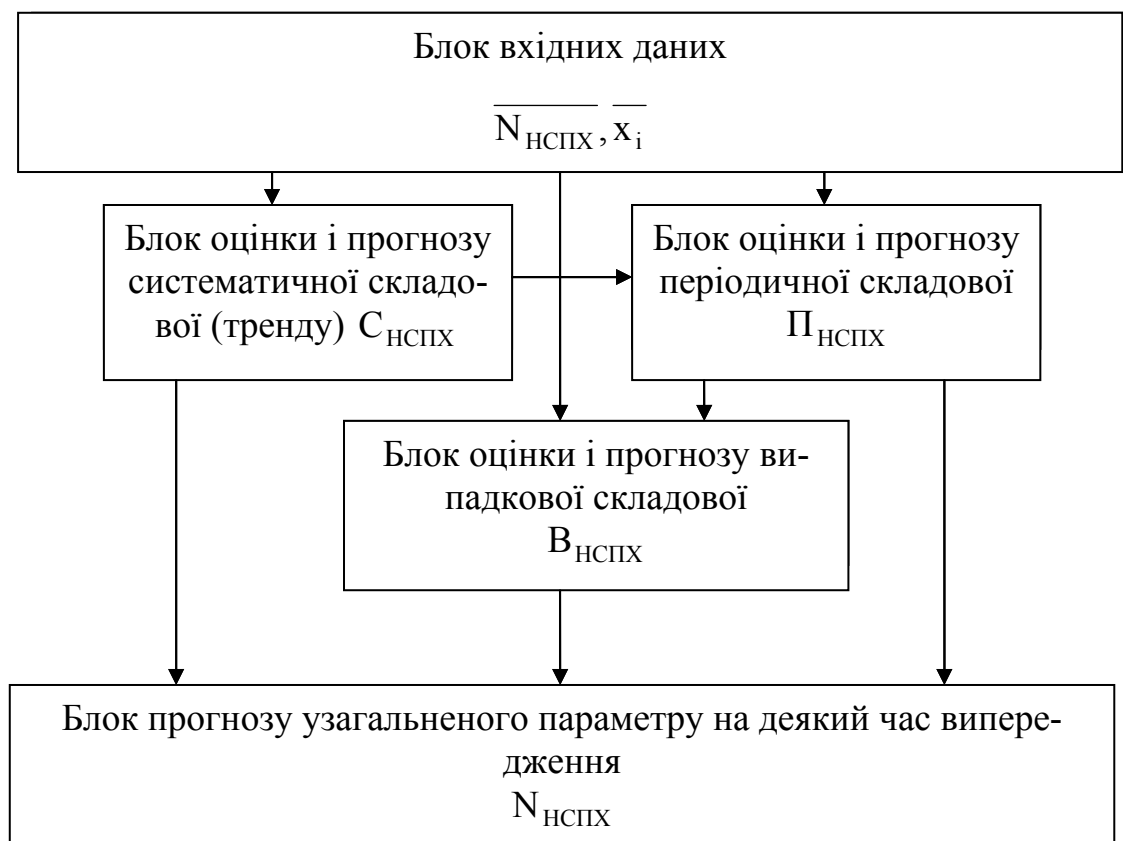
$$\begin{aligned} V_1 &= r_{01} + r_{11}x_1 + r_{21}x_2 + r_{31}x_1^2 + r_{41}x_2^2 + r_{51}x_1x_2; \\ V_2 &= r_{02} + r_{12}x_3 + r_{22}x_4 + r_{32}x_3^2 + r_{42}x_4^2 + r_{52}x_3x_4; \\ V &= r_0 + r_1V_1 + r_2V_2 + r_3V_1^2 + r_4V_2^2 + r_5V_1V_2. \end{aligned}$$

При обчисленні коефіцієнтів покладаємо  $V_1 = V$  і  $V_2 = V$ , а потім, знаючи коефіцієнти, знаходимо  $V_1$  і  $V_2$  як функції часу і використовуємо їх у результуючому третьому поліномі. Це дасть можливість різко підвищити точність з одночасним зменшенням об'єму обчислень.

Можливість оцінки і прогнозування складових випадкового процесу зміни узагальненого параметру зміни НС природного характеру дозволить збільшити точність прогнозу, а значить підвищити ефективність проведення заходів щодо їх запобігання або ліквідації можливих наслідків.

Алгоритм прогнозу узагальненого параметру процесу зміни НС природного характеру приведено на рис. 2.

До блоку вхідних даних надходять дані про значення узагальненого параметру за деякий проміжок часу  $\overline{N}_{\text{НСПХ}}$  і відповідні значення дестабілізуючих факторів  $\overline{x}_i$ . На основі цих даних в блоці оцінки і прогнозу систематичної складової (тренду) здійснюється прогноз систематичної складової на деякий час випередження, прогноз періодичної складової здійснюється відповідно в блоці оцінки і прогнозу періодичної складової, а випадкової складової – в блоці оцінки і прогнозу випадкової складової.



**Рис. 2.** Алгоритм прогнозу узагальненого параметру процесу зміни НС природного характеру

В блоці прогнозу узагальненого параметру обчислюються прогнозні значення його на деякий час випередження як сума прогнозних значень систематичної, періодичної та випадкової складових.

**Висновки.** Із врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів процес зміни узагальнених параметрів НС природного характеру доцільно представити у вигляді адитивної суміші систематичної складової, яка характеризує незворотні процеси дрейфу параметрів, періодичної і випадкової складових. Оцінка всіх трьох складових процесу зміни НС природного характеру дозволить не тільки здійснити прогнозування по кожній із них, але й глибше проаналізувати причини виникнення НС природного характеру.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Шоботов В.М. Цивільна оборона: Навчальний посібник. – Київ, 2004. – 438 с.
2. Національні доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні за 2007 – 2013 роки.

3. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними /А.М. Гришин. – М.: Наука, 1992.
4. Ивахненко А.Г., Лапа В.Г. Предсказание случайных процессов / Ивахненко А.Г., Лапа В.Г. – Киев: Наукова думка, 1977.
5. Джонсон Дж. Эконометрические методы. – М.: Статистика, 1980. – 444 с.
6. Иберла К. Факторный анализ / К. Иберла; пер. с нем. В.М. Ивановой. – М.: Статистика, 1980. – 398 с.
7. Серебренников М.Г. Выявление скрытых периодичностей / Серебренников М.Г., Первозванский А.А. // М.: Наука, 1965.

Г.В. Иванец, И.А. Толкунов, Е.И. Стецюк

**Модель процесса изменения обобщенных параметров чрезвычайных ситуаций природного характера**

В статье рассмотрена модель процесса изменения обобщенных параметров чрезвычайных ситуаций природного характера с учетом действия всех дестабилизирующих факторов, а также предложен алгоритм прогноза их на основе систематической, периодической и случайной составляющих.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, обобщенный параметр, систематическая составляющая, периодическая составляющая, случайная составляющая, метод попарного учета аргументов.

G.V. Ivanets, I.A. Tolkunov, E.I. Stetsyuk

**The process model parameters change generalized natural emergencies**

The article considers the model of change of generalized parameters of natural emergencies, taking into account the actions of all destabilizing factors, as well as an algorithm of the forecast on the basis of a systematic, periodic and random components.

**Keywords:** emergency, generalized parameter, the system-matic component periodic component, the random component-schaya, pairwise method of accounting arguments.

*S.Ya. Kravtsiv, teacher-methodologist, NUCDU,  
O.M. Sobol, DSc., Senior Research, NUCDU,  
A.V. Maksimov, lecturer, NUCDU*

## **THE ANALYSIS OF INTEGRAL RISKS ON THE TERRITORY OF UKRAINE**

This work conducts the analysis of the main integral fire risks on the territory of Ukraine. There is the identification of the administrative-territorial unit with a high level of these risks, as well as a comparison of specific indicators of the impact of the fires in Ukraine with similar indicators for other countries. It is noted that further research will be focused on the development of models of integrated management of fire risk with the aim of reducing the number and minimizing the socio-economic impact of fires.

**Keywords:** integrated fire risk, fire safety, risk management.

**Statement of the problem.** Increase of the degree of protection of the population and territories from emergency situations, reduction of risks and minimization of consequences of emergency situations of anthropogenic and natural character is one of the priority tasks of the unified state system of civil protection.

According to the results of the analysis of functioning of the unified state system of civil protection, the introduction of modern principles of regulation in the sphere of anthropogenic and natural security is slow in Ukraine [1]. Thus, there is an actual scientific and applied problem of the development of theoretical basics of risk management of emergency situations of anthropogenic and natural character and implementation of the risk-based approach of reducing the number and minimizing the socio-economic consequences of emergency situations, ensuring a guaranteed level of safety of citizen and society.

One of the tasks, solution of which will contribute to the solution of this problem, is the analysis of integral fire risks on the territory of Ukraine with the purpose of revealing of administrative-territorial units, for which the acute problem is of providing an adequate level of fire safety, identification of factors affecting the level of overall fire risks, and the management of these risks.

**Analysis of recent researches and publications.** The legal basis for the decision of risk management problems of emergency situations is the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 22.01.2014 №37-p, which approved the Concept for managing the risk of emergency situations of anthropogenic and natural character [1]. The paper substantiates the

necessity of the introduction of the conceptual bases of emergency situations risk management, the implementation of the Concept, solutions to problems, the principles of risk management, indicated normative levels of risk and identifies the expected results from the implementation of the Concept. However, there are problematic issues that require immediate solution for the practical implementation of the Concept of risk management of emergency situations of anthropogenic and natural character, including: the interpretation of the term "risk of emergency", the provision of risk classification, development of methods for assessment and regulation of risks and risk management techniques [2].

With regard to the definition of the term "risk", this question was studied, for example, in [3, 5, 6], directed to the study of integral fire risks, devoted to the scientific works of Professor M. M. Brushlinsky [7, 8,].

**Statement of the problem and its solution.** The aim of this work is the analysis of integral fire risks on the territory of Ukraine with the purpose of revealing the administrative-territorial units, for which the problem is the one of ensuring an acceptable level of fire safety.

First of all, let us consider the definition of the term "fire risk". According to [6], a fire risk is a quantitative characteristic of a possible implementation of fire hazard (and its effects), measured, typically, in appropriate units.

The management of fire risk – elaboration and implementation of complex activities (engineering, economic, social or other nature), which allows to reduce the value of this fire risk to a tolerable (acceptable) level.

An admissible fire risk – a fire risk, the level of which is valid and justified on the basis of socio-economic conditions.

In his research prof M. M. Brushlinsky detects local and integral fire risks [4, 5, 6]. Local risks characterize the dangers inherent to such objects as businesses, vehicles, etc. Integrated risk describes the complex threats such large and complex objects of protection as cities, regions, countries, and includes elements of buildings, infrastructures, various businesses, transport networks, etc., i.e. they take into account and "summarize" all local risks inherent to these systems.

Consider the basic integral fire risks:

1) the risk for humans to be in the fire for the year averagely, *fire/thousand of people·year*

$$R_1 = \frac{N_{\text{fire}}}{N_{\text{people}}}, \quad (1)$$

where  $N_{\text{fire}}$  – number of fires per year, *fire/year*;  $N_{\text{people}}$  – population number at the beginning of the year, *thousand of people*;

2) risk for a person to die in a fire (2), *victims/10 fire·year*

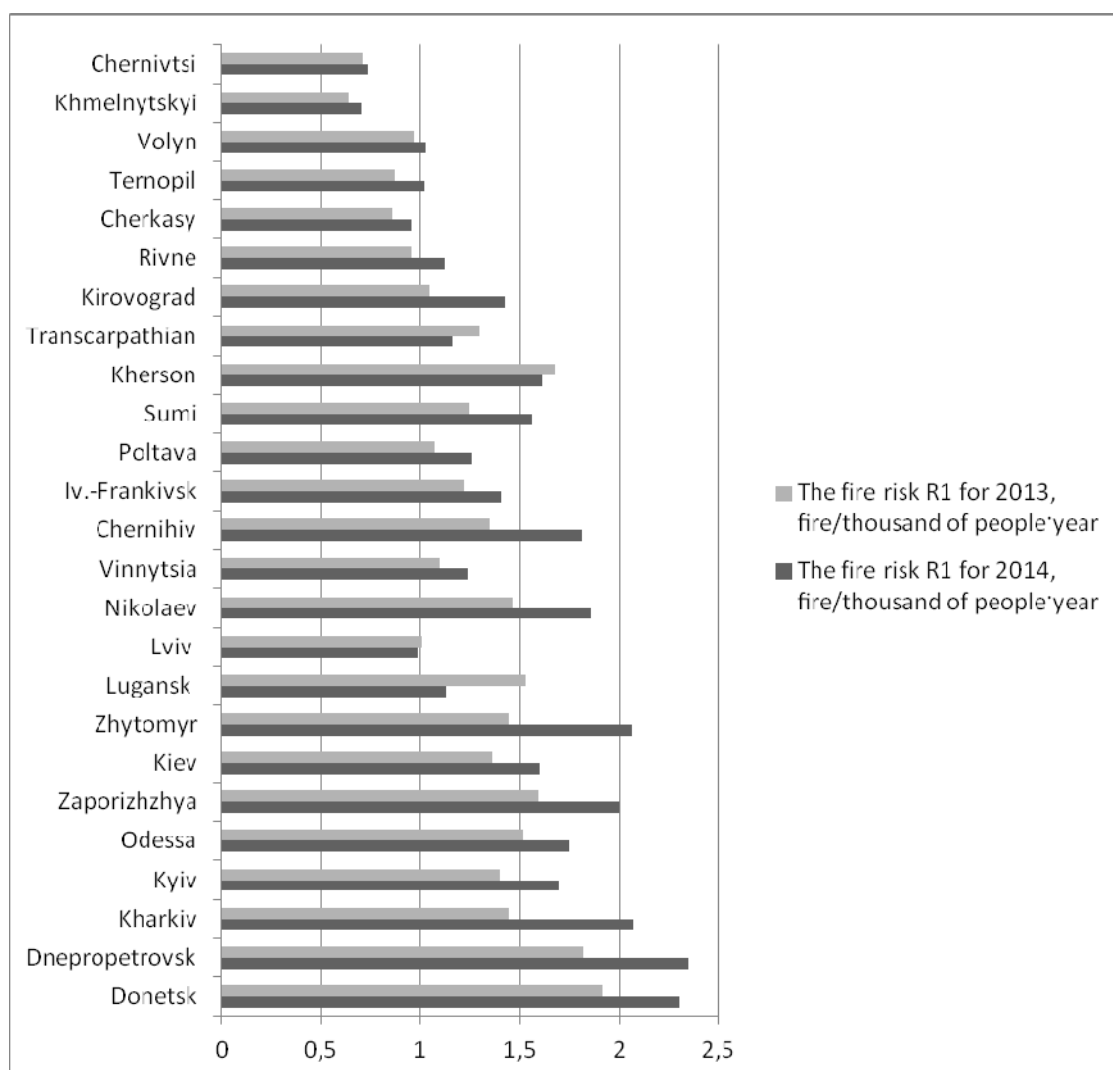
$$R_2 = \frac{10 \cdot N_{\text{victims}}}{N_{\text{fire}}}, \quad (2)$$

where  $N_{\text{victims}}$  – the number of victims per year, *victims/year*;

3) a person's risk of dying in a fire during the year (3), *victims/10 thousand of people·year*

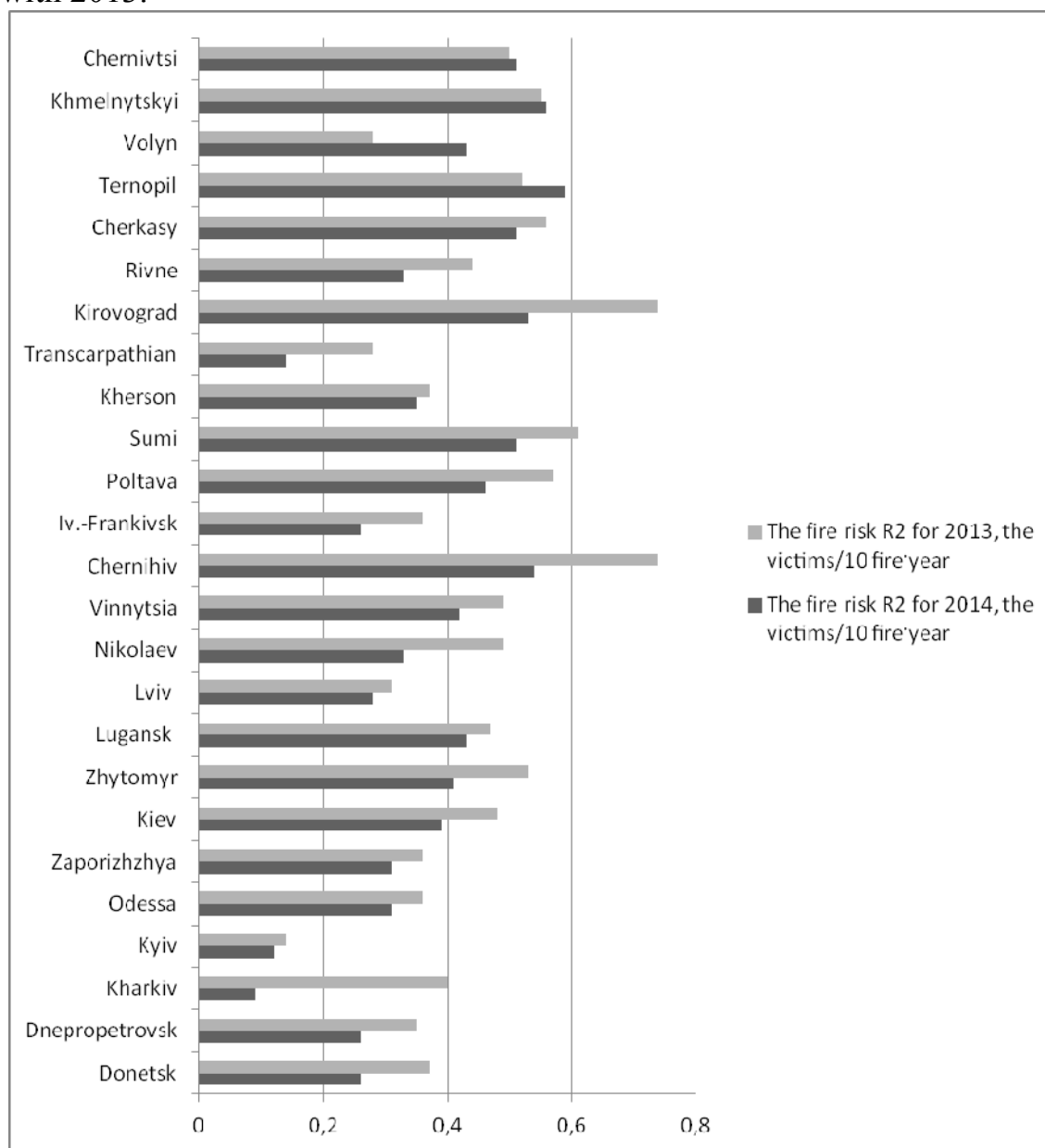
$$R_3 = \frac{10 \cdot N_{\text{victims}}}{N_{\text{people}}}. \quad (3)$$

On the basis of statistical information about the number of fires that occurred on the territory of Ukraine for 2013-2014, and their effects [4, 9], a calculation of main fire risks (1)-(3) was produced for the administrative-territorial units of Ukraine (Fig. 1-3).



**Fig. 1. Fire risk  $R_1$  for the feedback./thousand people a year**

The analysis of calculations of the integrated fire risk  $R_1$ , shown in Fig. 1, shows that the highest level of this risk is observed in Donetsk, Dnipropetrovsk, Kharkiv, Zhytomyr and Zaporizhzhya regions. Moreover, in 2014, there has been an increase in the level of the given risk compared with 2013.

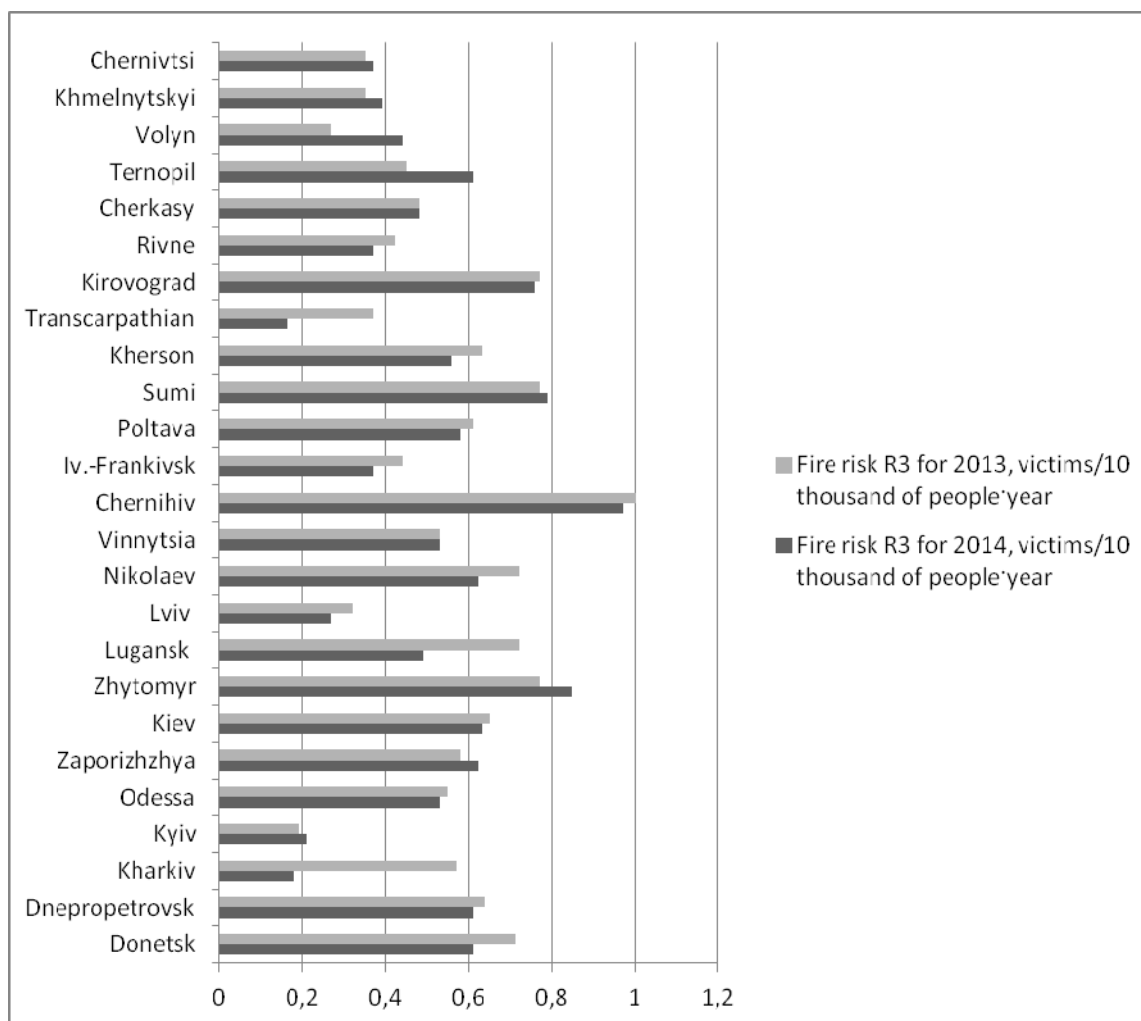


**Fig. 2. Fire risk  $R_2$ , victims/10 fire year**

With regard to the  $R_2$  integrated fire risk, according to Fig. 2, it can be concluded that the highest level of this risk is observed in Ternopil, Khmelnytskyi, Chernihiv, Kirovograd, Sumy, Chernivtsi and Cherkasy regions.

The highest level of the  $R_3$  integrated fire risk (Fig. 3) is recorded in Chernihiv, Zhytomyr, Sumy and Kirovohrad regions, indicating the presence of problems in ensuring an acceptable level of fire safety.





**Fig. 3. Fire risk  $R_3$ , victims/10 thousand of people · a year**

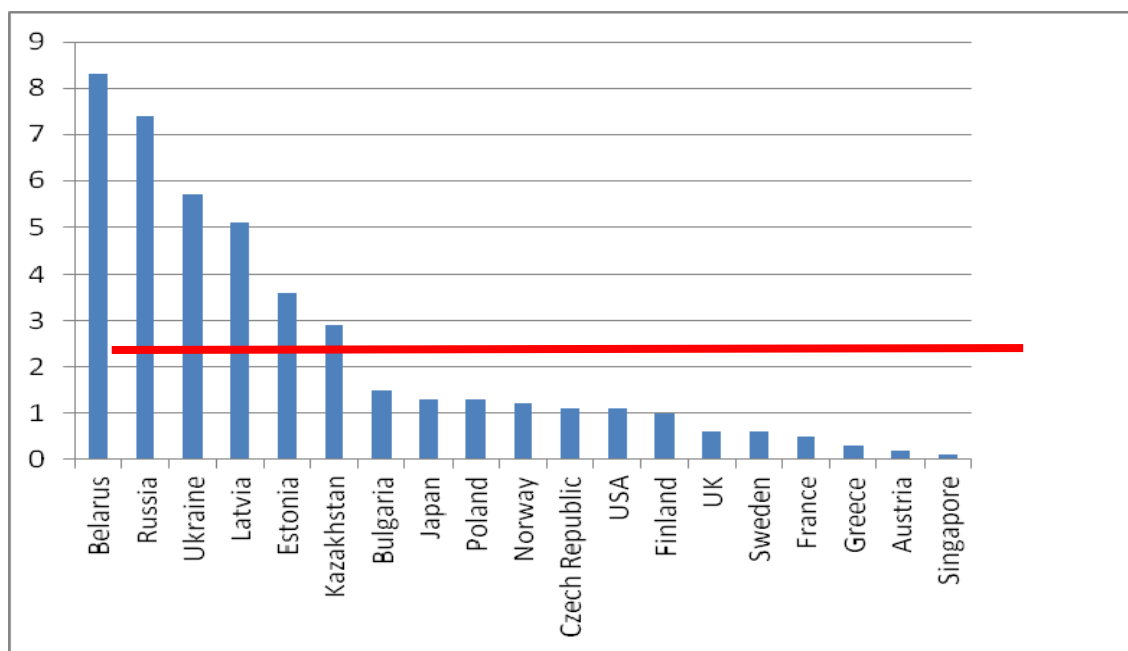
In order to conclude on the relevance and the need to develop models of integrated management of fire risks, a comparative analysis of the impact of the fires in Ukraine will be conducted, with the similar indicators of other countries.

The proportion of the number of deaths from fires per 100 thousand population in Ukraine is more than 2 times higher than the world average, which is 2.3 (Fig. 4).

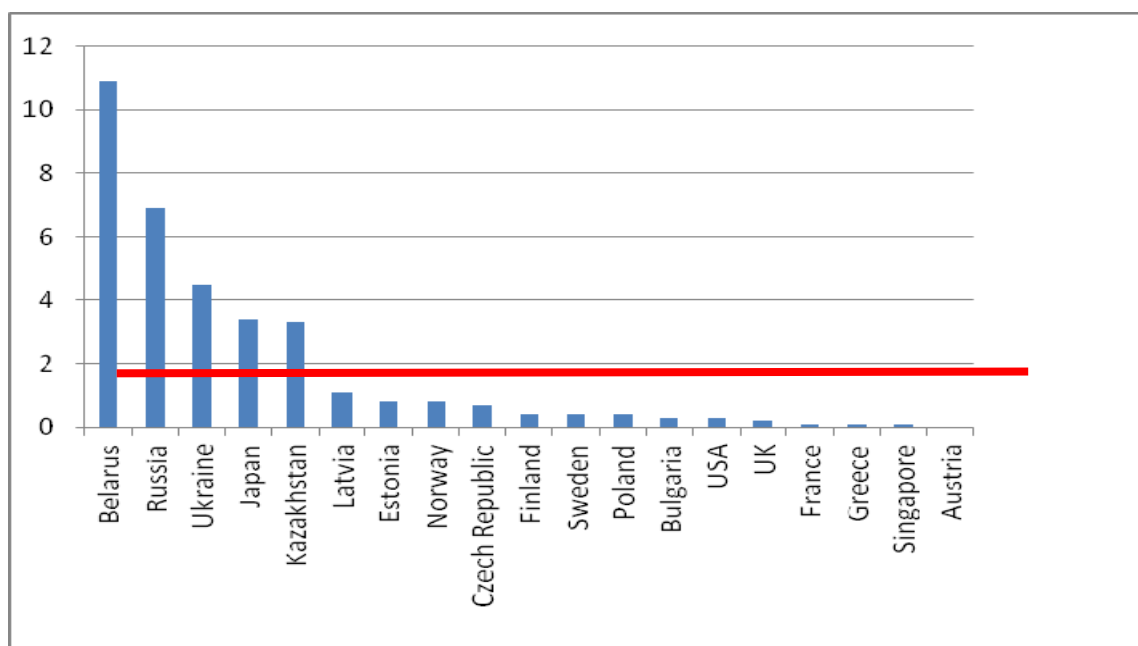
In Fig. 5 shows the average number of deaths per 100 fires for different countries of the world.

It is obvious that for Ukraine this indicator exceeds the world average more than twice, which is 1.9.

As for approaches to integrated fire risks management, the overall structure is given in figure [7]. However, there is currently no research regarding the substantiation of acceptable levels of risks taking into account existing socio-economic condition of our country and on the definition of "leverages" for reducing risks.



**Fig. 4. the Average number of deaths at 10<sup>5</sup> in 2014 year**



**Fig. 5. The Average death toll per 100 fires in 2014 year**

Thus, an actual and promising direction is the development of models of integrated fire risk management and their implementation at the regional level, taking into account the particularities of the respective administrative-territorial units of Ukraine.

**Conclusions.** In this work, the analysis of the main integral fire risks on the territory of Ukraine for 2013-2014 concluded that the greatest level of risk occurs on the territory of Zhytomyr, Kirovograd, Sumy and Chernihiv

regions, indicating the presence of problematic issues with respect to ensuring an acceptable level of fire safety. A comparative analysis of the impact of the fires in Ukraine was conducted with similar indicators in other countries. It is concluded that relevant indicators in Ukraine are more than twice higher than the world average, which indicates the need to develop models of integrated fire risks management.

Further research will be focused on the implementation of the classification of fire risks, identification of the main factors influencing the level of risks, development of methods for the determination of acceptable levels of integral fire risks and the management of these risks at the regional level.

## LITERATURE

1. The order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 22.01.2014 No. 37-R "On approval of the Concept of risk management of emergency situations of technogenic and natural nature" [Electronic resource] // Access mode: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-p>.

2. Sobol O. M. Problems in the implementation of the concept of risk management of emergency situations of anthropogenic and natural character / O.M. Sobol, A.V. Fedotov, I.Yu. Matveenکو // Problems of civil protection: management, prevention, rescue and special work: the collection of theses of the III all-Ukrainian scientific-practical conference (01-02 October 2015). – Kh.: NUCZU, 2015. – P. 37-38.

3. Terms and definitions of basic concepts: DSTU 2293-99. – [Valid from 2000.01.01]. – K.: State Standard Of Ukraine, 1999. – 22 p. – (national standard of Ukraine).

4. Ukrainian scientific-research Institute of civil protection, section (tab) analysis of array cards of the account of fires [Electronic resource] // Access mode: <http://www.undicz.mns.gov.ua/content/amkop.html>.

5. Kovalevich O.M. To the question about the definition of "risk" / Kovalevich O.M. – M.: VINITI, 2004. – P. 73-80 – (Problems of safety in emergency situations; rel. 1).

6. Brushlinsky N.N. On the concept of fire risk and related concepts / N.N. Brushlinsky, M.: FD VNIPO, 1999. – P. 83-85.

7. Brushlinsky N.N. Firefighters risks. Dynamics, management, forecasting / N.N. Brushlinsky. – M.: FD VNIPO, 2007. – 370 p.

8. Firefighters risks. Basic concepts / [brushlinsky N.N., Glucovance Y.M., Korobko V.B. the others]; edited by N.N. Brushlinsky. – [rel. 1]. – M.: VINITI, 2004. – 47 p.

9. State service of Ukraine for emergency situations [Electronic resource] // Access mode: [http://www.mns.gov.ua/content/national\\_lecture.html](http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html).

---

С.Я. Кравців, О.Н. Соболев, А.В. Максимов

**Анализ интегральных пожарных рисков на территории Украины**

В данной работе проведен анализ основных интегральных пожарных рисков на территории Украины. Выявлены административно-территориальные единицы с высоким уровнем данных рисков, а также проведено сравнение удельных показателей последствий пожаров в Украине с аналогичными показателями для других стран. Отмечено, что дальнейшие исследования будут направлены на разработку моделей управления интегральными пожарными рисками с целью уменьшения количества и минимизации социально-экономических последствий пожаров.

**Ключевые слова:** интегральный пожарный риск, пожарная безопасность, управление рисками.

С.Я. Кравців, О.М. Соболев, А.В. Максимов

**Аналіз інтегральних пожежних ризиків на території України**

У даній роботі проведено аналіз основних інтегральних пожежних ризиків на території України. Виявлено адміністративно-територіальні одиниці з високим рівнем даних ризиків, а також проведено порівняння питомих показників наслідків пожеж в Україні з аналогічними показниками для інших країн. Зазначено, що подальші дослідження будуть спрямовані на розробку моделей управління інтегральними пожежними ризиками з метою зменшення кількості та мінімізації соціально-економічних наслідків пожеж.

**Ключові слова:** інтегральний пожежний ризик, пожежна безпека, управління ризиками.

*В.И. Кривцова, д.т.н., профессор, НУГЗУ,  
Я.Ю. Кальченко, магистр, НУГЗУ,  
Ю.А. Абрамов, д.т.н., профессор, гл. научн. сотр., НУГЗУ*

## КОМПЛЕКСНЫЙ ДАТЧИК ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Приведены принципы построения и алгоритм работы комплексного датчика первичной информации системы мониторинга чрезвычайных ситуаций, обеспечивающего повышение точности измерения.

**Ключевые слова:** датчик первичной информации, система мониторинга, опасный фактор чрезвычайной ситуации.

**Постановка проблемы.** Эффективность функционирования системы мониторинга чрезвычайных ситуаций (СМЧС) во многом определяется совершенством технических характеристик ее датчиков первичной информации (ДПИ). Одной из проблем при этом является обеспечение требуемых метрологических характеристик таких датчиков, что может быть реализовано путем распространения методов технической кибернетики на процедуру синтеза ДПИ.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Основные принципы построения систем мониторинга чрезвычайных ситуаций рассматривалась в [1], где отмечается, что такие системы включают три подсистемы, одна из которых обеспечивает сбор, обработку и хранение информации о чрезвычайных ситуациях. Там же приведены сведения о ДПИ таких подсистем. Наиболее полная информация о ДПИ и их технических характеристиках СМЧС приведена в [2]. Следует отметить, что на пути совершенствования метрологических характеристик ДПИ таких систем еще не все возможности исчерпаны.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является обоснование возможности построения ДПИ СМЧС с улучшенными метрологическими характеристиками.

Рассмотрим комплексный ДПИ (КДПИ), который содержит  $N$  однотипных ДПИ, осуществляющих параллельное определение опасного фактора чрезвычайной ситуации  $x(t)$ . Выходные сигналы  $\theta_i(t)$  ДПИ суммируются с весами  $\alpha_i$ , т.е. выходной сигнал КДПИ определяется в соответствии с выражением

$$y(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \theta_i(t). \quad (1)$$

Весовые коэффициенты  $\alpha_i$  определим из условия обеспечения минимума математического ожидания величины квадрата погрешности, т.е.

$$\min M[\beta^2(t)] = \min M\left[x(t) - \sum_{i=1}^N \alpha_i \theta_i(t)\right]^2. \quad (2)$$

Представим погрешность  $\beta_i(t)$   $i$ -го ДПИ в виде ряда

$$\beta_i(t) = \beta_i[x(t)] = \alpha_{i0}(t) + \alpha_{i1}(t)x(t) + \dots + \alpha_{ik}(t)\frac{d^k x(t)}{dt^k} + \dots + \alpha_{im}(t)\frac{d^m x(t)}{dt^m}, \quad (3)$$

где  $\alpha_{ik}(t)$ ,  $k = \overline{0, m}$  – независимые между собой и от  $x(t)$  случайные функции, причем  $M[\alpha_{ik}(t)] = 0$ .

Выходные сигналы каждого ДПИ представим в виде

$$\theta_i(t) = x(t) + \beta_i[x(t)], \quad i = \overline{1, N}, \quad (4)$$

а выражение (2) с учетом (1) – в виде

$$M[\beta(x)]^2 = M[x^2(t)] - 2 \sum_{i=1}^N \alpha_i M[\theta_i(t), x(t)] + \sum_{i,j=1}^N \alpha_i \alpha_j M[\theta_i(t), \theta_j(t)]. \quad (5)$$

Оптимальное значение весовых коэффициентов  $\alpha_i$  определяется решениями задачи параметрической оптимизации, т.е. путем решения системы уравнений

$$\frac{\partial M[\beta(x)]^2}{\partial \alpha_i} = 0, \quad i = \overline{1, N}, \quad (6)$$

которую с учетом (5) можно записать следующим образом

$$\alpha_i M[\beta_i^2(x)] + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N \alpha_j M[\theta_i(t), \theta_j(t)] - M[x(t), \theta_j(t)] = 0, \quad i, j = \overline{1, N} \quad (7)$$

С учетом (3) эта система уравнений трансформируется к виду

$$\begin{aligned} & \alpha_i \left\{ M[x^2(t)] + 2M[\beta_i(x), x(t)] + M[\beta_i(x)^2] \right\} + \\ & + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N \alpha_j \left\{ M[x^2(t)] + M[\beta_i(x), x(t)] + M[\beta_j(x), x(t)] + M[\beta_i(x), \beta_j(x)] \right\} - \\ & - M[x^2(t)] - M[\beta_i(x), x(t)] = 0, \quad i, j = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (8)$$

Вследствие того, что  $M[\alpha_{ik}(t)] = 0$ , то будет иметь место

$$M[\beta_i(x), x(t)] = M[\beta_i(x)] = 0, \quad (9)$$

с учетом чего система (8) окончательно приобретает вид

$$\alpha_i \left\{ M[x^2(t)] + D_{\beta_i} \right\} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N \alpha_j \left\{ M[x^2(t)] + R_{\beta_i \beta_j} \right\} - M[x^2(t)] = 0, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad (10)$$

где  $D_{\beta_i} = M[\beta_i^2(x)]$  – дисперсия случайной функции  $\beta_i(x)$ ;  $R_{\beta_i \beta_j} = M[\beta_i(x), \beta_j(x)]$  – взаимная корреляционная функция случайных процессов  $\beta_i(x)$  и  $\beta_j(x)$ .

Система из  $N$  уравнений (10) служит для формирования алгоритма определения весовых коэффициентов  $\alpha_i$ , обеспечивающего функционирование КДПИ.

Рассмотрим частный случай, когда при построении КДПИ используются однотипные ДПИ. В этом случае имеет место

$$R_{\beta_i \beta_j} = 0, \quad D_{\beta_i} = D_{\beta}. \quad (11)$$

Тогда из (10) для  $\alpha_i = \alpha$  следует

$$\alpha = (N + n)^{-1}, \quad (12)$$

где  $n = \frac{D_{\beta}}{M[x^2(t)]}$  – параметр, определяющий соотношение между погрешностью ДПИ и величиной сигнала, несущего информацию об опасном факторе чрезвычайной ситуации.

Значение параметра  $\alpha$  будет соответствовать минимуму математического ожидания квадрата погрешности КДПИ

$$\min M[\beta_i^2(x)] = \frac{D_\beta}{N+n}. \quad (13)$$

Из (13) следует, что при  $n \rightarrow 0$ , т.е. для КДПИ, который реализован с использованием прецизионных ДПИ, погрешность определения опасного фактора чрезвычайной ситуации изменяется в  $\sqrt{N}$  раз.

На рис. 1 приведена графическая зависимость

$$\varphi(N, n) = \left[ \min M[\beta_i^2(x)] D_\beta^{-1} \right]^{0,5}, \quad (14)$$

которая характеризует возрастание точности определения опасного фактора чрезвычайной ситуации при использовании КДПИ по сравнению с использованием ДПИ. Фактически зависимость (14) отражает эффективность использования КДПИ.

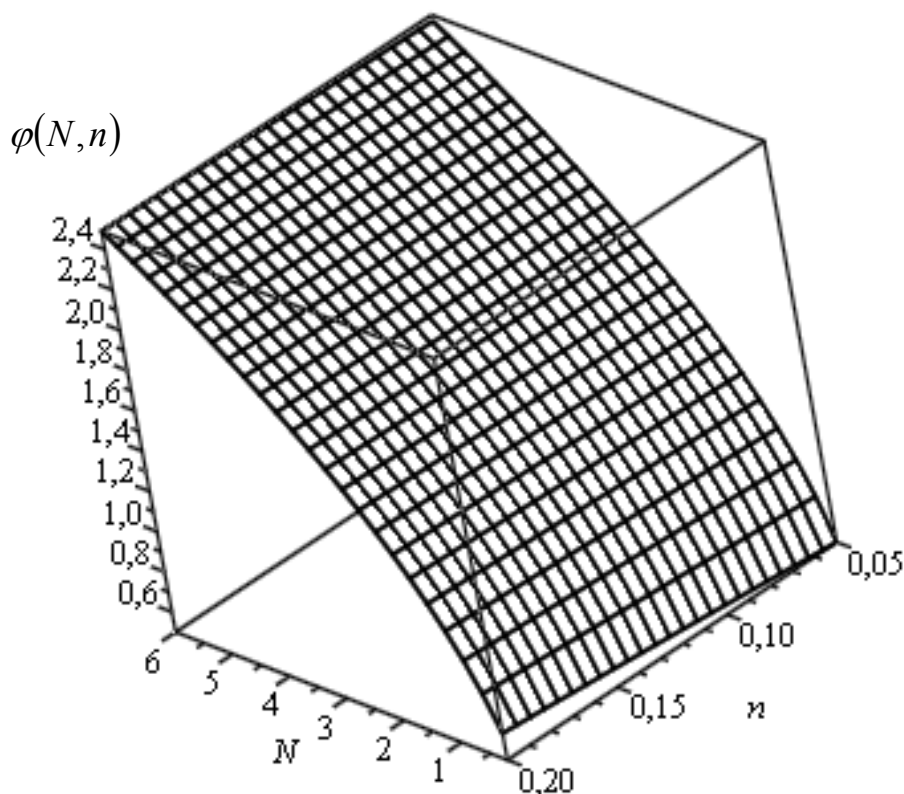


Рис. 1. К оценке эффективности КДПИ

Из анализа этой зависимости следует, что при  $0,05 \leq n \leq 0,2$  применение КДПИ, который включает от двух до шести однотипных ДПИ, обеспечивает увеличение точности определения опасного фактора чрезвычайной ситуации по сравнению с использованием одного ДПИ от 1,4 до 2,5 раз.



Эти результаты получены без учета надежности элементов КДПИ, в частности, ДПИ. Рассмотрим, каким образом влияет надежность ДПИ на точность определения опасного фактора чрезвычайной ситуации. В связи с этим будем полагать, что  $i$ -й ДПИ может находиться в двух состояниях – ДПИ исправен с вероятностью  $P_i$ , если его выходной сигнал описывается выражением (4), или ДПИ отказал с вероятностью  $1-P_i$ , если его выходной сигнал не зависит от входного сигнала  $x(t)$ .

Если КДПИ реализован на однотипных ДПИ, то  $D_{\beta} = D$ ,  $R_{\beta, \beta_j} = R$ ,  $P_i = P = \exp(-\lambda t)$ , где  $\lambda$  – интенсивность отказов ДПИ. Тогда, согласно (12) будет иметь место

$$\alpha = \frac{M[x^2(t)]}{[1 + (N-1)P]M[x^2(t)] + D + D_0P^{-1}(1-P) + P(N-1)R}, \quad (15)$$

где  $D_0$  – дисперсия выходного сигнала при отказе ДПИ.

С учетом (7) оптимальному весовому коэффициенту  $\alpha$  будет соответствовать минимум математического ожидания квадрата погрешности КДПИ

$$\alpha = \frac{M[x^2(t)]\{M[x^2(t)](1-P) + D + D_0P^{-1}(1-P) + P(N-1)R\}}{[1 + (N-1)P]M[x^2(t)] + D + D_0P^{-1}(1-P) + P(N-1)R}. \quad (16)$$

Пример. В качестве ДПИ используется датчик температуры, для которого  $\lambda^{-1} = 6 \cdot 10^{-4}$  час. Тогда  $P \approx 0,85$ . Пусть  $N=3$ ;  $DM[x^2(t)]^{-1} = 4 \cdot 10^{-2}$ ;  $D_0M[x^2(t)]^{-1} = 3,0$ ;  $R=0$ .

В этом случае выигрыш от учета надежности элементов КДПИ по показателю в виде дисперсии погрешности, составляет около 9%.

**Выводы.** Приведены принципы построения комплексного датчика первичной информации, ориентированного на измерение опасных факторов чрезвычайных ситуаций. В основе построения такого датчика лежит суммирование сигналов, поступающих от датчиков первичной информации, с весовыми коэффициентами, оптимальные значения которых являются решениями оптимизационной задачи параметрического типа.

Показано, что величина погрешности такого КДПИ снижается примерно в  $\sqrt{N}$  раз, а для малого числа ДПИ ( $N \sim 3 \div 4$ ) и при не очень больших вероятностях их безотказной работы ( $P \sim 0,7 \div 0,85$ ) – величина методической погрешности из-за неучета надежности ДПИ не превышает 10%.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Основы мониторинга и управления в условиях чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха и др. – Х.: АГЗУ, 2005. – 257 с.

2. Абрамов Ю.О. Моніторинг надзвичайних ситуацій / Ю.О. Абрамов, Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін та ін. –Х.: АЦЗУ, 2005. – 530 с.

В.І. Кривцова, Я.Ю. Кальченко, Ю.О. Абрамов

**Комплексний датчик первинної інформації системи моніторингу надзвичайних ситуацій**

Наведено принципи побудови та алгоритм роботи комплексного датчика первинної інформації системи моніторингу надзвичайних ситуацій, що забезпечує підвищення точності вимірювання.

**Ключові слова:** датчик первинної інформації, система моніторингу, небезпечний фактор надзвичайної ситуації.

V.I. Krivtsova, Y.Y. Kalchenko, Y.A. Abramov

**Integrated sensor primary information emergency monitoring system**

The principles of construction and operation algorithm integrated sensor extremely primary information system for monitoring situations in more accurate measurements.

**Keywords:** sensor primary information system for monitoring, hazard Emergency Situations.

*М.В. Кустов, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

## **ДОПОЛНЕНИЯ К МЕТОДИКАМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОН ХИМИЧЕСКОГО И РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ**

(представлено д-ром техн. наук Прохачем Э.Е.)

В работе проанализированы различные методы моделирования процессов абсорбции газов каплями дождя и гравитационной коагуляции радиоактивных аэрозолей. На основе разработанных ранее математических моделей рассчитаны поправочные коэффициенты для оценки размеров зон загрязнения при выпадении над зоной выброса атмосферных осадков. Полученные результаты сведены в таблицы для использования в методике прогнозирования зон загрязнения.

**Ключевые слова:** атмосферные осадки, зона химического загрязнения, зона радиационного заражения, абсорбция газа, осаждение аэрозоля, методика прогнозирования.

**Постановка проблемы.** При проектировании территории застройки химически опасных объектов и предприятий атомной энергетики относительно населенных пунктов и жилых массивов необходимым является оперативное прогнозирование зон возможного химического или радиоактивного заражения. Не мене важную роль играет и аварийное прогнозирование зон загрязнения при возникновении аварии на предприятии для правильной организации эвакуации населения и аварийно-спасательных работ. На размеры зоны химического и радиационного загрязнения влияют масштаб возникшей или прогнозируемой аварии, вид опасного вещества, выбрасываемого в атмосферу и метеорологические условия. Среди метеоусловий, кроме температуры воздуха, скорости и направления ветра, важную роль оказывает наличие и интенсивность осадков над зоной загрязнения. Исходя из этого, проблемой, подлежащей разрешению, является учет интенсивности атмосферных осадков над зоной чрезвычайной ситуации на размеры зон химического и радиационного загрязнения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Приказом № 73/82/64/122 от 27.03.2001 года утверждена «Методика прогнозирования последствий разлива (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте» [1]. Согласно данной методике при расчете размеров зоны химического загрязнения учитывается количество выброшенного химического вещества (хлор, аммиак, сернистый ангидрид сероводород, сероуглерод, соляная кислота, хлорпикрин, формальдегид), характер разлива (наличие или отсутствие обвалования), температура, направление и степень верти-

кальной стойкости воздуха. Методика расчета зон радиационного загрязнения при возникновении аварий на объектах атомной энергетики в Украине законодательно не утверждена. В практических подразделениях ГСЧС Украины при расчетах пользуются методикой 1988 года [2]. Данная методика, аналогично методике [1], из метеорологических факторов учитывает лишь температуру, направление и степень вертикальной стойкости воздуха. При этом известно, что атмосферные осадки способны эффективно сорбировать опасные химические и радиоактивные вещества и осаждают их из атмосферы [3-6]. Соответственно наличие осадков над зоной выброса может существенно уменьшить размеры зоны загрязнения и снизить затраты на проведение эвакуационных и аварийно-спасательных работ. Интенсивность очистки атмосферы осадками зависит от интенсивности осадков и физико-химических свойств осаждаемых веществ [7, 8]. В работе [9] проведен анализ моделей, описывающих процесс абсорбции газов каплями воды. Модель вымывания твердых аэрозольных частиц, которые являются основными носителями радионуклидов, рассмотрена в работе [10]. Однако, общей методике, позволяющей использовать теоретические результаты на практике, на данный момент не создано.

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является разработка дополнений к методикам прогнозирования зон химического и радиационного загрязнения территории с учетом возможных атмосферных осадков различной интенсивности.

В качестве объекта осаднения при возникновении химической аварии рассмотрим хлор и аммиак. Эти вещества при нормальных условиях находятся в газообразном виде и могут распространяться воздушными потоками на большие расстояния. Запасы хлора и аммиака на территории Украины достаточно велики (табл. 1), что повышает вероятность возникновения аварий. Также эти вещества относятся к первому классу опасности.

**Табл. 1. Запасы хлора и аммиака на предприятиях Украины [11]**

Опасное вещество	Количество на территории Украины, $10^3$ т	Среднесуточная ПДК [12], мг/м <sup>3</sup>
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	178,4	0,04
Хлор (Cl <sub>2</sub> )	9,8	0,03

Значительное количество аммиака обусловлено пролеганием по территории Украины Международного аммиакопровода Тольятти–Одесса и крупных предприятий химической промышленности в Донецкой, Луганской, Черкасской и Одесской областях. Большое количество хлора связано с наличием в каждой административно-территориальной единице водоочистных сооружений.

Сравнительный анализ радионуклидов, попавших в окружающую среду в результате аварий на атомных электростанциях в Чернобыле и в Фукусиме, проведен в работе [13]. Химический и количественный состав радионуклидов, выброшенных в атмосферу при этих авариях различен. В первую очередь это связано с различными типами ядерных реакторов, характером разрушения и составом ядерного топлива.

Большое количество тугоплавких элементов в выбросах при Чернобыльской аварии и практически их отсутствие при аварии в Фукусиме связано с тем, что при Чернобыльской аварии произошло разрушение активной зоны реактора с выбросом радиоактивного топлива. Кроме этого Чернобыльская авария характеризуется высокотемпературной стадией аварии, что привело к образованию дополнительного количества цезия. При аварии в Фукусиме выброса частей радиоактивного топлива и радиоактивного графита не произошло, а оплавленные топливные элементы скапливались в ловушке.

Большая часть радионуклидов находится в твердом состоянии в виде микрочастиц аэрозоля. Поэтому в плане исследования динамики очистки атмосферы от радиоактивных веществ целесообразно рассматривать не свойства отдельных радионуклидов, а свойства твердых микрочастиц аэрозоля, содержащих радионуклиды.

В зоне радиоактивного загрязнения от Чернобыльской аварии находится большое количество мелкодисперсных частиц оплавленного радиоактивного топлива, которые образовались в результате первого высокотемпературного взрыва и последующей стадии горения элементов реактора. Такие частицы называются «горячими частицами». Исследованию структуры топливных частиц посвящено много работ, например [14-16]. Горячие частицы представляют собой вкрапления частиц топливных элементов  $UO_2$  в оболочке высших оксидов урана и циркония –  $U_xO_y$ ,  $ZrU_xO_y$ .

Такие радионуклиды, как  $^{95}Zr$ ,  $^{95}Nb$ ,  $^{99}Mo$ ,  $^{141,144}Ce$ ,  $^{154,155}Eu$ ,  $^{137,139}Np$ ,  $^{238-242}Pu$ ,  $^{241,243}Am$ ,  $^{242,244}Cm$  были выброшены из аварийного блока только в составе топливных частиц. Более 90 % утечки активности  $^{89,90}Sr$  и  $^{103,106}Ru$  также приходилось на топливные частицы [18]. Дисперсный состав топливных частиц в первоначальных радиоактивных выпадениях на удалении (2 – 60) км от ЧАЭС описывается логнормальным законом распределения с медианным радиусом топливных частиц около 3 мкм [16].

Для Чернобыльской аварии характерен выброс большого количества радиоактивного графита. Степень накопления  $^{14}C$  в графите зависит от времени эксплуатации реактора. Для графита 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС удельная активность графита по радионуклиду  $^{14}C$  составляла  $10^7 - 10^8 Bq \cdot kg^{-1}$ . Учитывая то, что при Чернобыльской аварии в окружающую среду было выброшено более 800 тонн радиоак-

тивного графита, это представляет большую угрозу экологической безопасности региона. При этом часть графита в виде мелкодисперсного аэрозоля попала в атмосферу и воздушными потоками распространилась на большую территорию. Частицы графита, как высокопористого вещества, в своей структуре могут содержать и микрочастицы радиоактивного топлива и практически весь спектр радионуклидов. Поэтому под радиоактивным графитом следует понимать графитовый каркас с вкраплениями радиоактивных веществ, их оксидов и их оксидных комплексов.

Таким образом, при моделировании процесса осаждения радиоактивных веществ, в качестве объекта осаждения атмосферными осадками будем рассматривать твердые аэрозольные частицы оксидов урана, графита и пыли ( $\text{SiO}_2$ ).

Согласно методике [1] геометрические размеры зоны загрязнения определяются глубиной зоны загрязнения  $\Gamma$ :

– площадь зоны возможного химического загрязнения

$$S_{\text{звхз}} = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi; \quad (1)$$

– площадь прогнозируемой зоны химического заражения

$$S_{\text{пзхз}} = K \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2}, \quad (2)$$

где  $\varphi$  – коэффициент, который условно равняется угловому размеру;  $K$  – коэффициент, который зависит от степени вертикальной стойкости воздуха;  $N$  – время, на которое рассчитывается глубина зоны.

Площадь и ширина прогнозируемой зоны химического заражения зависит от степени вертикальной стойкости воздуха, которая в зависимости от отношения температур воздуха и поверхности земли разделяется на конвекцию, инверсию и изотермию. Облачная погода, при которой и выпадают осадки, согласно Методике, соответствует инверсии. Как видно из зависимостей (1), (2), размеры зоны заражения определяются её глубиной. Для простоты использования методики в практической деятельности значения глубины зоны химического заражения просчитаны для определённой скорости ветра и для конкретного химического вещества. Наличие осадков над зоной загрязнения учитывается путем введения поправочного коэффициента  $k$

$$\Gamma_{\text{осадки}} = \Gamma \cdot k. \quad (3)$$

Так как зона загрязнения может иметь протяженность до 100 км, то осадки могут выпадать не над всей зоной. Поэтому предложено разбить зону загрязнения на три участка (рис. 1), по области выпадения осадков.

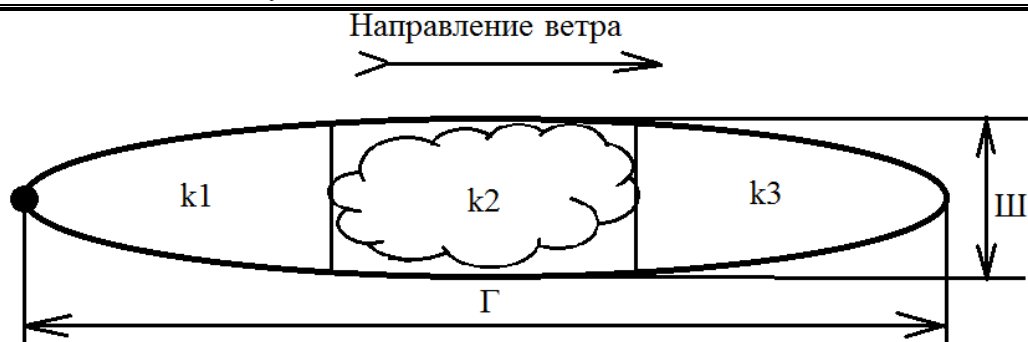


Рис. 1. Схема области загрязнения по зонам выпадения осадков:  $k_i$  – поправочные коэффициенты для конкретной зоны выпадения осадков

Тот же принцип заложен и в методике прогнозирования зон радиоактивного загрязнения. Единственное отличие заключается в методе определения ширины зоны загрязнения. Если в методике [1], для химического загрязнения ширина зоны рассчитывается на основе данных глубины зоны, то при оценке размеров зон радиоактивного загрязнения [2], ширина зоны уже приводится в вычисленном табличном виде.

Так как концентрация опасного вещества при удалении от очага выбросы снижается, то и поправочные коэффициенты различны по зонам. Осадки могут выпадать и в нескольких зонах (рис. 1) одновременно, при этом поправочные коэффициенты складываются

$$k = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3}. \quad (4)$$

Соответственно, при отсутствии осадков над определенной зоной, поправочный коэффициент для этой зоны равен единице. Разбивка на зоны позволит учесть неравномерность осадков по зоне загрязнения, при этом не усложняя методику прогнозирования.

Поправочные коэффициенты  $k_i$  рассчитывались из соотношения:

$$k_i = \frac{\Gamma'_{i(\text{осадки})}}{\Gamma}, \quad (5)$$

где  $\Gamma'_{i(\text{осадки})}$  – глубины зоны загрязнения при выпадении осадков над  $i$ -той зоной, рассчитанная с использованием моделей динамики осажде-ния загрязнений осадками.

Глубина зоны определяется как расстояние от источника выбро-са до точки, в которой концентрация опасного вещества достигает предельно допустимой концентрации (ПДК). Соответственно нам необходимо найти распределение концентрации опасного вещества по направлению ветра ( $C_g(x)$ ) с граничным условием

$$x = \Gamma, C_g(\Gamma) = C_{\text{ПДК}}.$$

Основным документом, регламентирующим рассеивание и определение приземных концентраций примесей из источников выбросов в Украине, является «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86». По данной методике и определяется начальное (до выпадения осадков) распределение концентраций по направлению ветра ( $C_g(x)$  и  $C_a(x)$ ). Методика ОНД-86 использовалась и для расчетов  $\Gamma$  и  $\Pi$  в методиках [1, 2]

$$\Gamma = \sqrt{153,4 + \frac{64 \cdot M \cdot \eta}{V \cdot C_{\text{ПДК}}}} - 12,5, \quad (6)$$

где  $M$  – интенсивность поступления опасного вещества в атмосферу;  $\eta$  – коэффициент, зависящий от рельефа местности (для горизонтальной поверхности  $\eta = 1$ );  $V$  – скорость ветра.

Ниже рассмотрим существующие подходы к описанию динамики осаждения газообразных и аэрозольных веществ жидким аэрозолем (в нашем случае дождем).

Кинетика абсорбции газа жидкими аэрозолями является достаточно сложной и многофакторной. На сегодняшний день существует три принципиально разных теоретических подхода к решению этой задачи. Эти подходы различаются уровнем точности решения, количеством затраченного необходимого расчетного времени, количеством входных данных и необходимостью предварительных экспериментальных исследований.

Наиболее широкое применение в практической деятельности для проектирования технологических процессов приобрела модель расчета процесса абсорбции с использованием теории подобия и, соответственно, критериальных уравнений [4]. Критерии подобия позволяют учесть большинство физико-химических особенностей процесса абсорбции. Однако конкретный вид критериального уравнения определяется для конкретной ситуации на основе большого массива экспериментальных данных и не всегда соответствует другим условиям процесса. Таким образом, метод расчета процесса абсорбции газов с использованием теории подобия является достаточно простым, однако имеет ограничения по области применения и значительную погрешность при варьировании условий процесса абсорбции.

Для повышения точности математического описания процесса абсорбции и универсальности расчетных методов в последнее время широкое распространение приобрели симуляционные модели.

При этом существует два различных подхода к построению моделей – кинетическая многослойная модель (kinetic multilayer model for gas–particle (KM-GAP)) [17] и модель расчета молекулярной дина-



мики (molecular dynamics (MD) simulations) [18, 19]. Модель MD працює на спеціальній платформі комп'ютерного розрахунку GROMACS з додатковою налаштуванням для розрахунку абсорбції рідкими аерозолями TP4P-Ew. В роботі [9] проведено порівняльний аналіз таких моделей і отримано високу ступінь збіжності результатів розрахунків. І хоча для більшості математических моделей в комплексах моделювання КМ-GAP і MD приймаються деякі допущення, спрощуючі розрахунок, дані моделі є на сьогоднішній день найбільш точними методами чисельного розрахунку швидкості абсорбції газу рідиною. При цьому більш широкий діапазон початкових параметрів дозволяє взяти до уваги кінетична багаторівнева модель.

Дана модель дозволяє визначити зміну концентрації газу в атмосфері через швидкість абсорбції  $V_{abs}$

$$\frac{dC_g(x)}{d\tau} = V_{abs}, \quad (7)$$

де  $C_g$  – концентрація газу в атмосфері;  $\tau$  – час.

Відповідно до [17] математическе вираження для швидкості абсорбції має наступний вигляд

$$V_{abs} = V_{col} \cdot \alpha \cdot K_{dif} \quad \text{або} \quad V_{abs} = V_{col} \cdot \alpha \cdot K_r \quad (8)$$

де  $V_{col}$  – швидкість взаємодії молекул газу з краплями води;  $\alpha$  – коефіцієнт, що визначає ймовірність поглинання молекул газу поверхнею крапель;  $K_{dif}$  – коефіцієнт, що визначає швидкість дифузії газу всередині краплі.

При протіканні хімічної реакції абсорбованого газу в об'ємі краплі коефіцієнт  $K_{dif}$  замінюється на  $K_r$  – коефіцієнт, що враховує дифузію молекул газу в краплі і швидкість хімічної реакції газу з рідиною.

Частота зіткнень молекул газу з краплями аерозолю в визначених умовах

$$V_{col} = k_{col} \cdot C_{drop} \cdot C_g(x), \quad (9)$$

де  $C_{drop}$  – концентрація водяних крапель в повітрі;  $k_{col}$  – коефіцієнт зіткнення, який визначається через коефіцієнт дифузії газу в повітрі  $D$  і розміри крапель дощу  $R$  [17].

З рівнянь (7-9) отримано кінцеву формулу для визначення  $\Gamma'_{i(осадки)}$  для газів

$$\Gamma'_{i(осадки)} = \sqrt{153,4 + \frac{64 \cdot k_{col} \cdot C_{drop} \cdot \tau \cdot M \cdot \eta}{n \cdot V \cdot C_{ПДК}}} - 12,5, \quad (10)$$

где  $n$  – коэффициент учета зоны выпадения осадков.

При условии нормального распределения выброса от источника:  
 $i=1 \rightarrow n=0,75$ ;  $i=2 \rightarrow n=0,36$ ;  $i=3 \rightarrow n=0,12$ .

Концентрация водяных капель ( $C_{\text{drop}}$ ) и их размер ( $R$ ) определяется интенсивностью осадков ( $I$ ), который и является основным определяющим критерием интенсивности осаждения химически опасных веществ.

Используя существующие теоретические модели динамики сорбции опасных веществ атмосферными осадками, дополним существующие методики расчета зон химического и радиационного заражения через 1 час выпадения осадков (табл. 1, 2).

Так как ширина зоны гораздо меньше её длины, то для расчета ширины зоны радиационного загрязнения разбивка на зоны нецелесообразна. Также для простоты использования методик и скорости прогнозирования поправочные коэффициенты приведены в рассчитанном виде с определенным шагом интенсивности осадков.

**Табл. 2. Поправочные коэффициенты для расчета глубины зоны химического загрязнения**

Интенсивность осадков, мм·ч <sup>-1</sup>	Аммиак			Хлор		
	k1	k2	k3	k1	k2	k3
0,25	0,83	0,91	0,95	0,89	0,96	0,98
0,5	0,69	0,77	0,83	0,76	0,83	0,90
1	0,57	0,68	0,76	0,64	0,72	0,81
5	0,46	0,56	0,65	0,57	0,62	0,73
10	0,38	0,47	0,58	0,49	0,57	0,68
20	0,33	0,42	0,51	0,42	0,51	0,59
30	0,27	0,36	0,44	0,37	0,44	0,52
40	0,24	0,32	0,39	0,31	0,39	0,46
50	0,21	0,27	0,35	0,28	0,32	0,38
70	0,15	0,21	0,28	0,22	0,26	0,32
100	0,11	0,14	0,22	0,18	0,22	0,25

**Табл. 3. Поправочные коэффициенты для расчета глубины и ширины зоны радиационного заражения**

Интенсивность осадков, мм·ч <sup>-1</sup>	Глубина зоны			Ширина зоны
	k1	k2	k3	
0,25	0,78	0,89	0,92	0,97
0,5	0,65	0,77	0,83	0,91
1	0,57	0,65	0,71	0,85
5	0,46	0,53	0,62	0,79
10	0,35	0,44	0,56	0,72
20	0,30	0,37	0,45	0,66
30	0,23	0,30	0,39	0,61
40	0,19	0,22	0,32	0,57
50	0,16	0,18	0,26	0,53
70	0,10	0,13	0,21	0,42
100	0,08	0,09	0,17	0,34

Как видно из табл. 2, 3 наибольшее влияние на снижение размеров зоны загрязнения оказывают осадки над очагом выброса, где в атмосфере присутствует максимальная концентрация опасных веществ.

Из анализа полученных результатов видно, что интенсивность очистки атмосферы от аммиака выше чем от загрязнений хлора, что объясняется более высокой растворимостью аммиака в воде. Также следует отметить, что наличие обильных осадков над зоной выброса химически опасных веществ позволяет уменьшить ее размеры более чем в 8 раз. При радиационном загрязнении интенсивность очистки атмосферы осадками еще выше за счет высокой интенсивности сорбции твердых аэрозольных частиц. И хотя осадки, интенсивностью более  $50 \text{ мм}\cdot\text{ч}^{-1}$ , над территорией Украины крайне редкое явление, дожди средней интенсивности снижают глубину зоны заражения более чем в 2 раза.

**Выводы.** В работе проведен расчет поправочных коэффициентов для определения размеров зон химического и радиационного загрязнения при выпадении осадков. С целью повышения точности прогнозирования зона загрязнения разбита на три участка возможного выпадения осадков. Полученные результаты представлены в виде таблиц, которые можно использовать в качестве дополнения к существующим методикам расчета размеров зон радиационного и химического заражения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Наказ МНС України, Мінагрополітики України, Мінекономіки України, Мінекології України від 27.03.2001 року № 73/82/64/122 «Про затвердження методика прогнозування последствий розлива (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте»: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0326-01/page>.

2. Методика по прогнозуванню и оценке радиоактивного загрязнения воздуха, почвы, водных объектов, а также возможных доз облучения в случае радиационных аварий на атомных станциях для различных вариантов метеорологических условий. – М.: Госкомгидромет. – 1988. – 100 с.

3. Алоян А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201 с.

4. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия. – 1976. – 656 с.

5. Greenfield S.M. Rain scavenging of radioactive particulate matter from the atmosphere. *Journal of Meteorology*. – 1957. – № 14, p. 115-123, doi:10.1175/1520-0469(1957)014.

6. Kim, Y.-H. Influence of radioactivity on surface charging and aggregation kinetics of particles in the atmosphere / Y.-H. Kim, S. Yiacoumi,

I. Lee, J. McFarlane and C. Tsouris // *Environ. Sci. Technol.* – 2014. – № 48, p. 182–189, doi:10.1021/es4047439.

7. Slinn W.G.N. Precipitation scavenging, in: *Atmospheric Science and Power Production*, edited by: Randerson, D. Tech. Inf. Cent., Off. Of Sci. and Tech. Inf U.S. Dep. Of Energy, Washington, D.C. – 1984. – p. 466–532.

8. Fuchs N. A. *The Mechanics of Aerosols*, Dover Publications. – 1989. – p. 457.

9. Julin J. Mass Accommodation of Water: Bridging the Gap Between Molecular Dynamics Simulations and Kinetic Condensation Models / J. Julin, M. Shiraiwa, R. Miles, J. P. Reid, U. Pöschl, I. Riipinen // *J. Phys. Chem. A.* – 2013. – № 117. – pp. 410 – 420.

10. Loosmore G. Precipitation scavenging of atmospheric aerosols for emergency response applications: testing an updated model with new real-time data / G. Loosmore, R. Cederwall // *Atmospheric Environment.* – 2004. – № 38, pp. 993 – 1003, doi:10.1016/j.atmosenv.2003.10.055.

11. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2013.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html).

12. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). ДСП 201-97. – [Діє від 1997-07-09]. – Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 201. – 43 с.

13. Steinhäuser G., Brandl A., Johnson T.E., 2014. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts, *Science of the Total Environment*, 470–471, 800–817, doi:10.1016/j.scitotenv.2013.10.029.

14. Ahamdach N. The Chernobyl pilot site project: isolation and microscopic characterisation of fuel particles. *Radioprotection-Colloques*, 2002. – № 37 (C1), pp. 1055 – 1060.

15. Kashparov V.A. Hot particles at Chernobyl. *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2003. – № 10 (1), pp. 21 – 30.

16. Kashparov, V.A. Formation of hot particles during the Chernobyl nuclear power plant accident / V.A. Kashparov, Yu.A. Ivanov, S.I. Zvarich, V.P. Protsak, Yu.V. Khomutinin, A.D. Kurepin, E.M. Pazukhin // *Nucl. Technol.* – 1996. – № 114, pp. 246 – 253.

17. Shiraiwa M. Kinetic multi-layer model of gas-particle interactions in aerosols and clouds (KM-GAP): linking condensation, evaporation and chemical reactions of organics, oxidants and water / M. Shiraiwa, C. Pfrang, T. Koop, U. Pöschl // *Atmos. Chem. Phys.* – 2012. – № 12. – pp. 2777–2794.

18. Takaharu T. Molecular Dynamics Studies on the Condensation Coefficient of Water / T. Takaharu, T. Tsuruta, G. Nagayama // *J. Phys. Chem. B.* – 2004. – № 108(5). – pp. 1736–1743.

19. Gilde A. Molecular Dynamics Simulations of Water Transport through Butanol Films / A. Gilde , N. Siladke and C. P. Lawrence // J. Phys. Chem. A. – 2009. – № 113(30). – pp. 8586–8590.

М.В. Кустов

**Доповнення до методики прогнозування зон хімічного і радіаційного забруднення території**

У роботі проаналізовані різні методи моделювання процесів абсорбції газів краплями дощу і гравітаційної коагуляції радіоактивних аерозолів. На основі розглянутих раніше математичних моделей розраховані поправочні коефіцієнти для оцінки розмірів зон забруднення при випадінні атмосферних опадів над зоною викиду. Отримані результати зведені в таблиці для використання в методиці прогнозування зон забруднення.

**Ключові слова:** атмосферні опади, зона хімічного забруднення, зона радіаційного забруднення, абсорбція газу, осадження аерозолу, методика прогнозування.

M.V. Kustov

**Additions to areas forecasting techniques chemical and radioactive contamination of the territory**

The paper analyzes simulation methods to the description of gases absorption processes in raindrops and gravitational coagulation of radioactive aerosols. On the basis of mathematical models calculated correction factors to estimate the size of the pollution zones with the precipitation over the area. The results are tabulated for use in the methods of zones of contamination.

**Keywords:** atmospheric precipitations, chemical pollution, area pollution, the gas absorption, aerosol deposition, the method of predicting.

*О.М. Ларін, д.т.н., професор, НУЦЗУ,  
Є.М. Грінченко, к.т.н., доцент, докторант, НУЦЗУ,  
Д.Л. Соколов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
Р.М. Федоренко, к.т.н., заст. нач. НПРЧ, НУЦЗУ*

## **ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ РЕЗЕРВУАРУ З НАФТОПРОДУКТОМ ПРИ ВИНИКНЕННІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ**

(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Проведено порівняльний аналіз двох різних методів оцінки індивідуального ризику від пожежі резервуару з нафтопродуктом. Доведено збіжність результатів оцінки ризику, отримані різними методами. Підтверджено адекватність розроблених моделей.

**Ключові слова:** резервуар, нечітка логіка, індивідуальний ризик, алгоритм Мамдані, методи оцінки ризику.

**Постановка проблеми.** Небезпеки і ризику, що виникають в ході життєвого циклу резервуару, визначаються дією чинників, різноманітних за своєю природою. Крім чинників, здатних безпосередньо викликати аварійну ситуацію, існують певні поєднання чинників, нешкідливих окремо і здатних у сукупності спричинити аварійну ситуацію.

Кожна аварійна ситуація може виникнути по відношенню до певної жертви – об'єкту ризику. Співвідношення об'єктів ризику і небажаних подій дозволяє розрізняти індивідуальний, технічний, екологічний, соціальний та економічний ризику. Кожен вид його обумовлюють характерні джерела та фактори ризику, класифікацію і характеристику яких наведено в [1, 2].

У зв'язку з цим важливою проблемою щодо систем оцінки ризику є визначення методів, за допомогою яких створюються алгоритми при прогнозуванні ризику пожежі в резервуарі з нафтопродуктом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковими дослідженнями з питань визначення рівня ризику при зберіганні нафтопродуктів в резервуарних парках займалися відомі вчені – Акімов В.А. [1, 2], Елохин А.Н. [3], Басманов А.Е. [4], Козлитин А.М. [5], Владимиров В.А. [6]. та ін. Аналіз їх праць свідчить на недостатню увагу питанням, що пов'язані із визначенням ризику виникнення пожеж і інших надзвичайних ситуацій при експлуатації резервуарів, та порівнянню різних методів визначення таких ризиків.

**Постановка завдання та його вирішення.** При оцінці ризику, як ймовірно-статистичними методами [7], так і з використанням нечітких систем [8] будемо використовувати однакові вихідні дані, зокрема, одну і ту ж середньостатистичну частоту розгерметизації резервуара для зберігання ЛЗР.

Умовні ймовірності ураження модельованої аварії представлені в табл. 1.

**Табл. 1. Умовні ймовірності ураження**

Маса ЛЗР, що бере участь у вибуху, кг	Приведена маса, кг	Надлишковий тиск $\Delta P$ , кПа	Імпульс хвилі тиску $i$ , Па	«Пробіт» функція, $P_r$	Умовна ймовірність ураження
2000	1570	100	502,2	6,327747	91%
1000	785	100	397,8	5,764251	78%
800	628	100	369,7	5,587116	72%
500	392	100	316,6	5,212199	58%

Ймовірність реалізації механізму впливу визначає, яким буде подальший розвиток модельованої аварії, які вражаючи чинники діятимуть на спорудження об'єкта і персонал. У даній роботі, в цілях наочності, враховуються середньостатистичні значення одного з її чинників – появи джерела запалювання. Умовна ймовірність згоряння з утворенням надлишкового тиску при утворенні пального газопароповітряних хмари і наступним його займанням для ЛЗР, якої є товарна нафта – 0,05 1/год [9].

Оцінка потенційного пожежного ризику на території розглянутого об'єкта за ймовірнісно-статистичною методикою проводилася з метою, що запропонована у [7], при використанні систем нечіткого виводу в них враховувалися три чинники: ймовірність аварії, ймовірність запалювання і ймовірність ураження [8]. Результати даних розрахунків представлені в табл. 2.

Представлені дані ілюструють збіжність результатів оцінки ризику за запропонованими системам нечіткого виводу, це свідчить про правильність побудови даних систем. А також, доводить можливість і правильність застосування математичного апарату нечіткої логіки до досліджуваної області. Крім того, наочно видно, що результати оцінки потенційного ризику традиційним і пропонувані методами мають однакові порядки чисел, це також говорить про правильність побудови нечітких систем і про дотримання в них всіх закономірностей властивих традиційному підходу.

Використання математичного апарату нечіткої логіки дозволило здійснити розвиток закономірностей традиційного підходу, шляхом врахування нечіткості, і отримати більш точні результати оцінки потенційного пожежного ризику.

**Табл. 2. Прогнозований потенційний пожежний ризик**

Ступінь ураження	Ймовірнісно-статистичний метод, 1/рік	Система нечіткого виводу (Mamdani), 1/рік
Зона смертельного ураження, $R_1$	$2,99 \cdot 10^{-6}$	$2,79 \cdot 10^{-6}$
Зона тяжкого ураження, $R_2$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,51 \cdot 10^{-6}$
Зона сильного ураження, $R_3$	$9,54 \cdot 10^{-7}$	$8,98 \cdot 10^{-7}$
Зона легкого ураження, $R_4$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,41 \cdot 10^{-7}$

Характер розподілу отриманих випадкових значень потенційного пожежного ризику являє собою логнормальний розподіл (рис. 1 і рис. 2).

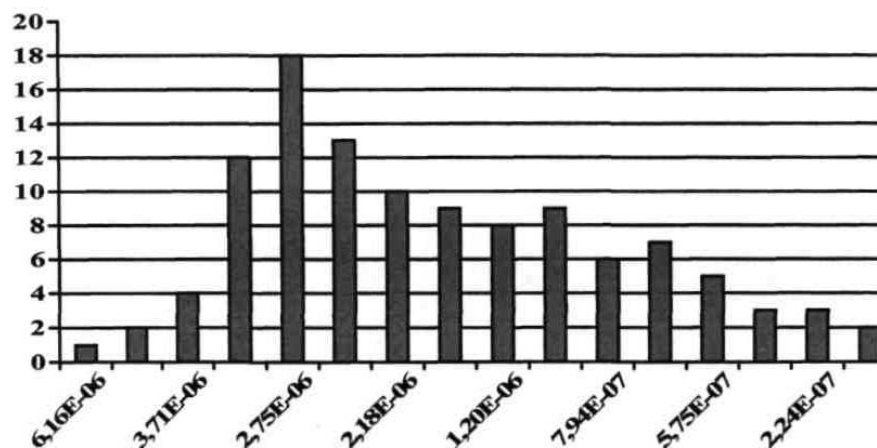


Рис. 1. Приклад розподілу потенційного пожежного ризику (система нечіткого виводу алгоритм Mamdani)

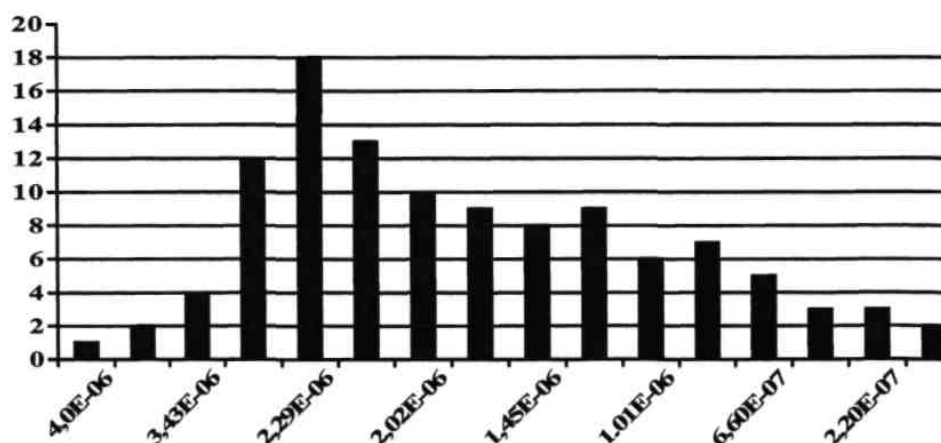


Рис. 2. Приклад розподілу потенційного пожежного ризику (ймовірнісно-статистичний метод)



Слід підкреслити, що, швидше за все, отриманий розподіл характерний тільки для даної конкретної вибірки і особливого значення на вирішення поставленої наукової задачі не надає.

Результати статистичного аналізу представлені в табл. 3.

**Табл. 3. Результати статистичного аналізу**

Параметр	Розподіл на основі ймовірнісно-статистичного методу	Розподіл на основі системи нечіткого виводу (Mamdani)
Середнє	$2,136 \cdot 10^{-6}$	$2,023 \cdot 10^{-6}$
Середньоквадратичне відхилення	$0,964 \cdot 10^{-6}$	$1,487 \cdot 10^{-6}$
Дисперсія вибірки	$0,929 \cdot 10^{-12}$	$1,21 \cdot 10^{-12}$

З даних видно, що параметри розподілів отриманих шляхом обробки даних кожного експерименту, проведених ймовірнісно-статистичним методом і з використанням розробленої нечіткої системи, співставні і мають хорошу збіжність.

Таким чином, можна зробити висновок про достовірність результатів оцінки ризику, отриманих на основі розроблених систем нечіткого виводу. А також про те, що ці результати мають більш високу ступінь достовірності, так як вони базуються на закономірностях властивих ймовірнісно-статистичному методу і враховують нечіткість, викликану складністю зв'язків між факторами ризику.

Для того, щоб оцінити рівень індивідуального пожежного ризику, необхідно врахувати такий фактор, як ймовірність присутності працівника на території об'єкта, а саме в зоні дії вражаючих факторів, розглянутого сценарію аварії.

Оцінка за ймовірнісно-статистичним методом проводилася з використанням формули наведеної у [7], яка враховує ймовірність присутності персоналу. При використанні розроблених систем нечіткого виводу в них також враховувався четвертий фактор імовірності присутності.

Результати оцінки індивідуального пожежного ризику представлені в табл. 4.

**Табл. 4. Індивідуальний пожежний ризик**

Ймовірнісно-статистичний метод, 1/рік	Система нечіткого виводу (Mamdani), 1/рік
$9,93 \cdot 10^{-8}$	$8,31 \cdot 10^{-7}$

Аналіз даних таблиці 4 показує, що результати оцінки індивідуального пожежного ризику по розглянутому сценарію аварії, отримані з використанням ймовірнісно-статистичного методу на порядок нижче,

ніж результати оцінки з використання розроблених нечітких систем. Слід також відзначити, що семантика правил повністю відповідає логічним і математичним закономірностям, властивим сфері пожежного ризику.

Таке завдання було поставлене, так як розроблені нечіткі системи в сукупності з розробленою методикою бальної оціночної системи визначення ймовірності аварії цілеорієнтованої на виявлення неприпустимого і контрольованого рівня ризику. Адже результати оцінки індивідуального пожежного ризику за ймовірнісно-статистичним методом [9] в абсолютній більшості випадків лежать в області прийнятих і суттєво малих значень. Це не дозволяє використовувати рівень індивідуального пожежного ризику як кількісний показник небезпеки підприємства та механізм прийняття рішень.

Розвиваючи тему зниження результатів оцінки, отриманих ймовірнісно-статистичним методом, слід сказати про те, що істотний вплив на це роблять середньостатистичні ймовірності аварії. Вони не враховують індивідуальних особливостей аналізованого об'єкта, якраз для вирішення цього питання була розроблена методика бальної оціночної системи.

Крім того, не менше значення на зниження результатів оцінки ризику надає ймовірність реалізації механізму впливу. Але як згадувалося раніше, в цілях наочності, описувана в даній роботі процедура оцінки ризику враховує лише її частину, а саме умовну ймовірність згоряння.

**Висновки.** Таким чином, можна зробити висновок, що результати оцінки індивідуального пожежного ризику, отримані шляхом застосування розробленого алгоритму з нечіткими множинами, є достовірними і ступінь достовірності результатів вище, в порівнянні з результатами оцінки ризику за алгоритмом із застосуванням ймовірнісно-статистичного методу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Акимов В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.И. // – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2001. – 341 с.
2. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск / Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М. и др. // – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 367 с.
3. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: теория и практика. – 2-ое изд. – М.: Полимедиа, 2002. – 192 с.
4. Абрамов Ю.А. Оценка риска деформации или взрыва резервуара при пожаре в резервуарном парке Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сб. научных трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2006. – Вып. 32. – С. 90-92.

5. Козлитин А.М. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Саратов: СГТУ, 2002. – 180 с.

6. Владимиров В.А. Оценка риска и управление техногенной безопасностью / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, Л.В. Измалков // Монография. – М.: Деловой экспресс, 2002 – 184 с.

7. Грінченко Є.М. Метод визначення колективного ризику при виникненні надзвичайної ситуації на підприємстві по збереженню нафтопродуктів / Грінченко Є.М., Соколов Д.Л., Федоренко Р.М., Собина В.О. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2014. – Вип. 20. – С 38 – 43.

8. Грінченко Є.М. Використання теорії нечітких множин для оцінки пожежного ризику резервуару з нафтопродуктом / Грінченко Є.М., Соколов Д.Л., Федоренко Р.М., Ларін О.М. // Проблеми пожежної безпеки. Сб. науч. тр. Вип. 36. – Харьков: НУГЗУ, 2014. стр. 131-140.

9. Брушлинский Н.Н. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко / М.: Пожнаука, 2000. – 492 с.

А.Н. Ларин, Е.Н. Гринченко, Д.Л. Соколов, Р.Н. Федоренко

**Сопоставление методов оценки пожарного риска резервуаров с нефтепродуктами при возникновении чрезвычайной ситуации**

Проведен сравнительный анализ двух различных методов оценки индивидуального риска пожара резервуара с нефтепродуктом. Доказана сходимость результатов оценки риска, полученные различными методами. Подтверждена адекватность разработанных моделей.

**Ключевые слова:** резервуар, нечеткая логика, индивидуальный риск, алгоритм Мамдани, методы оценки риска.

A.N. Larin, Ye.N. Grinchenko, D.L. Sokolov, R.N. Fedorenko

**Comparison of risk assessment fire tanks with oil products at the extraordinary situation**

A comparative analysis of the two different methods for assessing individual risk of fire tank with mineral oil. The convergence of the risk assessment results, obtained by different methods. The adequacy of the developed models.

**Keywords:** tank, fuzzy logic, the individual risk algorithm Mamdani, methods of risk assessment.

УДК 614.8-519.85

*А.А. Левтеров, к.т.н., с.н.с., вед. научн. сотр., НУГЗУ,  
И.Н. Грицына, к.т.н., доцент, зам. нач. каф., НУГЗУ*

## **К ОПТИМАЛЬНОМУ РАЗМЕЩЕНИЮ ПУНКТОВ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

(представлено д-ром техн. наук Прохачем Э.Е.)

Предложен подход к расчету оптимального размещения пунктов дистанционного мониторинга при помощи эволюционных вычислений. Определен вид целевой функции, определения минимального количества пунктов контроля с беспроводными техническими средствами.

**Ключевые слова:** дистанционный мониторинг, генетический алгоритм.

**Постановка проблемы.** При контролировании территории сложной застройки (рельеф), необходимо разместить  $N$  пунктов контроля с учетом зон запрета причем, в общем случае эффективный радиус обнаружения ЧС каждого пункта может варьироваться в некоторых пределах. Поэтому, количество данных, необходимых для расчета оптимального размещения, будет слишком большим. В связи с этим, возникает проблема, связанная со сложностью представления математической модели и увеличением вычислительных ресурсов.

Применение случайного направленного поиска (эволюционное программирование) позволит как сократить число данных, так и снизить вычислительные ресурсы, необходимые для расчета оптимального размещения пунктов дистанционного мониторинга.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [4] предлагается решить данную задачу, используя, так называемый нелинейный решатель для стандартного алгоритма Левенберга-Марквардта [3], способный работать с нелинейными функциями (минимум площади пересечения) в заданных ограничениях (ограниченная территория), который примет следующий вид:

$$\min_x f(x) \text{ such that } \begin{cases} c(x) \leq 0 \\ \text{ceq}(x) = 0 \\ A \cdot x \leq b \\ A_{\text{eq}} \cdot x = \text{beq} \\ l_b \leq x \leq u_x \end{cases}, \quad (1)$$

где  $x$ ,  $b$ ,  $beq$ ,  $lb$  и  $ub$  – векторы;  $A$  и  $Aeq$  – матрицы;  $c(x)$  и  $seq(x)$  – функции, возвращающие векторы;  $f(x)$  – функция, возвращающая скаляр;  $f(x)$ ,  $c(x)$  и  $seq(x)$  могут быть нелинейными функциями. В результате получен массив пар координат  $(x, y)$  оптимальным образом расположенных пунктов мониторинга за некоторое число итераций [4].

В [5] предлагается другой подход к решению этой проблемы и принадлежит к задачам негладкой оптимизации вследствие наличия негладких функций принадлежности вида

$$F(x_i, y_i, z_i) = 0, i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где область допустимых решений может быть разбита на подобласти, описываемые системами неравенств с гладкими функциями, что может быть сведено к решению последовательности задач нелинейного программирования и в качестве функции цели может быть выбрана произвольная гладкая функция, в том числе: минимизация радиусов покрывающих кругов (соответственно минимизация высоты или выбор более дешевых средств обнаружения), минимизация числа пунктов и повышение надежности (максимизация зон перекрытия).

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что задача оптимизации сводится к направленному поиску решения, удовлетворяющего заданным граничным условиям. В связи с этим, для решения поставленной задачи предлагается использовать генетический алгоритм случайного направленного поиска решений, что позволит сократить количество вводимых данных и снизит вычислительные ресурсы.

**Постановка задачи ее решение.** Задача оптимального размещения пунктов дистанционного мониторинга сводится, в данном случае, к нахождению максимума функции

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  параметры  $n$ -ой системы контроля установленной в пункте дистанционного мониторинга.

Таким образом, исходными данными являются:  $R$  – радиус или площадь  $S$  пространства контроля; где  $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$  пункты контроля количеством  $n$  со своим радиусом зоны контроля (полусфера высоты  $H$  и радиусом  $r$ );  $Z$  – матрица связей зон контроля. Конечным результатом будет вариант размещения пунктов контроля в пространстве

$$W \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}, \quad (4)$$

где  $(x_n, y_n)$  – координаты центра полусферы зоны контроля  $i$ -го пункта с площадью  $S_i = \pi r_i^2$ , такой чтобы площадь перекрытия размещенных зон была минимальной. При применении систем радиолокационного контроля в зонах с высокой плотностью застройки и малой высоты размещения системы следует принимать радиус зоны контроля  $r = 0,6 \cdot R_{\max}$  (где  $R_{\max}$  – максимальный радиус действия) [2].

На первом этапе решения задачи оптимизации производится генерация начальной популяции решений при помощи генераторов случайных чисел, позволяющих по заданной площади зоны контроля и ее формы сгенерировать положение  $N$  точек размещения пунктов [1]. После этого формируются хромосомы, где выбираются признаки для формирования генов, отвечающих за положение в пространстве пункта контроля. Кодирование хромосом осуществлялось по классической схеме, изложенной в [1]. Высота точки размещения  $N$  не включается в хромосому, но она используется для вычисления целевой функции. Затем к решению задачи применим метод генетического алгоритма (рис. 1).  $I_{\max}$  – максимальное количество поколений.



Рис. 1. Схема генетического алгоритма

Запишем данный алгоритм в виде мнемокода для задачи программирования где:

- $t=0$  – начальное время эволюции ( $I=1$ );
- $\text{init\_population}(P^t)$  – инициализация исходной популяции;
- $\text{while}(\text{not done}(\text{termination\_condition}))$  – начало цикла до момента завершения эволюции согласно условия;

$P^s$  = selection ( $P^t$ ); выбор лучших индивидуумов для рекомбинации [1];

$P^r$  = recombination ( $P^s$ ); оператор рекомбинации;

$P^m$  = mutation ( $P^t$ ); оператор мутации;

$P^{+1}$  = generation ( $P^s, P^r, P^m$ ); формирование нового поколения хромосом;

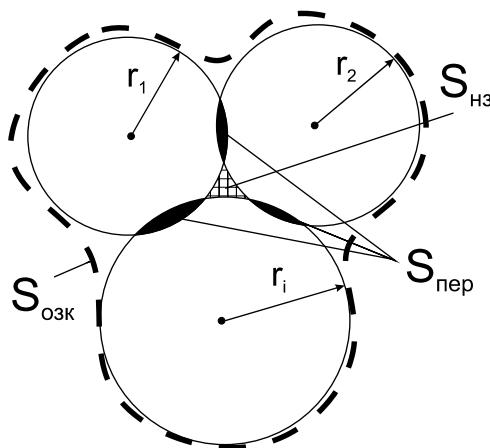
$-t = t+1$  – переход по эволюционному времени ( $I=I+1$ , см. рис. 1);

End while.

В результате целевая функция примет следующий вид

$$W(S) = A \cdot S_{\text{озк}} - B \cdot S_{\text{пер}} - C \cdot S_{\text{нз}} \quad (5)$$

где  $S_{\text{озк}}$  – площадь, покрываемая пунктами дистанционного контроля;  $S_{\text{пер}}$  – площадь взаимных перекрытий;  $S_{\text{нз}}$  – зона недоступная для контроля;  $A, B, C$  – весовые коэффициенты. Смысл указанных величин поясняется на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема решения задачи размещения пунктов дистанционного мониторинга

Выбирая величину коэффициентов  $A, B, C$ , можно влиять на координаты размещения пунктов контроля и величину  $S_{\text{озк}}$ . С точки зрения уменьшения числа дополнительных (с минимальным радиусом контроля) пунктов коэффициент  $C$  должен быть достаточно большим, т.е. при  $S_{\text{пер}}/S_{\text{озк}} < D_{\text{нз}}$  коэффициент  $C$  примет значение 0.

Значение  $D_{\text{нз}}$  (диаметр зоны недоступного контроля) выбирается в каждом конкретном случае с учетом особенностей местности, рельефа или степени застройки. При  $S_{\text{пер}}/S_{\text{озк}} \geq D_{\text{нз}}$  целесообразно выбрать пункт с наименьший радиусом контроля из уже имеющихся, то есть при  $C=0$  не требуется дополнительная станция контроля в местности ограниченной  $S_{\text{озк}}$ .

**Выводы.** Полученная целевая функция оптимального размещения пунктов дистанционного мониторинга и применение эволюционных вычислений, позволили сократить число данных, необходимых для расчета и сократить вычислительные ресурсы, что дает возможность применять пункты дистанционного мониторинга с широким спектром технического оснащения. Также, при этом, сокращается объем вычислений сложной конфигурации зоны контроля, охватываемой пунктами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская М., Пилиньский Л., Рутковский Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2006. – 452 с.
2. Betroni H.L. Propagation Prediction for Wireless Personal Communication. Proceedings of the IEEE / H.L. Betroni, W. Honcharenko, L.R. Maciel, H.H. Xia. – UHF, vol. 82. – N 9. – p. 1333-1359. – 1994.
3. Демиденко Е.З. Оптимизация и регрессия / Е.З. Демиденко. – М.: Наука, 1989. – 296 с.
4. Ханин А. Принципы оптического метода автоматического детектирования лесных пожаров / А. Ханин, Р. Чеботарев // Алгоритм безопасности. – 2011. – № 1. – С. 76-80.
5. Комяк В.М. Оптимизация размещения пунктов наблюдения наземных систем видео-мониторинга лесных пожаров / В.М. Комяк, А.В. Панкратов, А.Ю. Приходько, С.Д. Светличная // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 36. – С. 117-126. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb\\_2014\\_36\\_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2014_36_22).

О.А. Левтеров, І.Н. Грицина

**До оптимального розміщення пунктів дистанційного моніторингу із застосуванням еволюційних обчислень**

Запропонований підхід до оптимального розміщення пунктів дистанційного моніторингу за допомогою еволюційних обчислень. Визначений вигляд цільової функції знаходження мінімальної кількості пунктів контролю з безпроводними технічними засобами.

**Ключові слова:** дистанційний моніторинг, генетичний алгоритм.

A.A. Levterov, I.N. Hrytsyna

**Optimal placement of points of remote monitoring with application of evolutionary calculations**

It is offered approach to an optimal to placement of points of remote monitoring by means of evolutionary calculations. The type of criterion function of finding of the minimum quantity of points of control with wireless technical means is defined.

**Keywords:** remote monitoring, genetic algorithm.



*О.І. Ляшук, к.ф.-м.н., нач. відділу, ГЦСК ДКА України,  
Ю.А. Андрущенко, к.геогр.н., провідн. інженер, ГЦСК ДКА України,  
В.М. Шапка, заст. нач. центру, ГЦСК ДКА України,  
І.В. Толчонов, нач. центру, ГЦСК ДКА України,  
І.В. Корнієнко, нач. відділу, ГЦСК ДКА України*

## **ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПИТАННЯ РАНЬОГО ОПОВІЩЕННЯ ПРО ЗЕМЛЕТРУСИ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ**

(представлено д-ром техн. наук Ключкою Ю.П.)

В статті обґрунтована необхідність створення систем раннього оповіщення про потужні землетруси з метою мінімізації негативних впливів на потенційно небезпечні об'єкти України. Проаналізований світовий досвід організації систем раннього оповіщення про землетруси. Представлена модель системи раннього оповіщення, що на інформаційних та технічних можливостях Головного центру спеціального контролю.

**Ключові слова:** сейсмічність, землетрус, сейсмічна хвиля, ранне оповіщення.

**Постановка проблеми.** Аналіз досвіду ліквідації наслідків катастрофічних землетрусів в різних країнах за останні десятиліття показує, що рятувальні дії найбільш ефективні в перші години після підземного поштовху. Тому до служб термінових донесень та оповіщення, пред'являються все більш жорсткі вимоги, оскільки від точності та оперативності їхніх повідомлень про «тривогу» багато в чому залежить ефективність дій рятувальних формувань. Велика частина негативних наслідків руйнівних землетрусів обумовлена дією факторів вторинної небезпеки (пожежі, аварії в спорудах енергопостачання, транспортних комунікацій, прориви дамб, зсуви, обвали та ін.). В останні роки спостерігається бурхливий розвиток промислової, аграрної та будівельної індустрії, а також інтенсивне освоєння сейсмічно небезпечних територій. Ці процеси неминуче призводять до посилення техногенного навантаження територій та підвищення сейсмічного ризику. Тому створення системи раннього оповіщення є актуальним.

Згідно з картою загального сейсмічного районування території України ЗСР-2004-С [1], що застосовується при розробці генеральних планів раціонального землекористування та оптимального вибору місць розташування об'єктів особливо відповідальної категорії (АЕС, крупних гідроспоруд, крупних хімкомбінатів, різних екологічно небезпечних об'єктів) більша частина платформної території України відно-

ситься до зон з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних струшувань шість-сім балів (рис. 1).



**Рис. 1.** Генеральна карта загального сейсмічного районування території України (ЗСР-2004-С для періоду повторюваності землетрусів 5000 років) [1]

Основний сейсмічний вплив на територію України спричиняють землетруси району гір Вранча. Потужна, в сейсмічному відношенні, підкорова вогнищева зона, розташована в Румунії під горами Вранча, пов'язана з вигином Карпатської дуги - областю тектонічного з'єднання Східних і Південних Карпат. Особливістю прояву землетрусів, що виникають в цьому районі, є значна інтенсивність сейсмічних коливань на величезній за площею території, яка охоплює Румунію, Угорщину, Болгарію, Югославію, Молдову, Україну і європейську частину Росії, включно з Москвою і Санкт-Петербургом. При цьому спостерігається еліпсо-видна витягнутість ізосейст в північно-східному напрямку.

Протягом останнього тисячоліття з 1091 по 1990 рр. відомо 30 сильних землетрусів, вогнища яких знаходилися в зоні Вранча, а значення магнітуд у ряді випадків досягало і перевищувало 7. За останні 200 років відбулося сім сейсмічних подій з інтенсивністю струшувань в епіцентрі, що перевищує 8 балів ( $I_0 = 8,5-10$  балів) [2-5].

Наявність на території України великої кількості об'єктів критичної інфраструктури вимагає створення систем раннього оповіщення про потужні землетруси з метою мінімізації негативних впливів на потенційно небезпечні об'єкти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Система попередження про землетруси – це система сейсмічних датчиків, комунікаційного

устаткування, обчислювальних засобів і програмного забезпечення для регіонального оповіщення про сильні землетруси.

Сигнали від землетрусів реєструються великою кількістю сейсмічних датчиків, інформація від яких по високошвидкісних комунікаційних каналах надходить в обробку для розрахунку ймовірної сили землетрусу і очікуваних наслідків. Якщо виявлено землетрус, що несе потенційну небезпеку для об'єктів критичної інфраструктури, негайно включаються системи оповіщення і тривоги. Серед країн, що мають такі системи - Японія, Тайвань, Мексика, США, Чехія, Італія. Перша автоматизована система, що з'явилася в США в 90-х роках минулого сторіччя має назву QuakeGuard. Дана технологія зараз використовується на 40 об'єктах в Каліфорнії. У 2007 році в Японії Метеорологічним агентством була впроваджена в роботу система раннього попередження, яка спочатку планувалася для аварійної сигналізації і гальмування надшвидкісних залізничних експресів. В даний час попередження передаються по національному телебаченню і радіо, а також з'являються на екранах мобільних телефонів. Під час землетрусу 11 березня 2011 року система спрацювала через 8,6 секунд після виникнення сигналу в джерелі.

**Постановка завдання та його вирішення.** На даний час існує декілька підходів до створення систем раннього оповіщення про землетруси. На прикладі українських АЕС розглянемо переваги та недоліки цих підходів.

Робота переважної частини існуючих в світі систем раннього оповіщення про землетруси основана на різниці швидкостей розповсюдження повздовжніх та поперечних сейсмічних хвиль. Швидкість Р-хвилі – приблизно 7,33 км/с, в той час як хвиля S, яка несе в собі основну руйнівну силу землетрусу є в 1,8 рази повільнішою за хвилю Р і має середню швидкість розповсюдження – біля 4,14 км/с. Під час розповсюдження сейсмічних хвиль від джерела до пункту реєстрації відбувається їх чітке розділення, що дозволяє після приходу на сейсмічний датчик Р-хвилі розрахувати прискорення та у разі перевищення визначеного порогу подати сигнал тривоги, перш ніж руйнівна хвиля S досягне того чи іншого об'єкту критичної інфраструктури.

Згідно вимог МАГАТЕ, атомні електростанції повинні бути оснащені мережею сейсмічних датчиків, основною задачею якої є:

- розрахунок акселерограм та визначення прискорень, що виникають в результаті сейсмічного впливу на елементи інженерних конструкцій;
- інструментальне дослідження сейсмічності території розташування АЕС;
- створення системи сигналізації та попередження про сейсмічну небезпеку.

У зв'язку з тим, що сейсмічні датчики, які використовуються в системі раннього оповіщення розташовані в безпосередній близькості від потенційно небезпечних об'єктів, сигнал тривоги формується лише після впливу на об'єкт першої сейсмічної хвилі (Р-хвилі). Така система дозволяє проводити автоматичну аварійну зупинку реактора при сейсмічному впливі на ґрунті, що відповідає проектному землетрусу, але не захищає персонал і не дає йому часу для підготовки до дій в умовах надзвичайної ситуації. Ще одним недоліком даної системи є її прив'язка лише до одного конкретного сейсмонебезпечного об'єкту.

З метою усунення вищеперелічених недоліків в системі раннього оповіщення необхідно використовувати сейсмічні датчики, що віддалені від території розміщення АЕС у напрямку сейсмічно небезпечної зони. Це дозволить отримувати сигнал тривоги ще до приходу на АЕС першої сейсмічної хвилі та значно збільшить час між поданням сигналу тривоги та приходом на станцію руйнівної S-хвилі. Одним з варіантів є використання сейсмічних станцій, розташованих в безпосередній близькості від зони виникнення сейсмічних вогнищ, що становлять потенційну небезпеку для українських АЕС.

Прототип вищеописаної системи був розроблений і впроваджений в дію спеціалістами Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України (ГЦСК ДКА України). Дана система включає в себе мережу сейсмічних датчиків, що розташовані у безпосередній близькості до сейсмонебезпечного регіону, систему збору, збереження та обробки сейсмічної інформації та систему оповіщення про небезпечне явище. На даний час ГЦСК має доступ до даних з румунських сейсмологічних станцій, розташованих безпосередньо в сейсмонебезпечній зоні Вранча (рис. 2). Включення даних станцій до системи раннього оповіщення дозволяє максимально зменшити час між виникненням сигналу в джерелі та формуванням відповідного сигналу тривоги. Програмно-математичний комплекс SeisComp3, що використовується в ГЦСК дозволяє проводити автоматичне виявлення та обробку сейсмічних сигналів.

В табл. 1 представлені відстані від сейсмоактивної зони Вранча до АЕС України, а також запаси часу на оповіщення до приходу руйнівної S-хвилі, враховуючи те, що швидкість спрацювання системи складає приблизно 40 с.

Для найближчої Южно-Української АЕС, яка знаходиться на відстані 435 км від джерела, оповіщення про небезпеку можна здійснити 40 сек. до приходу хвилі S. До решти АЕС, які знаходяться на більшому віддаленні запас часу до приходу S-хвилі складає від 1 хв. 5 сек. до 1 хв. 54 сек.



Рис. 2. Розташування акселерометрів на території Румунії

Використання сейсмічних датчиків в безпосередній близькості до сейсмонебезпечної зони значно скорочує час на видачу сигналу тривоги, але, наряду з тим може призвести до похибок у визначенні енергетичних параметрів джерела і, як результат, до неправильної оцінки вірогідних наслідків землетрусу на території України. Ще одним недоліком є те, що така побудова системи оповіщення орієнтована лише на один сейсмонебезпечний регіон, і для контролю іншого регіону потребує додаткового розміщення сейсмічних датчиків. Так відомо, що на території Румунії існує ще ряд вогнищевих зон, розташованих в районах міст Галац та Бузеу. Землетруси, що виникають в цих районах менш потужні у порівнянні з землетрусами регіону Вранча, проте можуть створювати значні сейсмічні впливи на прикордонні райони України. Так 3 жовтня 2013 року відбувся землетрус з епіцентром в районі м. Галац з магнітудою 3,7, при цьому інтенсивність сейсмічних коливань в районах міст Ізмаїл та Рені, Одеської області склала приблизно 3 бали за шкалою MSK-64. Крім того в районі Вранча існує ряд джерел з достатньо невеликими глибинами гіпоцентрів. Вплив цих джерел на територію України є незначним, навіть при великих магнітудах. В свою чергу, реєстрація таких землетрусів може викликати хибні спрацювання системи оповіщення.

Виходячи з цього, логічним розвитком системи раннього оповіщення є створення мережі акселерометрів, встановленої на сейсмонебезпечних напрямках поблизу кордону України, наприклад в місті Ізмаїл або Рені.

**Табл. 1. Розповсюдження сейсмічних хвиль до АЕС та запас часу на оповіщення**

№ з/п	АЕС	Відстань від джерела (км)	Час пробігу	
			S-хвилі	запас часу
1.	Южно-Українська АЕС	435	1хв. 21с	41 с
2.	Хмельницька АЕС	522	1хв. 45с	1 хв. 05 с
3.	Рівненська АЕС	637	2хв. 10с	1 хв. 30 с
4.	Запорізька АЕС	664	2хв. 10с	1 хв. 30 с
5.	Чорнобильська АЕС	695	2хв. 34с	1 хв. 54 с

При цьому система оповіщення забезпечить подачу сигналу тривоги при виникненні будь-якого високоенергетичного сейсмічного явища, що з високою долею імовірності може становити загрозу для об'єктів критичної інфраструктури України. Вихідний сигнал акселерометра пропорціональний виміряному прискоренню. У випадку перевищення порогового рівня вихідного сигналу, по протоколу SeedLink оптичними, провідними чи безпроводними каналами зв'язку до віддаленого серверу надсилається сигнал тривоги. При отриманні сервером сигналів тривоги з декількох датчиків формується загальний сигнал, який і надсилається в автоматичному режимі, згідно раніше встановленого списку, користувачам. Треба зауважити, що час спрацювання такої системи значно менший і за розрахунками складає порядку 6 секунд.

В табл. 2-3 представлені відстані від пунктів спостереження (ПС) Ізмаїл та Рені до АЕС України, а також запаси часу на оповіщення до приходу Р-хвилі та S-хвилі.

Реалізація оповіщення може бути здійснена шляхом встановлення на об'єктах підвищеної небезпеки та місцях скупчення людей обладнання для отримання сигналу тривоги та його доведення до населення. У випадку об'єктів підвищеної небезпеки сигнал тривоги може передаватися до автоматизованої системи безпеки підприємства для здійснення подальших заходів щодо зменшення наслідків дії землетрусу на технологічні процеси та приведення персоналу до підвищеної готовності.

**Табл. 2. Розповсюдження сейсмічних хвиль від ПС «Ізмаїл» до АЕС та запас часу на оповіщення**

№ з/п	АЕС	Відстань від ПС (Ізмаїл) (км)	Запас часу на оповіщення	
			Запас часу по Р-хвилі	Запас часу по S-хвилі
1.	Южно-Українська АЕС	328	27 с	57 с
2.	Запорізька АЕС	514	53 с	1хв 45 с
3.	Хмельницька АЕС	574	1хв 07 с	2хв 09 с
4.	Чорнобильська АЕС	677	1хв 20 с	2хв 34 с
5.	Рівненська АЕС	698	1хв 21 с	2хв 35 с

**Табл. 3. Розповсюдження сейсмічних хвиль від ПС «Рені» до АЕС та запас часу на оповіщення**

№ з/п	АЕС	Відстань від ПС (Рені) (км)	Запас часу на оповіщення	
			Запас часу по Р-хвилі	Запас часу по S-хвилі
1.	Южно-Українська АЕС	342	39 с	1 хв. 21 с
2.	Запорізька АЕС	544	53 с	1 хв. 45 с
3.	Хмельницька АЕС	551	53 с	1 хв. 45 с
4.	Чорнобильська АЕС	670	1 хв. 20 с	2 хв. 34 с
5.	Рівненська АЕС	674	1 хв. 21 с	2 хв. 35 с

Однією з основних переваг даного способу являється те, що в ньому, із-за застосування акселерометрів із завчасно запрограмованим порогом спрацювання, максимально мінімізовані затримки на обробку інформації через відсутність необхідності обробки сейсмічних даних та проведення розрахунку енергетичних сейсмічного джерела. Час спрацювання системи максимально наближено до реального часу та складає всього декілька секунд, що обумовлено каналами передачі даних та часом реакції системи на подію.

Апробація способу здійснювалась шляхом математичного та програмного моделювання. Для розрахунків використовувалось спеціалізоване програмне забезпечення SeisComP3 та PRESTo, мережа акселерометрів компанії Guralp Systems Ltd.

З розрахунків видно, що мінімальний час на оповіщення про наближення сейсмічного сигналу до українських АЕС, при розгортанні мережі акселерометрів, розміщених поблизу кордону України, у випадку виникненні землетрусу в районі гір Вранча складає:

- Южно-Українська АЕС — 57 секунд;
- Хмельницька АЕС – 1 хвилина 09 секунди;

- Запорізька АЕС – 1 хвилина 45 секунд;
- Рівненська АЕС – 2 хвилини 34 секунди;
- Чорнобильська АЕС – 1 хвилини 35 секунд.

Таким чином, при використанні заявленого способу час між подачею сигналу тривоги та приходом руйнівної хвилі  $S$  значно збільшується і є достатнім для проведення необхідних заходів, прийняття рішення та проведення дій згідно відповідних інструкцій та протоколів.

**Висновки.** Наявність на території України великої кількості об'єктів критичної інфраструктури вимагає створення систем раннього оповіщення про потужні землетруси з метою мінімізації негативних впливів на потенційно небезпечні об'єкти.

При побудові систем раннього оповіщення можливо використовувати як сейсмічні станції, розташовані на території України так і іноземні станції, що знаходяться в сейсмонебезпечних районах. Використання в системі раннього оповіщення даних станцій, розташованих у безпосередній близькості до епіцентру сейсмічної події, дозволяє максимально зменшити час між виникненням сигналу в джерелі та формуванням відповідного сигналу тривоги.

Необхідною умовою подальшого розвитку національної системи раннього оповіщення про землетруси є розширення сейсмологічної мережі та встановлення сейсмічних датчиків на основних сейсмонебезпечних напрямках поблизу кордону України, що забезпечить подачу сигналу тривоги при виникненні високоенергетичного сейсмічного явища, не залежно від місця розташування джерела.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Пустовитенко В.Г. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности / Пустовитенко В.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. // Геофиз. Журн. – 2006. – Т.28. – №3. – С. 60-67.
2. Евсеев С.В. Землетрясения Украины (Каталог землетрясений Украины с 1000 по 1940 гг.) – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 75 с.
3. Ризниченко Ю.В. Сейсмичность и сейсмоопасность Карпатского региона / Ризниченко Ю.В., Друмя А.В., Степаненко Н.Я., Симонина Н.А. // Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия – М.: Наука, 1980. – С. 46-85.
4. Ризниченко Ю.В. Сейсмичность и сотрясаемость Карпато-Балканского региона / Ризниченко Ю.В., Друмя А.В., Степаненко Н.Я. – Кишинев: Штинца, 1976. – 118 с.



5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / [отв. ред. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В.]. – М.: Наука, 1977. – 535 с.

А.І. Лящук, Ю.А. Андрущенко, В.Н. Шапка, І.В. Толчонов, І.В. Корнієнко

**Пути решения вопроса раннего оповещения о землетрясениях для объектов критической инфраструктуры Украины**

В статье обоснована необходимость создания систем раннего оповещения о мощных землетрясениях с целью минимизации негативных воздействий на потенциально опасные объекты Украины. Проанализирован мировой опыт организации систем раннего оповещения о землетрясениях. Представленная модель системы раннего оповещения, на информационных и технических возможностях Главного центра специального контроля.

**Ключевые слова:** сейсмичность, землетрясение, сейсмическая волна, раннее оповещение.

A.I. Liashchuk, Y.A. Andruschenko, V.N. Shapka, I.V. Tolchonov, I.V. Kornienko

**The ways to solve the issue of earthquake early warning system for critical infrastructure in Ukraine**

In the article the need to establish early warning systems to powerful earthquakes to minimize negative impacts on potentially dangerous objects Ukraine. Analyzes the international experience of early warning systems for earthquakes. The model early warning that the information and technical possibilities Main center of the special control.

**Keywords:** seismicity, earthquake, seismic waves, early warning.

---

**УДК 519.87: (504.75+614.87)**

*О.Д. Малько, к.військ.н., доцент кафедри, НУЦЗУ,  
Є.В. Карманний, к.ю.н., доцент кафедри, НЮУУ ім. Я.Мудрого*

## **ДО ПИТАННЯ ПРО МАТЕМАТИЧНУ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ**

(представлено д-ром техн. наук Бодянським Е.В.)

Розглянуто задачу прогнозування (постановка та загальний підхід до її вирішення) виникнення техногенної надзвичайної ситуації в умовах стохастичної невизначеності початкової інформації. Обґрунтовано вимоги до показників невизначеності початкової інформації для кожної рахункової моделі. Обрано рахункову математичну модель техногенної складової надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація техногенного характеру, стохастична невизначеність інформації, вимоги до показників невизначеності інформації.

**Постановка проблеми.** Одним із важливіших завдань запобігання надзвичайної ситуації техногенного характеру (НС ТХ) є вирішення задачі прогнозування факту її виникнення на кінець прогнозного періоду. Прогноз може здійснюватися в умовах наявності системи постійного моніторингу техногенної складової та наявності сукупності математичних моделей функціонування цієї складової. Але моделювання функціонування системи на кінець періоду прогнозу вимагає використання прогнозних величин параметрів, які мають певний рівень стохастичної невизначеності. При цьому, якість прогнозу (його надійність) залежить від адекватності математичної моделі, яка є функцією факторів, які були враховані, та від вірогідності самого результату прогнозу.

Вимоги максимальної адекватності і високої вірогідності знаходяться у суперечності: чим більше факторів враховується в математичній моделі, тим більш вона адекватна. Водночас внаслідок зростання кількості врахованих прогнозних факторів зростає невизначеність результату прогнозування (знижується вірогідність), що знижує можливість його використання при прийнятті рішення.

Для прийняття рішення щодо практичного використання результатів прогнозу необхідно визначити відповідність стохастичної невизначеності прогнозних параметрів потрібній надійності прогнозу.

В умовах наявності системи постійного моніторингу ця задача може бути вирішена шляхом математичного прогнозування кількісної оцінки ступеня загрози виникнення НС ТХ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Деякі підходи до прогнозування приведені в [1, 2, 3]. Їхня суть у наступному:

- за допомогою математичних моделей прогнозується вектор параметрів

$$\overline{X}_{\text{пр}} = \{ X_{\text{пр } k} \}, k = \overline{1, n}, \quad (1)$$

який характеризує процес функціонування техногенної складової (або її підсистем). При цьому результати прогнозу є початковою інформацією для визначення кількісної оцінки ступеня загрози виникнення НС ТХ;

- за допомогою моделі функціонування техногенної складової (або її підсистеми) здійснюється визначення

$$Y = f(X_{\text{пр}}), \quad (2)$$

що кількісною оцінкою ступеню загрози виникнення НС ТХ на закінчення періоду прогнозування. Час можливого виникнення НС ТХ визначиться періодом прогнозування вектору параметрів, при якому ця кількісна оцінка досягне критичної межі, тобто

$$Y < Y_{\text{кр}}, \quad (3)$$

де  $Y_{\text{кр}}$  – критична величина кількісної оцінки ступеня загрози виникнення НС ТХ.

Водночас найбільша повнота опису математичної моделі може бути досягнута за рахунок урахування особливостей процес функціонування техногенної складової (або її підсистем). Наслідком зазначеного є можливість використання в моделі більшої кількості параметрів, які отримані шляхом прогнозування. Результати прогнозування параметрів процесу в залежності від вибору моделі та періоду прогнозу будуть мати стохастичну невизначеність. Ця невизначеність може характеризуватися вектором величин середнього квадратичного відхилення результатів прогнозу від істинного значення

$$\overline{\sigma} = \{ \sigma_k \}, k = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Такий підхід до використання прогнозних величин параметрів процесу функціонування техногенної складової (або її підсистеми) в математичній моделі її функціонування приводить до появи невизначеності кількісної оцінки ступеня загрози виникнення НС ТХ -  $Y$ . Таким чином, кількісна оцінка ступеня загрози є випадковою величиною з власним значенням  $\sigma_{\text{пр}}$ . При цьому, високий рівень невизначеності

результатів прогнозування кількісної оцінки ступеня загрози виникнення НС ТХ робить неможливим її практичне використання.

**Постановка завдання та його вирішення.** З наведеного витікає висновок, що для кожної математичної моделі функціонування (для кожної процедури опису) є власний рівень невизначеності параметрів функціонування. При цьому результат моделювання процесів техногенної складової (або її підсистеми) – кількісна оцінка ступеню загрози виникнення НС ТХ ( $Y$ ) буде мати допустимий рівень невизначеності.

Для вирішення завдань запобігання НС ТХ необхідно вирішення задачі обґрунтування потрібних рівнів невизначеності параметрів процесу функціонування техногенної складової (або її підсистеми) при прогнозі можливості виникнення НС ТХ.

Задача може звестись до обґрунтування вектора граничнодопустимих значень показників невизначеності для кожної математичної моделі, яка може використовуватися для моделювання процесу функціонування техногенної складової.

Загальна математична постановка цієї задачі може мати наступний вид. Для сукупності математичних моделей

$$\Omega = \{ \Omega_i \}, i = \overline{1, m}, \quad (5)$$

кожна  $\Omega_i, i = \overline{1, m}$  з яких характеризується вектором параметрів

$$\overline{X}_i = \{ X_{ik} \}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, n}, \quad (6)$$

обґрунтувати вектор показників невизначеності

$$\overline{\sigma}_{i \text{ потр}} = \{ \sigma_{ik \text{ потр}} \}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, n}, \quad (7)$$

який забезпечує виконання умов

$$P ( Y < Y_{\text{кр}} ) > P_{\text{потр}}, \quad (8)$$

де  $P_{\text{потр}}$  – потрібна величина ймовірності.

Вирішення цієї задачі може здійснюватися у наступній послідовності:

- визначення сукупності можливих розрахункових моделей функціонування техногенної складової -  $\Omega$ . До сукупності  $\Omega$  можливо віднести математичні моделі, які за рахунок неповноти опису процесів дають негативну методичну похибку при визначенні показника  $Y$  [4];

- визначення умов побудови процедури пошуку компонент вектору граничнодопустимих величин показників невизначеності початкової інформації –  $\{ \sigma_{ik \text{ потр}} \}$ ;

- здійснення пошуку вектора граничнодопустимих величин показників невизначеності початкової інформації. Внаслідок використання у математичній моделі логічних правил, цей пошук не може здійснюватися з допомогою методів класичної ідентифікації [5, 6]. Тому у більшості випадків використовуються чисельні методи. У даному випадку найбільш оптимальним, на наш погляд, буде використання методу дихотомії.

Алгоритм вибору розрахункової моделі для здійснення прогнозу величини  $Y$  може бути зведеним до порівняння вектору показників невизначеності прогнозним параметрам факторів, які враховуються в математичній моделі

$$\overline{\sigma} = \{ \sigma_k \}, \quad k = \overline{1, n} \quad (9)$$

з вектором

$$\overline{\sigma}_{i \text{ потр}} = \{ \sigma_{ik \text{ потр}} \}, \quad i = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, n} \quad (10)$$

кожної математичної моделі сукупності

$$\Omega = \{ \Omega_i \}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (11)$$

Розрахунковою вибирається та модель, для якої різниця векторів буде мінімальною. Така модель буде відповідати оптимальному співвідношенню невизначеності початкової інформації надійності прогнозу.

Рішення задачі прогнозування факту виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру можливо за умов:

- наявності безперервної системи моніторингу об'єктів техногенної складової;

- наявності сукупності розрахункових математичних моделей функціонування цієї складової;

- вирішення задачі прогнозування факту виникнення НС ТХ в умовах невизначеності початкової інформації.

**Висновки.** Рішення задачі обґрунтування величин показників невизначеності величин факторів техногенної складової (в рамках прогнозування виникнення НС ТХ) дозволить здійснювати прогноз виникнення НС ТХ із заданою надійністю. Такий прогноз, у свою чергу, дозволить вчасно прийняти заходи щодо запобігання НС ТХ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Малько О.Д. До питання визначення ймовірності виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру / Малько О.Д., Полежаєв А.М., Ковжого С.О. // Матеріали 2 міжнародної конференції:

«Научный прогресс на рубеже тысячелетий», 1-15 июня 2007 года. – Том 13. Днепропетровск: Наука и образование, 2007. – С. 23-26.

2. Полежаев А.М. До питання забезпечення математичного прогнозування виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру / Полежаев А.М., Карманний Є.В. // *Materialy iv miedzynarodowej naukowoi – praktycznej konferencji naukowa mysl informacyjnego wieku – 2009 “ 07 – 15 marca 2009 roku. – Vol. 13. Pizemysl. «Nanka i studia».* 2009. – С. 32 – 35.

3. Полежаев А.М. До питання побудови моделі техногенної складової життєвого середовища людини / Полежаев А.М., Малько О.Д., Ковжого С.О. / *Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 7 (47). – С. 143-145.*

4. Полежаев А.М. До питання прогнозування надзвичайної ситуації техногенного характеру / Полежаев А.М., Малько О.Д. // *Безпека життєдіяльності. – 2007. – № 12. – С. 48-52.*

5. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. – М.: Наука, 1991. – 226 с.

6. Надежность и эффективность в технике. Справочник в десяти томах. Под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1990. Том 4. – 364 с.

А.Д. Малько, Е.В. Карманний

#### **К вопросу о математической модели прогнозирования возникновения чрезвычайной ситуации техногенного характера**

Рассмотрена задача прогнозирования (постановка и общий подход к ее решению) возникновения техногенной чрезвычайной ситуации в условиях стохастической неопределенности исходной информации. Обоснованы требования к показателям неопределенности исходной информации для каждой счетной модели. Выбрано счетную математическую модель техногенной составляющей чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация техногенного характера, стохастическая неопределенность информации, вектор показателей неопределенности математической модели прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций.

A.D. Malko, E.V. Karmanny

#### **About the mathematical model of the prognostication the appearance of the technogenic disasters**

The problem of the prognostication (the staging and the common approach to decision of its) the appearance of the technogenic disasters in conditions of the stochastic uncertainty initial information has been considered. Requirements for indicators of the uncertainty initial information for each countable model has been proved. The countable mathematical model of the technogenic component of the emergency have been selected.

**Keywords:** technogenic disasters, the stochastic uncertainty of the information, requirements for indicators of the uncertainty information.

*М.В. Малярів, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФРАКТАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ МОНІТОРИНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

(представлено д-ром техн. наук Тарасенком О.А.)

В роботі проведено дослідження фрактальної розмірності зображення земної поверхні від енергетичних та просторових змін на цьому зображенні. Проаналізовані величини змін фрактальної розмірності та зроблено висновки щодо можливості її використання при проведенні задач моніторингу надзвичайних ситуацій.

**Ключові слова:** моніторинг територій, фрактальна розмірність, метод покриття, MathCad, самоподоба.

**Постановка проблеми.** Завдання моніторингу земної поверхні може бути представлено як визначення змін на зображеннях цієї поверхні, їх класифікації та визначення масштабів змін, що відбулися. Саме тому для проведення задач моніторингу потрібно мати формалізований опис земної поверхні, яка не зазнала змін, так і опис змін, що відбулися. Зазвичай розміщення елементів на зображення земної поверхні є досить складним та хаотичним, та вимагає багато часу при обробці результатів таких спостережень. Але якщо прийняти, що завдання моніторингу буде носити тільки «сигнальний» характер (з'явилися зміни чи ні) та використовувати просторові властивості для формалізованого опису, то така задача може бути повністю автоматизована з використання вже існуючих алгоритмів. Головне формалізувати опис земної поверхні без змін, опис поверхні що їх зазнала та описати вклад кожної зміни в просторові характеристики.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оскільки розміщення елементів на зображенні є складним й хаотичним в [1, 2] запропоновано стежити не за кожним елементом окремо, а розглядати відразу всю сукупність елементів, які в заданий момент часу займають певне положення, характеризуючи просторову структуру зображення земної поверхні та пропонується характеризувати структуру поверхні за допомогою фрактальної геометрії.

Простір спостережень може бути описане в такий спосіб [1]. Для елементів безлічі, що утворюють просторову структуру зображення поверхні введемо наступні позначення:  $S_i$  – клас (найменування) об'єкта  $i = 1, 2, \dots, I$ , де  $I$  – загальна кількість класів, для елементів зображення

класом може бути усі елементи з однаковою яскравістю;  $S_i$  – площа займана  $i$ -ім класом або площа зображення об'єкта  $i$ -го класу.

Тоді зображення просторової структури може бути описано набором наступних показників:  $\bigcup_{i=1}^I C_i$  – об'єднанням всіх класів просторової структури;

$\sum_{i=1}^I S_i$  – сумарною площею класів;  $P(S)$  – розподілом площ у межах кожного класу;

$A_r(C_i, C_j)$  – матрицею суміжності елементів класів  $C_i, C_j$ , де  $r$  – відношення, у якому перебувають  $C_i$  й  $C_j$ .

При  $r=1$  класи примикають друг до друга безпосередньо. При  $r=2$  елементи двох класів розділені яким-небудь третім і так далі.

Виходячи з опису простору спостережень, фрактальна розмірність  $D_f$  природної структури буде пропорційна:

$$D_f \sim f(N, \bigcup_{i=1}^I C_i, A_r(C_i, C_j), \sum_{i=1}^I S_j, P(S_i), S_{\text{пр}}), \quad (1)$$

де  $S_{\text{пр}}$  – площа зображення просторової структури, що спостерігається.

Зміна, факт появи якої потрібно виявити, належить до класу  $C_{\text{об}}$ , що не належить безлічі  $C$  ( $C_{\text{об}} \notin C$ ), і має площу  $S_{\text{об}}$ . Поява в контрольованому просторі спостережень об'єкта з новим класом  $C_{\text{об}}$  приведе, виходячи із властивостей фрактальної розмірності, до її зміни

$$D_{f_{\text{об}}} \sim f(N, \bigcup_{i=1}^I C_i, C_{\text{об}}, A_r(C_i, C_j), \sum_{i=1}^I S_j, P(S_i), S_{\text{об}}, S_{\text{пр}}). \quad (2)$$

При цьому з формул (1) і (2) видно, що величина фрактальної розмірності змінилася на величину

$$\Delta D_f \approx D_{f_{\text{об}}} - D_f, \quad (3)$$

що дозволяє прийняти рішення про факт зміни на зображенні земної поверхні.

Для знаходження фрактальної розмірності пропонується скористатися методом покриття [3] при якому зображення розбивається на квадратні клітки деякого розміру  $\varepsilon$ . Потім підраховується кількість кліток  $N(\varepsilon)$ , необхідних для покриття зображення. Фрактальною, називають розмірність  $D_f$ , обумовлену виразом

$$D_f = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\text{Ln}N(\varepsilon)}{\text{Ln}(1/\varepsilon)}. \quad (4)$$



Так як на практиці важко реалізувати виконання умови  $\varepsilon \rightarrow 0$ , то при реалізації алгоритму розрахунку співвідношення (4) представляють у вигляді

$$\text{Ln}N(\varepsilon) = \text{Ln}C - D_f \text{Ln}\varepsilon, \quad (5)$$

де  $C$  – константа. Якщо при реалізації методу покриття використати клітки тільки двох розмірів  $-\varepsilon_1$  та  $\varepsilon_2$ , то невідомі можна визначити із системи рівнянь

$$\begin{cases} \text{Ln}N(\varepsilon_1) = \text{Ln}C - D_f \text{Ln}\varepsilon_1 \\ \text{Ln}N(\varepsilon_2) = \text{Ln}C - D_f \text{Ln}\varepsilon_2 \end{cases} \quad (6)$$

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою даної статі є дослідження фрактальних властивостей зображень земної поверхні (а саме фрактальної розмірності) при різних змінах в зображенні (просторових та енергетичний) стосовно для вирішення завдань моніторингу земної поверхні. Розрахунок фрактальної розмірності буде проводитися на основі формул (4-6) формалізація яких за допомогою математичного пакету MathCad наведена у [4]. У якості знімків земної поверхні, використовуються зображення, які отримано з використання супутників вільного доступу та мережі Інтернет.

Зазвичай, коли мова йде про фрактальну розмірність в літературі наводиться твердження, що фрактальні зображення інваріантні к здвигу та повороту [5]. У якості дослідження проаналізуємо зміни фрактальної розмірності в залежності від кута повороту зображення та його енергетичних характеристик (яскравості та контрастності). Результат обчислень наведено в табл. 1.

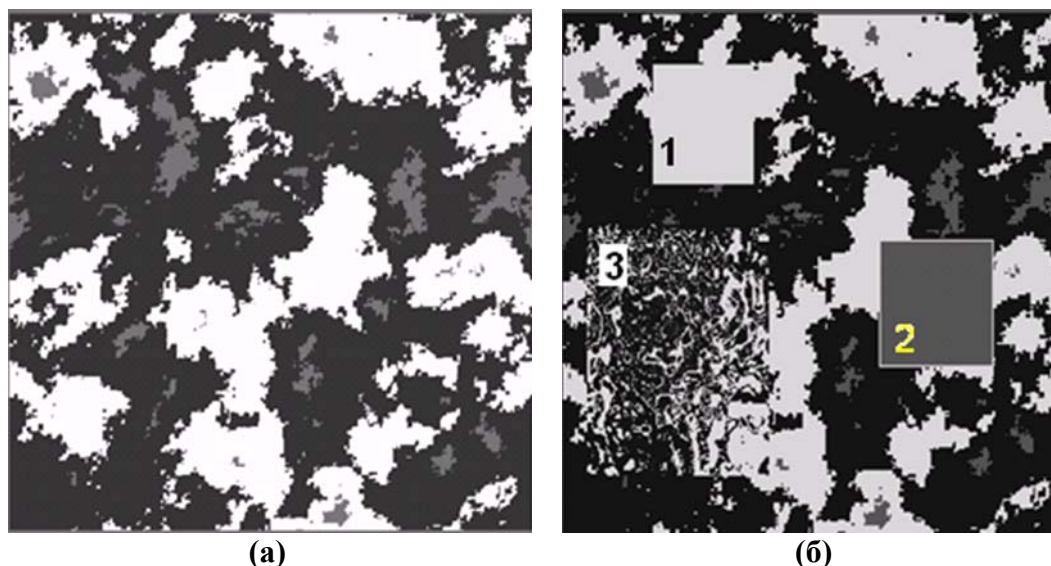
**Табл. 1. Значення фрактальної розмірності в залежності від характеристик зображення**

Кут повороту, град	0	30	60	90	120	150	180
Значення $D_f$	1,86	1,84	1,79	1,87	1,80	1,88	1,82
Яскравість	-60	-30	0	+30	+60		
Значення $D_f$	1,86	1,85	1,86	1,87	1,85		
Контрастність	-60	-30	0	+30	+60		
Значення $D_f$	1,86	1,87	1,86	1,85	1,86		

Як видно, коливання в значеннях фрактальної розмірності не перевищують 4% від початкових значень, що дозволяє зробити висновок, що фрактальна розмірність слабо залежить від кута спостереження та повороту

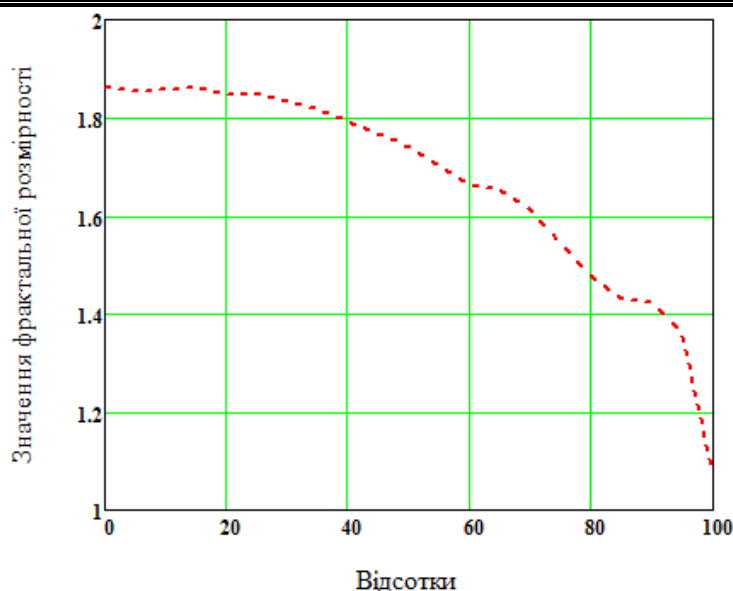
зображення та обумовлюється тільки просторовими характеристиками, що дає можливість проводити спостереження під різними вісями візування.

Для дослідження значень фрактальної властивості в залежності від змін зображення, проаналізуємо які змінні, що входять у вираз (1), повинні змінитися, щоб ці зміни могли відбитися на значенні фрактальної розмірності. Допустимо, що маємо зображенні поверхні (рис. 1а). На цьому зображенні з'являється якась зміна, характеристики якої не належить до класів, що присутні на зображенні, тобто відрізняється по кольору пікселів та має деяку площу. (рис. 1б, зона 1). При цьому зміняться всі змінні, що входять у вираз (1). Якщо зміни, що з'являються на зображенні, вже належать до існуючих класів (наприклад її колір збігається з кольором деяких елементів), то для такого випадку зміняться деякі характеристики. Наприклад, площа даного класу ( $S_i$ ) або взаємне розташування  $A_r(C_i, C_j)$  (рис. 1б, зона 2). Інший можливий випадок, коли зміни належить до існуючих класів і не змінює їхню площу (рис. 1б, зона 3), а тільки взаємне розташування  $A_r(C_i, C_j)$ .

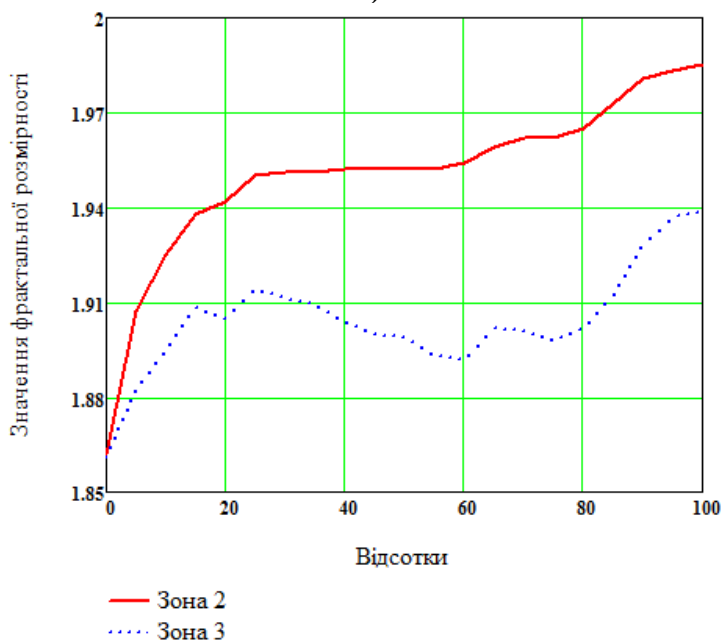


**Рис. 1.** Зображення при відсутності (а) та при появі змін з різними властивостями (б) в її структурі

Так як зображення земної поверхні зазвичай має пікселі всього діапазону кольорів, то сформувати зону 1 на реальному зображенні важко. При моделюванні на зображенні було сформовано зону у якій всі пікселі мають колір нуль (зазвичай значення належить діапазону 1-255), що відповідає «відсутності» зображення. Результати моделювання приведено на рис. 2а. З приведеного графіку видно, що значенні фрактальної розмірності поступово зменшується до значення цілої величини, тобто зображення приймає не фрактальні властивості. Величина фрактальної розмірності яка дорівнює одиниця відповідає одномірному геометричному об'єкту.



а)



б)

Рис. 2. Величина зміни фрактальної розмірності в залежності від розміру змін

При моделюванні змін, які належать до існуючих класів значення кольору пікселя було вибрано на середньому рівні (120 одиниць) та поступово змінювалася величина цієї зони. Результат моделювання наведено на рис 2б, зона 2. З графіка видно, що величина фрактальної розмірності наближається до цілого значення  $D_f=2,00$ , що свідчить про втрату фрактальних властивостей, при цьому зображення перетворюється у простий двомірний об'єкт з однаковим кольором пікселів.

В результаті випадку, коли зміни належить до існуючих класів та не змінюють їхню площу (рис 2б, зона 3), видно що величина фрактальної розмірності наближається до значення  $D_f=1,94$ , величина якої є власним значенням фрактальної розмірності зміни, що з'явилася.

**Висновки.** Розглянуті вище результати моделювання зміни величини фрактальної розмірності в залежності від змін зображення дозволяють зробити наступні висновки: величина фрактальної розмірності змінюється на рівні 5% при зміні кутів візування та енергетичний характеристик зображення (яскравість та контрастність). Результати будь-якої зміни в структурі зображення викликають зміну фрактальної розмірності, що дозволяє використовувати її як критерій сигнальних змін при рішенні задач моніторингу надзвичайних ситуацій. Якщо вважати, що початкове зображення мало фрактальну розмірність  $D_f=1,86$ , то для перевищення 4% рівня змін ( $D_f=1,94$ ) необхідно щоб розмір змін був більший за 18%-20% від розмірів зображення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Маляров М.В. Алгоритм пошуку малорозмірних об'єктів на морській поверхні з використанням її фрактальних властивостей / Маляров М.В., Щербак Г.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2008. – Вип.8. – С.124-129. – Режим доступу: <http://edu-mns.org.ua/nmc/109/pns08.pdf#page=124>.
2. Маляров М.В. Моніторинг змін природних територій з використанням просторових характеристик / Маляров М.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 21. – с.52-56. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/>.
3. Е. Федер. Фракталы / Федер Е. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Маляров М. В. Фрактальный мониторинг земной поверхности з використанням математичного пакету MathCad / Маляров М.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. –2015. – Вип. 22. – С. 93-98. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Malyarov.pdf>.
5. Кронвер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах / Кронвер Р.М. – М.: Постмаркет, 2000, – 352 с.

М.В. Маляров

### **Исследование фрактальных свойств земной поверхности при решении задач мониторинга чрезвычайных ситуаций**

В работе проведено исследование фрактальной размерности изображения земной поверхности от энергетических и пространственных изменений на этом изображении. Проанализированы величины изменений фрактальной размерности и сделаны выводы о возможности ее использования при проведении задач мониторинга чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** мониторинг территорий, фрактальная размерность, метод покрытия, MathCad, самоподобие.

M.V. Malyarov

### **Research of fractal properties of the Earth's surface in solving emergency monitoring tasks**

The paper studied the fractal dimension of the Earth surface images from the energy and spatial variations in this image. Analyzed changes in the value of the fractal dimension and the conclusions about the possibility of its use in conducting emergency monitoring tasks.

**Keywords:** monitoring of territories, the fractal dimension, the method of coating, MathCad, self-similarity.

*І.М. Неклонський, к.військ.н., ст. викладач, НУЦЗУ,  
В.О. Самарін, викладач, НУЦЗУ*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАЛУЧЕННЯ РЕСУРСІВ ПРИ ПЕРЕГРУПУВАННІ СИЛ І ЗАСОБІВ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

(представлено д-ром техн. наук Соловйом В.В.)

Для формування окремих загонів в складі угруповання сил цивільного захисту визначена функція розподілення ресурсів, що залучаються, під час перегрупування сил і засобів для ліквідації нових осередків надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** перегрупування сил, ресурси, функція розподілення.

**Постановка проблеми.** Різні умови в яких виникають надзвичайні ситуації (НС) вимагають удосконалення процесу реагування, підвищення ефективності управління силами цивільного захисту при ліквідації наслідків НС.

Для ліквідації наслідків НС органами управління утворюється об'єднане ешелоноване угруповання сил до якого залучаються аварійно-рятувальні формування різних міністерств і відомств. [1] Безпосередня організація і координація дій залучених до ліквідації наслідків НС сил цивільного захисту, Збройних Сил України та інших військових формувань, органів і підрозділів внутрішніх справ покладається на штаб з ліквідації наслідків НС, який є робочим органом керівника робіт з ліквідації наслідків НС. [2]

Ефективність проведення заходів щодо ліквідації наслідків НС багато в чому буде залежати від того, як орган управління організує взаємодію залучених сил і засобів. Згідно [3] взаємодія організовується через спеціально призначені оперативні групи або представників відповідних центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, які залучаються до ліквідації наслідків НС. За таких обставин завжди є ризик неефективної взаємодії під час організації та проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт. Проблема полягає у відсутності можливості використовувати прямі організаційні зв'язки. Особливо це актуально, коли органу управління необхідно раціонально розподілити ресурси, що залучаються, під час перегрупування сил і засобів для ліквідації нових осередків НС. Як правило, процес узгодження залучення ресурсів різних структур займає тривалий час, що в оперативній обстановці є негативним фактором.

В таких умовах допомогти знайти оптимальний варіант прийнят-

тя рішення може використання системи підтримки прийняття рішень, в якій змодельований відповідний процес залучення ресурсів при перегрупуванні сил і засобів під час ліквідації наслідків НС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При всій різноманітності відомих підходів щодо моделювання взаємодії різних структур і удосконалення систем управління в їх основі закладено ідеї, пов'язані із структурно-функціональними особливостями організаційної системи. Разом з тим, як правило, питання організації взаємодії розглядаються за умови визначеного складу відповідних організаційних структур. Так в роботі [4] представлена математична модель, яка описує структурно-функціональні складові як окремої організаційної структури, так і їх угруповання та організацію взаємодії структурних підрозділів такого угруповання при ліквідації наслідків НС. Але питання моделювання взаємодії за умови зміни складу угруповання шляхом перерозподілу сил і засобів автором не розглядалися.

В роботі [5] на прикладі моделювання взаємодії сил і засобів двох держав, що межують одна з одною, приводиться короткий опис математичної моделі координації сил і засобів під час ліквідації наслідків НС трансграничного характеру. Використання результатів даної роботи дає можливість розробити математичну модель процесу залучення ресурсів при перегрупуванні сил і засобів під час ліквідації наслідків НС.

**Постановка завдання та його вирішення.** При моделюванні процесу залучення ресурсів під час ліквідації наслідків НС необхідно визначити функцію розподілення ресурсів, що залучаються, під час перегрупування сил і засобів для ліквідації нових осередків НС.

Нехай під час розвитку НС або переході її в нову стадію можливо перегрупування (перерозподіл) сил і засобів (ресурсів). В ході розвідки зони НС визначена певна уражена територія. Рішенням органу управління для ліквідації наслідків НС виділено  $(j-1)$  ресурсів організаційної структури  $OC_1$  ( $Res\ OC_1$ ) і  $(k-1)$  ресурсів організаційної структури  $OC_2$  ( $Res\ OC_2$ ) із поточного резерву ресурсів  $j$  і  $k$ . В ході локалізації джерела небезпеки виник ще один осередок НС. Прийнято рішення перегрупувати сили та засоби, що залучені, при необхідності – залучити додаткові ресурси. В результаті має бути залучено не більше  $N\ Res\ OC_1$  і  $M\ Res\ OC_2$ . Необхідно визначити функцію розподілення.

Рішення поставленої задачі буде мати наступний вигляд.

Для ліквідації наслідків НС залучено  $(j-1)$  ресурсів  $OC_1$  і  $(k-1)$  ресурсів  $OC_2$

$$\left[ \sum_{i=1}^{(j-1) \in N} \text{Res OC}_{1i} \right] + \left[ \sum_{y=1}^{(k-1) \in M} \text{Res OC}_{2y} \right] \xrightarrow{<(j+k)} T[s],$$

де  $(j+k)$  – загальна кількість ресурсів, що виділені;  $T[s]$  – кількість оперативних підрозділів.

При виникненні іншого осередку НС залучено додатково  $\sum_{i=j}^N \text{Res OC}_{1i}$  і  $\sum_{y=k}^M \text{Res OC}_{2y}$  ресурсів з кожної сторони, залучено із діючих підрозділів у зоні ураження першого осередку  $\text{res OC}_{1s}$  і  $\text{res OC}_{2s}$

$$\left[ \sum_{i=j}^N \text{Res OC}_{1i} + \text{res OC}_{1s} \right] + \left[ \sum_{y=k}^M \text{Res OC}_{2y} + \text{res OC}_{2s} \right] \xrightarrow{N+M} T[s].$$

В результаті маємо додаткові підрозділи для локалізації осередків НС.

Додаткові ресурси, що залучаються, представлені у вигляді

$$\text{res OC}_{1s} + \text{res OC}_{2s} \xrightarrow{j+k} T[s].$$

Тоді загальний вигляд функції розподілення діючих оперативних підрозділів може бути представлений у вигляді

$$\begin{aligned} & \left\{ \left[ \sum_{i=1}^{(j-1) \in N} \text{Res OC}_{1i} \right] + \left[ \sum_{y=1}^{(k-1) \in M} \text{Res OC}_{2y} \right] \xrightarrow{<(j+k)} T[s], \Rightarrow \right. \\ & \quad \left. \text{res OC}_{1s} + \text{res OC}_{2s} \xrightarrow{j+k} T[s], \right. \\ \Rightarrow & \left[ \sum_{i=j}^N \text{Res OC}_{1i} + \text{res OC}_{1s} \right] + \left[ \sum_{y=k}^M \text{Res OC}_{2y} + \text{res OC}_{2s} \right] \xrightarrow{N+M} T[s]. \end{aligned}$$

В результаті для формування діючих загонів в складі угруповання сил і засобів задіяні  $(N+M)$  ресурсів з урахуванням їх перегрупування.

Таким чином, для формування окремих загонів в складі угруповання сил цивільного захисту визначена функція розподілення ресурсів, що залучаються, під час перегрупування сил і засобів для ліквідації нових осередків НС.

---

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Про затвердження методичних рекомендацій «Організація управління в надзвичайних ситуаціях» [Текст]: наказ МНС України від 05.10.2007р. – № 685.

2. Про єдину державну систему цивільного захисту [Текст]: постановою Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014р. № 11 // Офіційний вісник України. – 2014. – № 8. – 31 січня. – С. 341.

3. Положення про штаб з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації [Текст]: наказ МВС України від 26.12.2014. – № 1406.

4. Неклонський І.М. Структурно-функціональна модель організації взаємодії підрозділів Національної гвардії України та рятувальних сил Державної служби України з надзвичайних ситуацій [Текст] / І.М. Неклонський // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. – 2014. – Вип. 3(40). – С. 180-183.

5. Бердашев Б.Ж. Моделирование координации сил и средств сопредельных государств при ликвидации чрезвычайных ситуаций [Електронний ресурс] / Б.Ж. Бердашев // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2015. – Вип. №2(54) – Режим доступу: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-2/36-02-14.ttb.pdf>.

И.М. Неклонский, В.А. Самарин

**Моделирование процесса привлечения ресурсов при перегруппировке сил и средств во время ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций**

Для формирования отдельных отрядов в составе группировки сил гражданской защиты определена функция распределения привлекаемых ресурсов при перегруппировке сил и средств для ликвидации новых очагов чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** перегруппировка сил, ресурсы, функция распределения.

I.M. Neklonsky, V.O. Samarin

**Modeling of involvement process of resources attached to regrouping of forces and facilities during emergencies**

The distribution function of involving resources attached to regrouping of forces and facilities during elimination of new focuses of emergencies is identified for the formation of individual units as part of groups of Civil Protection Force.

**Keywords:** regrouping of forces, resources, distribution function.



*І.М. Неклонський, к.військ.н., ст. викладач, НУЦЗУ,  
В.О. Самарін, викладач, НУЦЗУ,  
В.В. Харламов, викладач, НУЦЗУ*

## СПЕКТРАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДО ДІЙ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ

(представлено д-ром техн. наук Туркіним І.Б.)

Для рішення проблеми порівняння аварійно-рятувальних підрозділів описаним набором характеристик під час оцінювання готовності їх до дій за призначенням запропонований спектральний підхід, який дозволяє не тільки кількісно оцінити рівень готовності кожного конкретного підрозділу відповідно до визначених характеристик, але і встановити ступінь впливу кожної з розглянутих характеристик на готовність підрозділів даного функціонального призначення.

**Ключові слова:** готовність, елементи готовності, показники готовності.

**Постановка проблеми.** Завдання, що покладені на сили цивільного захисту (ЦЗ), з точки зору стратегії забезпечення національної безпеки [1] вимагають осмислення на якісно новому рівні наукових знань проблемних питань готовності органів управління і сил ЦЗ до дій в надзвичайних ситуаціях (НС).

Аналіз відомих визначень готовності і методик її оцінювання показує, що належної чіткості у них поки що немає. [2] Однак зміст уявлень про готовність зводиться до поняття про стан органів управління і сил ЦЗ, який характеризуються їх здатністю до виконання завдань з урахуванням залежностей «готовність - ризик», «готовність - прийнятний збиток», «рівень готовності - рівень небезпеки», що дозволяють розглядати готовність як загальну соціальну категорію, яка відображає потребу забезпечення безпеки населення у НС. У зв'язку з цим проблема готовності – це проблема зниження ризику наслідків, що базується на концепції гарантованого забезпечення безпеки населення у НС. Основними принципами цієї концепції є: принцип зниження ризику, який передбачає раціональний комплекс захисних заходів, що забезпечують прийнятний рівень безпеки від впливу небезпечних факторів НС; принцип розумної достатності готовності сил, що передбачає такий склад органів управління і сил та їх технічне оснащення, які дозволяють успішно вирішувати поставлені завдання.

У зв'язку з цим постає ряд складних проблемних питань, пов'язаних з вивченням взаємозв'язків і взаємозалежностей основних елементів готовності сил ЦЗ.

Відповідно [3], сили і засоби ЦЗ оцінюються за загальною шкалою «готові до виконання завдань», «обмежено готові до виконання завдань», «не відповідає вимогам», а окремі показники, що впливають на підсумкову оцінку, можуть оцінюватись за різними шкалами – «задовільно», «незадовільно», або «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно».

Слід відмітити, що методологія та процедури визначення окремих показників готовності ще не в повній мірі відповідають сучасним вимогам, а по окремих з них зовсім відсутні. Це створює проблемну ситуацію щодо формування єдиного порядку проведення оцінювання готовності підрозділів та аналізу взаємозв'язків та взаємозалежностей показників відповідних елементів готовності, що властиві конкретному підрозділу ЦЗ. Тому на практиці порівняльний аналіз готовності підрозділів однієї аварійно-рятувальної служби здійснюється, як правило, тільки по одному окремому показнику.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [4, 5] представлено модель готовності рятувальної системи до дій за призначенням та порядок визначення критеріїв готовності підрозділів до проведення рятувальних робіт. В даних роботах автори розглядають рятувальну систему як систему, складовими елементами якої є відповідні фахівці (рятувальники), які використовують необхідне технічне оснащення (експлуатаційний модуль). Для визначення якості рятувальної системи змодельований процес мобілізації рятувальної системи, виходячи з оцінки та аналізу готовності до дій за призначенням. А для комплексної оцінки мобілізаційної готовності рятувальних систем в цілому розглянуто математичні моделі функціонування експлуатаційного модуля в різних експлуатаційних станах та рятувальників в різних функціональних режимах.

Але в даних роботах не враховується, що рятувальна система є складовою частиною складної системи – єдиної державної системи цивільного захисту. Це означає, що структура елементів, які впливають на рівень її готовності, буде набагато ширша.

**Постановка завдання та його вирішення.** З метою формування єдиного порядку оцінювання готовності аварійно-рятувальних формувань необхідно визначити загальну структуру основних елементів готовності сил ЦЗ та на основі аналізу значень цих елементів виробити підхід до оцінювання ступеня готовності підрозділів.

Аналіз правових вимог до оцінювання готовності функціональних і територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту [3] і теоретичних основ готовності сил і засобів до реагування на НС [2] дозволяє визначити загальну структуру основних елементів готовності сил ЦЗ, а саме:

– атестація сил виходячи з наукового прогнозу ймовірності вини-

кнення НС природного та техногенного характеру, специфічних саме для відповідного регіону (потенційно-небезпечних об'єктів, території);

– укомплектованість особовим складом, спеціальною технікою та обладнанням;

- рівень професійної підготовки;
- організованість та стійкість сил;
- організація взаємодії;
- організація і несення постійного чергування;
- наявність необхідного пакету документів з планування дій сил

і технології виконання робіт.

Відповідно до вищевикладеного, оцінювання ступеня готовності підрозділів будемо проводити на основі аналізу притаманних конкретному підрозділу значень елементів (характеристик), наприклад:

- укомплектованість підрозділу особовим складом;
- укомплектованість підрозділу технічними засобами;
- укомплектованість підрозділу засобами індивідуального захисту органів дихання і захисним одягом;

- рівень професійної підготовки особового складу підрозділу;
- наявність необхідного пакету документів з планування дій і те-

хнології виконання робіт;

- наявність запасу матеріально-технічних засобів;
- можливість виходу і розгортання в районі робіт у встановлені

терміни та інші.

Цілком припустимо допустити, що одні елементи впливають на готовність формування в більшій, а інші в меншій мірі.

Нехай кожну із зазначених вище характеристик позначимо як  $P_j$ ,  $j = 1, p$ ;  $P_j = 0$ , якщо дана характеристика відсутня у даного підрозділу  $N$ -го функціонального призначення;  $P_j = 1$ , в іншому випадку.

Тоді для кожного підрозділу певного функціонального призначення може бути побудована матриця вираженості характеристик

$$A = (a_{ij}); a_{ij} = P_j; i = 1, s. \quad (1)$$

Нехай  $W = (W_1, \dots, W_i, \dots, W_s)$  – вектор-стовпець, елементи якого характеризують вагове навантаження виражених ознак того чи іншого підрозділу з числа розглянутих.

$$W_i = \sum a_{ij}. \quad (2)$$

Якщо чисельні значення вектора  $W$  дозволяють скласти з них не зростаючу послідовність чисел, перетворивши його таким чином в век-

тор  $W'$ , для елементів якого справедливо співвідношення

$$W'_1 \geq W'_2 \geq \dots W'_i \geq W'_{i+1} \dots W'_s, \quad (3)$$

то підрозділи, що характеризуються першими  $n$  елементами вектора  $W'_i$ , є шуканим рішенням задачі оцінювання.

У разі невиконання строгої нерівності між  $i$ -м і  $i+1$ -м елементами послідовності для вирішення завдання відбору доцільно використувати спектральний підхід до порівняння підрозділів описаним набором характеристик [2, 6, 7]. Доцільність даного підходу обумовлена важливістю розглянутих нами показників для оцінювання готовності підрозділів, достатньою повнотою їх набору, а також тотожністю розглянутих нами підрозділів за функціональним призначенням.

Сутність підходу полягає у введенні числової міри характеристик, що описують сукупність розглянутих підрозділів, та визначенні із заданим ступенем точності її граничних значень на основі ітераційних розрахунків. Отримана в результаті кінцевого результату ітерація - сукупність елементів числової міри, яка суворо ранжується, і визначає шукане рішення завдання оцінювання.

На практиці даний підхід може бути реалізований наступним чином. Нехай здійснено оцінювання стану підрозділів за 4-х бальною шкалою за  $P_j$  основним показниками (характеристиками). Тоді за підсумками оцінок можна сформувати вихідну матрицю показників, що перевіряються, яка представлена в табл. 1.

**Табл. 1. Вихідна матриця характеристик, що перевіряються**

Підрозділи	Характеристики							Середній бал
	$P_1$	$P_2$	...	$P_j$	...	$P_{p-1}$	$P_p$	
$W_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1j}$	...	$a_{1(p-1)}$	$a_{1p}$	$W'_1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$W_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	...	$a_{sj}$	...	$a_{i(p-1)}$	$a_{ip}$	$W'_i$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$W_s$	$a_{s1}$	$a_{s2}$	...	$a_{sj}$	...	$a_{s(p-1)}$	$a_{sp}$	$W'_s$

Застосування найбільш поширеного на практиці методу середніх оцінок дозволяє стверджувати, що найбільш високий середній бал буде відповідати вищому рівню готовності підрозділу. Але може статися так, що при вирішенні даного завдання даний метод не дасть позитивного результату. Тобто декілька підрозділів можуть мати однакове значення середнього балу, що не дозволить відповісти на питання, яке ж із них краще підготовлене.

Разом з тим, слід зазначити, що хоча підрозділи можуть отримати однакове значення середнього балу, сумарна вага кожного показника по цим підрозділам може бути різною. Змістовно це означає, що відповідні підрозділи мають різний рівень готовності за окремими показниками, які найчастіше знаходяться між собою в складній взаємозалежності і по-різному впливають на підсумкову оцінку, яка характеризує їх готовність.

Тоді для детального кількісного оцінювання і визначення ступеня впливу того чи іншого показника на величину узагальнюючого критерію застосуємо спектральний підхід.

Для цього сформуємо матрицю нормованих значень показників готовності підрозділів (табл. 2).

**Табл. 2. Матриця нормованих значень показників готовності підрозділів**

$P_j / W_i$	$P_1$	$P_2$	...	$P_j$	...	$P_{p-1}$	$P_p$	$S_{w_i}$	$W_i'$
$W_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1j}$	...	$a_{1(p-1)}$	$a_{1p}$	$s_{w_1}$	$w_1'$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$W_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	...	$a_{sj}$	...	$a_{i(p-1)}$	$a_{ip}$	$s_{w_i}$	$w_i'$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$W_s$	$a_{s1}$	$a_{s2}$	...	$a_{sj}$	...	$a_{s(p-1)}$	$a_{sp}$	$s_{w_s}$	$w_s'$

Відповідно до проведених обчислень, вже на етапі нормування для тих зазначених підрозділів, які раніше мали однакове значення середнього бала, отримаємо відмінні один від одного значення навантажень. Проведення наступних ітерацій дозволяє уточнити їх значення.

Тоді, за підсумками розрахунків вихідна матриця показників, що перевіряються, з векторами навантажень буде мати вигляд табл. 3

**Табл. 3. Вихідна матриця характеристик, що оцінюються, з векторами навантажень**

$A(i, j)$	1	2	...	$j$	...	$p$	$W$	Місце
1	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1j}$	...	$a_{1p}$	$w_1$	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	...	$a_{sj}$	...	$a_{ip}$	$w_i$	$i$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$s$	$a_{s1}$	$a_{s2}$	...	$a_{sj}$	...	$a_{sp}$	$w_s$	$n$

Відповідно до табл. 3, вектор  $W$ , що характеризує величину узагальнюючого критерію порівняльної оцінки стану зазначених підрозділів, показує ранжування підрозділів, а вектор  $A$  – вплив кожного показника  $P_j$  на величину узагальнюючого критерію порівняльної оцінки ста-

ну даного підрозділу. Аналіз його значень дає можливість визначити характеристики тих показників, які найбільше впливають на рівень готовності того чи іншого підрозділу до вирішення покладених завдань.

Таким чином, з метою формування єдиного порядку оцінювання готовності аварійно-рятувальних формувань до дій за призначенням визначена загальна структура основних елементів готовності сил ЦЗ та на основі аналізу значень цих елементів для порівняння підрозділів описаним набором характеристик запропонований спектральний підхід. Даний підхід дозволяє не тільки кількісно оцінити рівень готовності кожного конкретного підрозділу відповідно до визначених характеристик, але і встановити ступінь впливу кожної з розглянутих характеристик на готовність підрозділів даного функціонального призначення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Стратегія національної безпеки України [Текст]: Указ Президента України від 26 травня 2015 року № 287/2015 // Офіційний вісник України. – 2015р. – № 43. – 09 червня. – С. 14.

2. Попов П.А. Теоретические основы оценки готовности АСС, АСФ к реагированию на ЧС и проведению аварийно-спасательных работ (учебное пособие) [Текст] / П.А. Попов, В.С. Федорук, М.Ф. Баринов, Д.В. Мясников. – Химки: АГЗ МЧС России. – 120 с.

3. Інструкція з перевірки та оцінки готовності функціональних і територіальних підсистем єдиної системи цивільного захисту: наказ МНС від 15.08.2007 №558 [Текст] // Офіційний вісник України. – 2007. – № 78. – 26 жовтня. – С. 79.

4. Самарин В.А. Модель готовности спасательных систем, использующих техническое оснащение для проведения аварийно-спасательных работ / В.А. Самарин, Я.С. Сокол // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Харків: НУЦЗУ, 2015. – Вип. 21. – С. 76-82. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Neklonsky.pdf>.

5. Самарин В.О. Модель готовности складових рятувальної системи до дій за призначенням [Електронний ресурс] / В.О. Самарин, І.М. Неклонський, Д.Л. Соколов // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Харків: НУЦЗУ, 2015. – Вип. 22. – С. 113-118. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Samarin.pdf>.

6. Пантелеев А.В. Теория управления в примерах и задачах: Учебное пособие [Текст] / А.В. Пантелеев, А.С. Бортаковский. – М.: Высшая школа, 2003. – С.194-217.

7. Рыкова Е.В. Спектральный подход к оценке базовых знаний

[Електронний ресурс] / Е.В.Рыкова, В.Т. Рыков // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 2. – С. 114-116. – Режим доступа: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=21681>.

И.М. Неклонский, В.А. Самарин, В.В. Харламов

**Спектральный подход к оценке готовности аварийно-спасательных подразделений к действиям по назначению**

Для решения проблемы сравнения аварийно-спасательных подразделений описанным набором характеристик при оценке готовности их к действиям по назначению предложен спектральный подход. Он позволяет не только количественно оценить уровень готовности каждого конкретного подразделения в соответствии с определенными характеристиками, но и установить степень влияния каждой из рассматриваемых характеристик на готовность подразделений данного функционального назначения.

**Ключевые слова:** готовность, элементы готовности, показатели готовности.

I.M. Neklonsky, V.O. Samarin, V.V. Kharlamov

**Spectral approach to evaluate readiness of rescue divisions for actions as intended.**

Spectral approach for solving the problem of comparison of rescue units by described set of characteristics attached to assessing their readiness for intended actions is offered. It allows you not only to quantify the level of preparedness of each individual unit in accordance with certain characteristics, but also to establish the degree of influence of each of the considered characteristics of the functionality units readiness.

**Keywords:** readiness, preparedness elements, readiness indicators.

О.О. Писклакова, к.т.н., доцент, НУЦЗУ

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЇ НС

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Розроблено постановку задачі обґрунтування критеріїв ефективності управління процесами попередження та локалізації НС. Проаналізовано загальний підхід до рішення задачі багатокритеріальної оптимізації та особливості його застосування відносно критерію ефективності управління процесом попередження і локалізації НС.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, попередження, локалізація і ліквідація НС, процес управління, потенційно небезпечний об'єкт, проблема багатокритеріальності.

**Постановка проблеми.** В останні десятиліття у світі спостерігається безперервне збільшення числа техногенних і природних катастроф і надзвичайних ситуацій (НС) з одночасним зростанням обумовлених ними соціальних і економічних втрат. У навколишнє середовище в результаті НС може потрапити відразу кілька небезпечних речовин, що буде обумовлено техногенним забрудненням навколишнього середовища і особливо атмосферного повітря, при цьому дуже важливо швидко і правильно прийняти рішення щодо попередження, локалізації і ліквідації НС. Процес попередження, локалізації і ліквідації НС (особливо при довгостроковому, середньостроковому, оперативному прогнозах загрози виникнення НС) характеризується неповною і недостовірною інформацією, малим резервом часу, наявними для прийняття рішення по екстреній допомозі населенню в районі НС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В даний час проблемами побудови системи збору інформації, обробки і прийняття управлінських рішень щодо попередження, локалізації і ліквідації НС займаються багато дослідників [1-4]. Але складність вирішення завдання моделювання і управління в надзвичайних ситуаціях викликана тим, що характер розвитку конкретної НС є індивідуальним, а саме її розвиток відбувається в умовах невизначеності, коли невідомі масштаби НС, необхідні сили і засоби по її ліквідації, необхідний обсяг матеріально-технічних ресурсів і рівень складності виконуваних робіт. Недолік оперативної інформації про прогноз і характер розвитку НС може привести до розвитку ситуації з катастрофічними наслідками.

У цих умовах актуальним стають проблеми аналізу розвитку ситуації, що враховують фактор невизначеності при прийнятті рішення,



оптимального розподілу ресурсів, що залучаються для ліквідації НС та оцінки темпів використання цих ресурсів.

**Постановка завдання та його вирішення.** Незалежно від природу об'єкту процес управління може бути в загальному випадку інтерпретований як переведення об'єкту управління з деякого початкового  $X_0$  в заданий (бажаний) кінцевий стан  $X_k$ .

Така постановка припускає, що об'єкт має властивості спостереження і керуваності. Тоді у загальному випадку завдання управління формулюється наступним чином.

У початковий момент часу  $t_0$  задано початковий стан об'єкта  $X_0$ . У загальному випадку  $X_0$  – багатовимірна змінна, тобто  $x \in R^n$ , де  $n$  – розмірність змінної. Крім того, відомо деякий бажаний стан об'єкту  $X_k$ , який може бути досягнутий у момент часу  $t_k$ . Управління  $U(t)$  полягає в переведенні об'єкта з стану  $\langle X_0, t_0 \rangle$  в стан  $\langle X_k, t_k \rangle$ . Траєкторія такого переходу визначається оператором  $\Phi$ , встановлюючою дією  $\eta(t)$  і початковим станом  $X_0$ :

$$X(t) = \Phi[X_0, t_0, U(t_0, t], \eta(t_0, t)]. \quad (1)$$

Однією з основних проблем є вибір оператора формування управління  $\pi$

$$U(t) = \pi[X(t), X_k, t] \quad (2)$$

і структура системи управління, що його реалізовує. При цьому повинен екстремізуватись деякий набір критеріїв ефективності

$$K = \{k_i(x, U)\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

що враховують міру досягнення заданої мети (кінцевого стану  $X_k$ ) та ефективність управління  $U$ .

Конкретизуємо описану вище постановку завдання для випадку управління процесами попередження та локалізації НС

Будь-який потенційно небезпечний об'єкт з точки зору НС. може знаходитись у момент часу  $t_0$  в одному з трьох початкових станів  $X_0$ :

- стабільному (стійкому);
- загрозовому (підвищеній небезпеці);
- надзвичайному.

Завдання управління в першому випадку полягає в підтримці стабільного стійкого стану, тобто у штатному функціонуванні. У другому випадку метою управління є ліквідація загрози НС шляхом пере-

ведення об'єкту із стану підвищеної небезпеки у штатний. Ці два завдання називаються управлінням процесами попередження НС. В останній ситуації завдання полягає в переведенні об'єкту з надзвичайного стану в деякий стабільний (але що відрізняється від початкового штатного) стан. Це завдання називається завданням управління процесом локалізації НС. Попередження і локалізація НС вимагають витрат різноманітних сил та засобів, тобто інтелектуальних, трудових, матеріальних ресурсів  $R = \{r_j\}, j = \overline{1, m}$ . Рівень цих витрат характеризується ефективністю управління.

Іншою найважливішою характеристикою є час вирішення задачі попередження та локалізації НС

$$T = t_k - t_0. \quad (4)$$

Це пов'язано з тим, що НС приводить до різноманітних соціально-економічних збитків  $P = \{p_l\}, l = \overline{1, L}$ , тому метою системи є мінімізація цих збитків

$$P \rightarrow \min. \quad (5)$$

Величина збитків від НС визначається часом  $T$ , отже його треба мінімізувати.

Таким чином, ефективність управління процесом попередження і локалізації НС визначається двома частковими критеріями:

- мінімумом узагальнених ресурсів (сил та засобів), що витрачаються на управління

$$\bar{R} \rightarrow \min; \quad (6)$$

- мінімумом часу стабілізації процесу

$$T \Rightarrow \min, \quad (7)$$

тобто є двохкритеріальною. У зв'язку з цим виникає проблема багатокритеріальності.

Найбільш загальний підхід до рішення задачі багатокритеріальної оптимізації полягає у формуванні узагальненого скалярного критерію. Для цього в цій конкретній ситуації можна скористатися методом функціонально-вартісного аналізу. У рамках цього методу узагальнений скалярний критерій ефективності управління процесом попередження і локалізації НС можна записати в двох формах: адитивній і мультиплікативній. У першому випадку він матиме вигляд

$$K_1 = \min_T [\bar{R}(T) + \bar{P}(T)], \quad (8)$$

де  $T$  – керована змінна;  $\bar{R}, \bar{P}$  – узагальнені оцінки, наприклад, у вартісному виразі відповідно витрат ресурсів і збитків за рахунок НС. Обов'язковою умовою коректності критерію (8) є однакова розмірність даних.

Мультиплікативний критерій має вигляд

$$K_2 = \min_T \bar{R}(T) \cdot \bar{P}(T), \quad (9)$$

або з урахуванням того, що співмножники (9) можуть мати різну розмірність і  $\rho = f(\tau)$

$$K_3 = \min_T R(T) \cdot T. \quad (10)$$

У загальному випадку, завдання управління декомпозується на дві задачі:

- планування, тобто вибору оптимальної траєкторії досягнення мети;

- оперативного управління, тобто реалізації вибраної на першому етапі траєкторії в умовах випадкових перешкод. З урахуванням цього критерії виду (8), (11) доцільно використати на першому етапі, тобто при плануванні операції по попередженню або локалізації НС. Для оцінки ефективності оперативного управління доцільно використати редуковані критерії виду

$$K_4 = \min_{R \leq R_3} T, \quad (11)$$

або

$$K_5 = \min_{T \leq T_3} T, \quad (12)$$

які визначають відповідно завдання мінімізації часу виконання операції при заданих обмежених ресурсах  $\bar{R}_3$ , чи мінімізації витрат ресурсів при умові, що час виконання операції не перевершить задане  $T_3$ .

**Висновки.** Рішення проблеми прийняття рішень по організації захисту населення в повсякденній діяльності, загрозі та розвитку НС на небезпечному об'єкті, необхідно досліджувати як складний динамічний об'єкт, її характеристики і властивості як об'єкта управління, процес організації управління в умовах постійного збору інформації через систему комплексного моніторингу, як основи створення систем інформаційної підтримки прийняття рішення в умовах повсякденної діяльності, загрози і здійснення НС.

---

## ЛІТЕРАТУРА

1. Акимов В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радаев. – М.: ФИД «Деловой экспресс», 2001. – 343 с.
2. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций / Под редакцией М.И.Фалеева. – Калуга: Облиздат, 2001. – 480 с.
3. Измалков В.И. Безопасность и риск при техногенных воздействиях / В.И. Измалков, А.В. Измалков. – М., 2006. – 120 с.
4. Кочеткова К.Е. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие / К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревский, В.А. Забечаева. – М.: АСВ, 2007. – 210 с.

О.А. Писклакова

### **Постановка задачи обоснования критериев эффективности управления процессами предупреждения и локализации ЧС**

Разработана постановка задачи обоснования критериев эффективности управления процессами предупреждения и локализации ЧС. Проанализирован общий подход к решению задачи многокритериальной оптимизации и особенности его применения в отношении критерия эффективности управления процессом предупреждения и локализации ЧС.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, предупреждение, локализация и ликвидация ЧС, процесс управления, потенциально опасный объект, проблема многокритериальности.

О.А. Pisklakova

### **The statement of the problem justify criteria effectiveness of process control and prevention of emergencies localization**

A statement of the problem justify criteria effectiveness of the prevention process management and localization of emergencies. It analyzed the general approach to the problem of multi-criteria optimization and especially its application to test the effectiveness of the control and prevention of the process of localization of emergencies.

**Keywords:** emergency, prevention, localization and liquidation of emergency situations, the management of potentially dangerous object, the problem multicriteriality.

Э.Е. Прохач, д.т.н., директор, научно-исследовательский центр  
"Мониторинг-43"

## ВЫБОР МЕТОДА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПРОМСТОКОВ КРТ

На основе анализа литературных данных и результатов собственных исследований возможных методов обеззараживания промстоков (водных растворов компонентов ракетного топлива) проведен выбор наиболее целесообразного с точки зрения простоты реализации и стоимости затрат метода нейтрализации больших объемов промстоков с высокой концентрацией гептила.

**Ключевые слова:** промстоки, гептил, нейтрализация.

**Постановка проблемы.** Организации и предприятия, функционирование которых связано с производством, хранением и использованием токсичных компонентов ракетного топлива (КРТ), относятся к объектам повышенной опасности. Такими предприятиями являются склады КРТ, полигоны, испытательные стенды и т. п., где в процессе эксплуатации скапливаются так называемые промстоки – водные растворы компонентов ракетного топлива. Попадание в окружающую среду концентрированных растворов такого горючего, как гептил и продукта его разложения – нитрозодиметиламина – веществ первого класса опасности, суперэкоотоксикантов – создает реальную угрозу здоровью населения и окружающей среде.

Известно, что одной из задач, решаемых органами Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям, является обеспечение реализации мероприятий по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций [1]. Своевременная нейтрализация токсичных промстоков, предотвращение попадания компонентов КРТ в атмосферный воздух и подземные грунтовые воды, используемые для водоснабжения населения, способствует решению указанной выше задачи.

С проблемой обеззараживания значительных количеств высококонцентрированных промстоков, КРТ, столкнулась в 2015 году администрация г. Шостки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Классификация возможных методов обеззараживания промстоков КРТ представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Методы обеззараживания промстоков КРТ**

Представленные на рис. 1 данные свидетельствуют о наличии большого количества весьма разнообразных методов нейтрализации промстоков КРТ. Задача исследования состоит в выборе наиболее приемлемого, с точки зрения затрат и простоты использования, метода нейтрализации большого количества высококонцентрированных промстоков.

При проведении работ по ликвидации участков хранения компонентов ракетных топлив и в ряде других случаев необходимо проводить нейтрализацию промстоков объемом до 50-60 м<sup>3</sup> (емкостимость

зачистного резервуара) с большими (в некоторых случаях до 700 мг/дм<sup>3</sup>) концентрациями гептила. Гептил со временем превращается в нитрозодиметиламин, нитрозодиметиламин тоже способен окисляться до нитритов и нитратов. Этот процесс интенсифицируется при перемешивании и доступе кислорода. Концентрация нитрозодиметиламина в резервуарах может составлять до 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Рассмотрим более подробно предлагаемые методы нейтрализации с точки зрения возможности обеззараживания больших объемов высококонцентрированных промстоков наиболее простыми и эффективными методами.

### *1.1 Химические методы нейтрализации*

Для детоксикации проливов и обезвреживания промстоков НДМГ в ракетных войсках стратегического назначения широко применялись *хлорная известь и две трети основная соль гипохлорита кальция* (ДТС ГК) [2]. При использовании хлорной извести обычное отношение пролитого компонента к количеству реагента составляло 1:24, при использовании ДТС ГК – 1:30. При таких соотношениях осуществляется полная нейтрализация проливов (промстоков). Вместе с тем, необходимый эффект достигается при использовании больших доз реагентов, что сопровождается образованием огромного количества осадка. Этот факт, также как и сравнительно медленное действие и значительная стоимость реагента при большом количестве нейтрализуемого вещества, существенно ограничивают применение хлорного известкования и делают его в ряде случаев неприемлемым для использования.

*Использование пероксидов водорода с добавкой ионов меди*, как показано в [3] можно считать перспективным методом нейтрализации промстоков при невысоких исходных концентрациях НДМГ (0,1-0,2%) и концентрациях гидразина до 0,3%.

Для нейтрализации промстоков с концентрацией НДМГ до 0,01% могут быть использованы *бромиды и хлориды меди в сильноокислой среде*, однако высокая стоимость реагентов и необходимость использования для нейтрализации кислот высокой концентрации делают этот метод менее перспективным, чем применение озона и пероксида водорода [4].

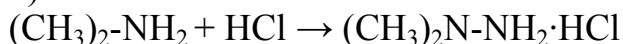
Как показали результаты исследований Лаборатории экологического мониторинга «НПО машиностроения» на космодроме «Байконур» [5], эффективным методом, позволяющим проводить полную нейтрализацию промстоков при концентрации НДМГ до 0,1%, является *применение перманганатов калия (натрия или кальция) с промотирующими добавками*.

Одним из используемых методов нейтрализации промстоков является окисление НДМГ в присутствии *черного гидроксида никеля* [6]. Поскольку соединения никеля являются дорогостоящими этот метод по сравнению с рассмотренными ранее менее эффективен и более затратен.

Для нейтрализации гептилсодержащих сточных вод и промышленных жидкостей в РВСН применяли добавки хромпика ( $K_2Cr_2O_7$ ) в количествах, рассчитанных по диаграммам [2]. В результате реакции хром(VI) восстанавливался до гидроксида Cr(III) и выпадал в осадок, который затем отфильтровывали. Учитывая, что соединения хрома относятся, как и гептил, к веществам I класса опасности, этот метод нельзя считать экологически безопасным.

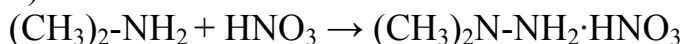
Одним из методов частичной нейтрализации является обработка промстоков НДМГ растворами минеральных и органических кислот [7]. В соответствии с этим методом для нейтрализации используют азотную, соляную, серную хлорную, уксусную, щавелевую и фосфорную кислоты. В результате взаимодействия образуется солеобразный продукт

1) с соляной кислотой



солянокислый N,N – диметилгидразин

2) с азотной кислотой



азотнокислый N, N – диметилгидразин

Полученные соли гораздо менее токсичны, чем гептил. Поэтому метод частичной нейтрализации использовали при обезвреживании проливов гептила для связывания паров НДМГ, ограничения испарения с поверхности, предотвращения образования первичного облака. На подводных лодках газы, содержащие НДМГ, перед сбросом для очистки пропускали через адсорберы с 5%-ным водным раствором щавелевой или уксусной кислоты.

К недостаткам метода следует отнести то, что реакция образования солеобразного продукта идет не до конца. В результате побочных реакций образуется много токсичных веществ, в частности, нитрозодиметиламин.

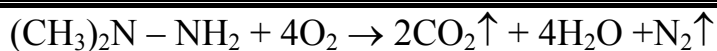
Нейтрализацию НДМГ и гидрохина кислотами можно проводить как в водном, так и в спиртовом растворах. И в том, и в другом случае образовавшаяся соль выпадает в осадок. Однако при этом в маточном растворе всегда остаются определенное количество грязной соли, а также вещества – продукты побочных реакций. Выделение этих веществ из растворов связано с существенными трудностями. Авторы рекомендуют проводить утилизацию маточного раствора путем сжигания в специальных печах.

### 1.2 Физические методы нейтрализации

При отработке и эксплуатации ракетной техники для нейтрализации промстоков с концентрацией НДМГ более 1% в настоящее время применяется физический метод нейтрализации – *метод термического разложения*.

В основе процесса очистки газовых выбросов (промстоков), содержащих НДМГ, методом сжигания лежит реакция полного окисления НДМГ кислородом при высокой температуре (850-1000 °C) по уравнению





Этот метод используется на специализированной станции нейтрализации ГП «КБ «Южное», где утилизация токсичных продуктов, образующихся в процессе нейтрализации проводится путем их сжигания на специальных установках [8]. Этот же метод применялся для нейтрализации промстоков компонентов ракетного топлива (КРТ) в ракетных войсках стратегического назначения и до настоящего времени используется в Центре эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (космодром Байконур) [9], на заправочной нейтрализационной станции Плесецка [10], на стартовом комплексе ПРОТОН [11] и т. д. Термическое разложение промстоков КРТ как правило осуществляется с помощью штатных агрегатов нейтрализации паров и промстоков 11Г426 и 11Г427.

К физическим методам нейтрализации промстоков относится также *использование ультрафиолетового излучения в сочетании с обработкой пероксидом водорода*. По мнению автора [4] одновременная обработка воды окислителями (озон, пероксид водорода) и ультрафиолетом увеличивает скорость окисления НДМГ в 100-10000 раз, при этом наблюдается взаимное усиление действия озона и ультрафиолета. Однако этот метод можно считать эффективным только на стадии доочистки при содержании НДМГ ~0,00005%. Применение метода требует проведения предварительной многостадийной очистки, включающей стадии коагуляции, гомогенной окислительной обработки пероксидом водорода, адсорбционно окислительной обработки, ультрафильтрации, осмотической обработки. Установки производительностью 1-10 м<sup>3</sup>/ч, реализующие описанную технологию, обеспечивают нейтрализацию промстоков с концентрацией загрязнителя 5 мг/л.

Таким образом, использование метода возможно при наличии комплекса очистных сооружений и специальных установок и применимо для стоков с небольшой (0,00005%) концентрацией загрязнителя, что делает метод практически непригодным для нейтрализации промстоков НДМГ в условиях хранилищ компонентов ракетных топлив.

Широко разрекламированные *кавитационные методы* нейтрализации промстоков до настоящего времени не нашли практического применения. Проведенные нами испытания показали, что при четырех циклах в день кавитационной обработки однопроцентного водного раствора концентрация НДМГ снижалась всего на 13-15%.

### 1.3 Физико-химические методы

Проведенные нами совместно со специалистами Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт» исследования показали высокую эффективность нейтрализации промстоков с концентрацией гептила 0,1 – 0,2% путем использования озонирова-

ния в сочетании с активирующими добавками – пероксидом водорода или металлами с высокой каталитической активностью [12], [13].

Перспективность использования *озонирования* в сочетании с пероксидом водорода или сильными минеральными кислотами для обезвреживания промстоков при содержании НДМГ и гидразина (0,1-0,2%) подтверждена проверкой на очистных сооружениях [14], [15].

В НПО «Катализ» (Ангарск, Российская Федерация) разработана и внедрена на ФГУП «Красноярский машиностроительный завод» комплексная технология очистки гептильных промстоков (ГПС) производительностью 6,25 м<sup>3</sup>/ч, объединяющая такие физико-химические методы, как жидкофазное окисление НДМГ с использованием гетерогенных металлокомплексных катализаторов и окисление НДМГ с помощью электрокаталитического реактора. Процесс очистки многостадийный, на разных стадиях применяются различные методы.

Первая стадия – жидкофазное каталитическое окисление (гомогенный катализ) кислородом под давлением 0,3 МПа при температуре 95°C. В качестве катализаторов используются ионы металлов в виде шпинельной формы, закрепленные на керамическом или полимерном носителе (ГМК). Эффективность очистки по НДМГ 77,1% при исходной концентрации 5,67 мг/дм<sup>3</sup>, эффективность очистки по гидразину 38% при исходной концентрации 2,6 мг/дм<sup>3</sup>.

Вторая стадия – биокаталитическая обработка гептильных промстоков. Используется метод биокаталитического окисления кислородом воздуха легколетучих трудноокисляемых органических и неорганических соединений в присутствии гетерогенных катализаторов и смеси микроорганизмов активного ила. Рекомендуются гетерогенные катализаторы выполнены в виде сетчатых объемных блоков. Эффективность очистки по НДМГ 100% при исходной концентрации 0,217 мг/дм<sup>3</sup>, эффективность очистки по гидразину 38,1% при исходной концентрации 4,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Третья стадия – окисление ГПС в электрокаталитическом аппарате на поверхности гетерогенного катализатора. Очистка ГПС в электрокаталитическом аппарате основана на процессах электролиза, электрофореза, электрокоагуляции, электроокисления и восстановления, что обеспечивается за счет наложения постоянного электрического поля на растворимые стальные электроды и гетерогенный металлокомплексный катализатор в виде шпинеля, размещенный в межэлектродном пространстве. При электролизе образуются гидроксиды железа и кобальта, которые вызывают быструю коагуляцию. Эффективность очистки по гидразину 38,0% при исходной концентрации 2,6 мг/дм<sup>3</sup>.

Четвертая стадия – адсорбционная каталитическая доочистка за счет фильтрации через адсорбент-катализатор.

**Постановка задачи и ее решение.** Рассмотрение предлагаемых методов нейтрализации позволяет сделать вывод о том, что несмотря

на большое разнообразие лишь немногие из предлагаемых методов могут быть использованы для нейтрализации промстоков в условиях центров хранения КРТ. Часть предлагаемых методов проходит этап лабораторной отработки, другие требуют для своего использования громоздкого и дорогостоящего оборудования (примером служит Красноярский машиностроительный завод), для применения третьих (в случае использования эйхорнии) необходимы специальные бассейны. Преимущественная часть методов не позволяет нейтрализовать промстоки с высокой концентрацией гептила. Поэтому в войсках, на космодромах и центрах хранения компонентов ракетных топлив для нейтрализации промстоков до настоящего времени, используются химическая нейтрализация и термическое разложение промстоков, многократно проверенные, эффективные при больших концентрациях компонентов и несложные в применении. Таким образом, для решения задачи выбора метода нейтрализации промстоков гептила большой концентрации остается провести сопоставительный анализ методов химической нейтрализации и термического разложения промстоков в агрегатах дожигания. Оценим эти методы с точки зрения необходимых затрат. Определяющую часть затрат составляют стоимость реагента при химической нейтрализации и стоимость дизельного топлива при термическом разложении.

При использовании метода химической нейтрализации стоимость реагента (хлорной извести) может быть рассчитана по формуле

$$C_p = c_r \cdot V_{nc} \cdot n \cdot C_r \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где  $c_r$  – концентрация гептила и нитрозодиметиламина (в пересчете на гептил) в промстоках, мг/дм<sup>3</sup>;  $V_{nc}$  – объем промстоков, дм<sup>3</sup>;  $n$  – отношение необходимой массы реагента к массе промстоков;  $C_r$  – цена реагента, грн/кг.

В случае применения агрегата Г427 для термического разложения промстоков основные затраты связаны со стоимостью дизельного топлива. Стоимость дизтоплива может быть рассчитана по формуле

$$C_T = q \cdot C_T \cdot V_{nc} / N, \quad (2)$$

где  $V_{nc}$  – объем промстоков, дм<sup>3</sup>;  $q$  – расход дизтоплива, дм<sup>3</sup>/час;  $C_T$  – цена дизельного топлива, грн/ дм<sup>3</sup>;  $N$  – производительность агрегата Г427 при концентрации гептила в промстоках до 10 %, дм<sup>3</sup>/час.

Заметим, что стоимость, определяемая по формулам (1) и (2), прямо пропорциональна объему промстоков, что позволяет легко определить искомую величину для любого типа емкостей.

Пусть суммарная концентрация гептила и нитрозодиметиламина в пересчете на гептил в нейтрализуемых промстоках составляет  $C_r=180$  г/дм<sup>3</sup>. Тогда необходимая масса хлорной извести для нейтрализации 40

м<sup>3</sup> промстоков составит 172800 кг, а ее стоимость в ценах по состоянию на январь 2016 года - 3456000 грн. Расчеты, проведенные по формуле (2), показывают, что для тех же условий стоимость необходимого количества дизельного топлива даже с учетом необходимости разбавления промстоков будет составлять 210528 грн., то есть в 16,4 раза меньше.

Следует учесть, что нейтрализация 40-60 м<sup>3</sup> промстоков гептила может быть достигнута использованием больших доз реагентов, что приведет к образованию огромного количества осадка. Это обстоятельство, наряду со сравнительно медленным действием и значительной стоимостью реагента при большом количестве нейтрализуемого вещества, делают более предпочтительным для нейтрализации промстоков гептила метод термического разложения.

**Выводы.** Наиболее целесообразным с точки зрения простоты реализации и стоимости затрат для нейтрализации большого количества высококонцентрированных промстоков гептила является использование метода термического разложения с применением штатных агрегатов дожигания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України. – ст. 8.
2. Инструкция по нейтрализации технических средств после работы с меланжами, амилон, гептилом, самином и продуктом. Т 185. – Военное издательство МО СССР. – 1971.-112 с.
3. Пестунова О.П. Очистка водных растворов от 1,1-диметилгидразина путем его каталитического окисления пероксидом водорода / О.П.Пестунова, Г.Л.Елизарова, В.Н.Пармон // Журнал прикладной химии. – 1999. – Т. 72. – №7. – С. 1147-1151.
4. Правошинский Н.А. Обзор методов обеззараживания сточных вод. Режим доступа: <http://www.svarog-uv.ru/disinfwastewater.htm>.
5. Способ детоксикации несимметричного диметилгидразина. Режим доступа: <http://findpatent.ru/patent/242/2424020.html>.
6. Исмагилов И.З. Новые технологии обезвреживания гептила / И.З. Исмагилов, М.А. Керженцев, З.Р. Исмагилов // Тезисы докладов Всероссийской конференции с иностранным участием «Каталитические технологии защиты окружающей среды для промышленности и транспорта» (Санкт-Петербург, 11-14 декабря 2007 года). – Санкт-Петербург, 2007. – С.133-135.
7. Пат.69515А Україна МКВ<sup>7</sup> С01В21/16, С01В21/20. Спосіб утилізації компонентів ракетного палива на основі гідразину та його похідних / [О.Г.Панасюк, А.П.Ранський, В.І.Ільченкло та інш.]; заявник та патентовласник О.Г.Панасюк, А.П.Ранський, В.І.Ільченкло та інш. – №2000116818; заяв. 29.11.00, опубл. 15.09.04, Бюл. №9.

8. Шевченко Г.В. Станция нейтрализации и демонтажа ракет СС-19 / Г.В.Шевченко // Материалы конференции [“NATO SCIENCE PROGRAMME AND COOPERATION PARTNERS. Advance Research Workshop (ARW) Conversion and Ecology”], (Ukraine, Dnipropetrovsk, 24-27 April 1997). – Dnipropetrovsk, 1997. – P. 35.

9. Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры. Режим доступа [www.tsenki.com/launch\\_services/help\\_information/articles/?...ID](http://www.tsenki.com/launch_services/help_information/articles/?...ID).

10. ЗНС Плесецк. Режим доступа: [http://kiksssr.ru/ZNS\\_Pleseck.htm](http://kiksssr.ru/ZNS_Pleseck.htm).

11. Стартовый комплекс ПРОТОН, его сооружения и системы. – Режим доступа: [http://chast-93764.Narod.u/books\\_articles\\_buklets/start\\_objects.html](http://chast-93764.Narod.u/books_articles_buklets/start_objects.html).

12. Golota V.I. Ozone Treatment of Hydrazine-containing Water Solution / V.I. Golota, V.I. Taran, G.V. Zamuriev, A.A. Egorov, M.A. Mikhalskaia, L.L. Prokhach // PROBLEMS OF ATOMIC SCIENCE AND TECHNOLOGY №4 (86). – Series “Hlasma Electronics and New Methods of Acceleration”. – Issue 8, 2013 – p.p. 325-327.

13. Голота В.И. Нейтрализация гептила в водном растворе методом озонной обработки / Голота В.И., Таран Г.В., Замуриев А.А., Егоров М.А. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Випуск 4(41), 2014. – С.82-86.

14. Басова Л.Л. Оптимизация процессов очистки промышленных стоков. Отчет. Испытания технологических блоков очистки воды на объекте Красный Бор. / Басова Л.Л., Чикишев С.В. – Режим доступа: <http://servisros.ru/?p=851>, 31.08.2011.

15. Кочетков А.Ю. Обезвреживание гептильных промышленных стоков и хозяйственно-бытовых сточных вод / Кочетков А.Ю., Коваленко Н.А., Манахов А.П. – Режим доступа: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-394832.htm>.

Е.С. Прохач

#### **Вибір методу нейтралізації промстоків КРТ**

На підставі аналізу літературних даних та результатів особистих досліджень методів знешкодження промстоків (водних розчинів компонентів ракетного палива) проведено вибір найбільш доцільного з точки зору найпростішої реалізації і найменшої вартості метода нейтралізації великих об'ємів промстоків с високою концентрацією гептилу.

**Ключові слова:** промстоки, гептил, нейтралізація.

Е.У. Prokhach

#### **Choice by neutralizing effluents MCT**

Based on the analysis of literature data and the results of their own research methods possible decontamination effluent (aqueous solutions of components of rocket fuel) held naboolee expedient choice from the standpoint of ease of implementation and cost allocation method neutralize large amounts of industrial waste with high concentrations of heptyl.

**Keywords:** industrial waste, heptyl, neutralization.

*А.С. Рогозін, к.т.н., доцент, нач. НДЛ, НУЦЗУ,  
О.В. Пирогов, к.т.н., викладач, НУЦЗУ,  
Є.А. Яровий, викладач, НУЦЗУ*

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ПО РЕГІОНАМ УКРАЇНИ

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

В статті представлено результати оптимізації сил цивільного захисту по регіонах країни на основі врахування стохастичної природи виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій та можливої участі в процесі ліквідації НС сил цивільного захисту з інших регіонів.

**Ключові слова:** модель, оптимізація, сили, цивільний захист, розподіл, регіони.

**Постановка проблеми.** Загострення проблем пов'язаних з кризовими процесами в економіці країни, обумовлює актуальність питань оптимізації витрат на виконання основних функцій держави. Однією з основних функцій держави є забезпечення цивільного захисту населення та територій.

Більша частина ресурсів, яка виділяється на забезпечення цивільного захисту, витрачається на утримання сил цивільного захисту. Ефективність реалізації функції цивільного захисту потрібно розглядати за критерієм відповідності кількісних параметрів сил цивільного захисту рівню реалізації небезпек на території.

Отже оптимізація розподілу сил цивільного захисту по території країни є актуальною нетривіальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [1-3] розглянуті питання використання методів математичного програмування для оптимізації розподілення сил та засобів.

Формалізація процесу реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах України присвячені роботи [4-6]. Формалізації залучення сил цивільного захисту для ліквідації надзвичайних ситуацій на території України присвячена робота [7]. Питання визначення оптимальної кількості сил цивільного захисту та їх розподіл по регіонах країни, як задача математичного програмування, не розглядалась.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є оприлюднення результатів оптимізації розміщення сил цивільного захисту по регіонах.

Досвід ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (НС) регіонального та державного рівня, обумовлює при визначенні чисельності сил цивільного захисту, враховувати необхідність залучення до ліквідації

наслідків НС підрозділів з різних регіонів.

При розподілі сил цивільного захисту по регіонах країни необхідно враховувати:

- інтенсивність реалізації загроз на території;
- інтенсивність ліквідації наслідків НС;
- очікувану кількість залучених сил до ліквідації наслідків НС;
- можливість залучення до ліквідації наслідків НС з інших регіонів.

Оптимізація розміщення сил цивільного захисту здійснювалась виходячи з математичного очікування знаходження сил цивільного захисту регіонів в стані ліквідації НС, які знаходилися на основі розгляду виникнення та ліквідації наслідків НС, як дискретного марківського процесу [8] а залучення сил, як випадкової величини розподіленою за показовим законом [7]

$$M[W_i] = M[P_i] \cdot M[L_i], \quad (1)$$

де  $M[P_i]$ ,  $M[L_i]$  – математичні очікування знаходження сил в стані ліквідації НС та кількості сил цивільного захисту, що залучаються до ліквідації НС відповідно.

Результати розрахунку математичного очікування залучення сил цивільного захисту по регіонах України представлено в табл. 1.

**Табл. 1. Математичне очікування залучення сил цивільного захисту по регіонах України**

Область	$M[W_i]$	Область	$M[W_i]$
Вінницька	0,000510134	Полтавська	0,000239983
Дніпропетровська	0,001134693	Рівненська	0,000446243
Донецька	0,001938413	Ар. Крим	0,000912716
Житомирська	0,000235929	Сумська	0,000167172
Запорізька	0,00072277	Тернопільська	0,000354573
Івано-Франківська	0,000113256	Закарпатська	0,000621264
Київська	0,00063242	Харківська	0,000520315
Кіровоградська	0,0002808	Херсонська	0,000601287
Луганська	0,000492434	Хмельницька	0,000222444
Волинська	0,0002939	Черкаська	0,000178171
Львівська	0,000885266	Чернігівська	0,000301987
Миколаївська	0,000620153	Чернівецька	0,000163129
Одеська	0,000551331		

Для спрощення задачі оптимізації розміщення сил на території регіонів, вважалось, що сили цивільного захисту сконцентровані в адміністративному центрі регіону.

Врахування часу слідування сил ЦЗ регіонів здійснювалось на підставі відстані між адміністративними центрами областей.

Внесок сил сусідніх регіонів у ліквідацію надзвичайної ситуації оцінювалось на основі розгляду часу ліквідації НС, як випадкової величини розподілену за показовим законом [9]

$$Q_j = \mu_j e^{-\mu_j \frac{L_j}{v_{cp}}}, \quad (2)$$

$\mu_j$  – параметр закону розподілу часу ліквідації надзвичайної ситуації на території  $j$ -го регіону;  $L$  – відстань між адміністративними центрами регіонів;  $v_{cp}$  – середня швидкість руху сил цивільного захисту регіону.

В ході аналізу часу ліквідації НС було встановлено, що час ліквідації НС по регіонам України підкоряється показовому закону розподілу, параметри закону для областей України представлено в табл. 2.

**Табл. 2. Параметри показового закону розподілу часу ліквідації НС**

Область	$\mu_j$ (діб)	Область	$\mu_j$ (діб)
1. Вінницька	0,15856777	14.Полтавська	0,1741573
2. Дніпропетровська	0,12356687	15.Рівненська	0,160120846
3. Донецька	0,16274752	16. Ар. Крим	0,1536189
4. Житомирська	0,354285714	17. Сумська	0,25806451
5. Запорізька	0,18097014	18. Тернопільська	0,14828897
6. Івано-Франківська	0,444444	19. Закарпатська	0,11067193
7. Київська	0,26215644	20. Харківська	0,2642487
8. Кіровоградська	0,19685039	21. Херсонська	0,21076233
9. Луганська	0,36138613	22. Хмельницька	0,26666666
10. Волинська	0,1559633	23. Черкаська	0,36774193
11. Львівська	0,14619883	24. Чернігівська	0,34821428
12. Миколаївська	0,18260869	25. Чернівецька	0,23140495
13. Одеська	0,22738386		

Результати розрахунку згідно (2) представлено в табл. 3, нумерація регіонів в табл.3 прийнята, як в табл. 2. В таблиці в рядках занесені ймовірності того, що сили  $i$ -го регіону встигнуть прийняти участь у ліквідації НС.



Табл. 3. Ймовірність прийняття силами регіону участі в ліквідації НС

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1,0000	0,0546	0,0535	0,0565	0,0543	0,0554	0,0559	0,0557	0,0529	0,0554	0,0554	0,0550	0,0552
2	0,1588	1,0000	0,1724	0,1564	0,1796	0,1441	0,1626	0,1725	0,1658	0,1465	0,1442	0,1689	0,1632
3	0,3260	0,6343	1,0000	0,3007	0,6396	0,2054	0,3596	0,4740	0,7132	0,2215	0,2063	0,4296	0,3665
4	0,3052	0,2434	0,2176	1,0000	0,2339	0,2628	0,3033	0,2658	0,2074	0,2872	0,2690	0,2476	0,2518
5	0,0615	0,0646	0,0637	0,0610	1,0000	0,0594	0,0618	0,0633	0,0628	0,0596	0,0594	0,0631	0,0623
6	0,1524	0,1333	0,1258	0,1494	0,1313	1,0000	0,1446	0,1414	0,1215	0,1559	0,1609	0,1385	0,1427
7	0,2509	0,2311	0,2098	0,2634	0,2233	0,2206	1,0000	0,2477	0,2013	0,2384	0,2253	0,2277	0,2310
8	0,1805	0,1840	0,1719	0,1748	0,1807	0,1627	0,1814	1,0000	0,1649	0,1629	0,1628	0,1874	0,1795
9	0,2094	0,2708	0,3031	0,2080	0,2717	0,1763	0,2226	0,2424	1,0000	0,1851	0,1767	0,2335	0,2198
10	0,0167	0,0165	0,0164	0,0167	0,0164	0,0167	0,0167	0,0165	0,0163	1,0000	0,0168	0,0165	0,0165
11	0,0494	0,0474	0,0466	0,0493	0,0472	0,0502	0,0488	0,0483	0,0461	0,0502	1,0000	0,0478	0,0479
12	0,0663	0,0671	0,0655	0,0655	0,0670	0,0643	0,0659	0,0681	0,0646	0,0638	0,0639	1,0000	0,0684
13	0,0574	0,0573	0,0561	0,0568	0,0572	0,0564	0,0572	0,0579	0,0554	0,0556	0,0557	0,0588	1,0000
14	0,1205	0,1297	0,1248	0,1224	0,1274	0,1124	0,1259	0,1281	0,1224	0,1166	0,1135	0,1225	0,1201
15	0,1148	0,1055	0,1012	0,1173	0,1040	0,1152	0,1146	0,1091	0,0994	0,1196	0,1167	0,1062	0,1068
16	0,0587	0,0605	0,0599	0,0581	0,0610	0,0571	0,0585	0,0602	0,0591	0,0568	0,0568	0,0611	0,0604
17	0,1265	0,1329	0,1297	0,1298	0,1304	0,1185	0,1336	0,1311	0,1285	0,1233	0,1198	0,1250	0,1224
18	0,0496	0,0476	0,0468	0,0493	0,0474	0,0499	0,0488	0,0484	0,0463	0,0498	0,0499	0,0479	0,0481
19	0,1010	0,0924	0,0889	0,0997	0,0915	0,1057	0,0976	0,0961	0,0869	0,1036	0,1060	0,0939	0,0955
20	0,0748	0,0792	0,0786	0,0755	0,0784	0,0717	0,0768	0,0776	0,0782	0,0734	0,0722	0,0763	0,0751
21	0,1703	0,1807	0,1702	0,1645	0,1819	0,1559	0,1680	0,1840	0,1633	0,1532	0,1536	0,1933	0,1863
22	0,0540	0,0517	0,0507	0,0537	0,0514	0,0535	0,0531	0,0527	0,0501	0,0534	0,0535	0,0521	0,0522
23	0,2535	0,2549	0,2305	0,2523	0,2459	0,2173	0,2681	0,2764	0,2168	0,2273	0,2177	0,2506	0,2422
24	0,0421	0,0407	0,0401	0,0419	0,0405	0,0425	0,0415	0,0413	0,0397	0,0420	0,0422	0,0413	0,0416
25	0,0662	0,0652	0,0637	0,0670	0,0647	0,0641	0,0680	0,0661	0,0634	0,0654	0,0645	0,0647	0,0649

## Продовження табл. 3

	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0,0545	0,0557	0,0536	0,0544	0,0560	0,0545	0,0539	0,0547	0,0565	0,0556	0,0557	0,0552
2	0,1753	0,1493	0,1635	0,1673	0,1491	0,1362	0,1736	0,1695	0,1536	0,1690	0,1464	0,1582
3	0,5367	0,2418	0,4337	0,4785	0,2407	0,1582	0,6100	0,4526	0,2765	0,4311	0,2207	0,3206
4	0,2587	0,2969	0,2131	0,2598	0,2791	0,2381	0,2426	0,2403	0,2942	0,2758	0,2701	0,2826
5	0,0635	0,0600	0,0630	0,0624	0,0601	0,0582	0,0633	0,0634	0,0607	0,0627	0,0597	0,0613
6	0,1333	0,1552	0,1281	0,1336	0,1609	0,1549	0,1289	0,1363	0,1567	0,1406	0,1607	0,1395
7	0,2435	0,2453	0,2001	0,2439	0,2323	0,2026	0,2304	0,2219	0,2431	0,2573	0,2259	0,2623
8	0,1838	0,1662	0,1706	0,1748	0,1687	0,1532	0,1767	0,1838	0,1742	0,1902	0,1654	0,1747
9	0,2598	0,1914	0,2343	0,2549	0,1873	0,1597	0,2796	0,2382	0,1975	0,2338	0,1813	0,2189
10	0,0165	0,0168	0,0164	0,0165	0,0168	0,0166	0,0165	0,0165	0,0167	0,0166	0,0167	0,0166
11	0,0476	0,0499	0,0467	0,0476	0,0502	0,0497	0,0471	0,0476	0,0498	0,0482	0,0497	0,0483
12	0,0661	0,0643	0,0671	0,0650	0,0647	0,0625	0,0657	0,0688	0,0654	0,0669	0,0652	0,0650
13	0,0566	0,0560	0,0572	0,0558	0,0563	0,0550	0,0562	0,0585	0,0568	0,0573	0,0570	0,0565
14	1,0000	0,1183	0,1193	0,1297	0,1152	0,1078	0,1306	0,1223	0,1177	0,1276	0,1136	0,1243
15	0,1080	1,0000	0,1003	0,1081	0,1178	0,1113	0,1054	0,1050	0,1171	0,1106	0,1145	0,1116
16	0,0596	0,0571	1,0000	0,0587	0,0575	0,0557	0,0595	0,0615	0,0581	0,0595	0,0578	0,0579
17	0,1378	0,1251	0,1216	1,0000	0,1216	0,1134	0,1377	0,1248	0,1245	0,1335	0,1199	0,1336
18	0,0476	0,0498	0,0468	0,0476	1,0000	0,0492	0,0471	0,0477	0,0500	0,0484	0,0498	0,0482
19	0,0924	0,1026	0,0892	0,0925	0,1048	1,0000	0,0904	0,0930	0,1029	0,0958	0,0953	0,1034
20	0,0799	0,0740	0,0754	0,0795	0,0728	0,0700	1,0000	0,0764	0,0738	0,0775	0,0722	0,0765
21	0,1719	0,1563	0,1826	0,1635	0,1592	0,1445	0,1701	1,0000	0,1644	0,1761	0,1621	0,1610
22	0,0517	0,0537	0,0508	0,0517	0,0540	0,0526	0,0511	0,0518	1,0000	0,0526	0,0537	0,0525
23	0,2607	0,2342	0,2238	0,2532	0,2294	0,1989	0,2459	0,2463	0,2405	1,0000	0,2228	0,2565
24	0,0407	0,0420	0,0404	0,0407	0,0424	0,0405	0,0403	0,0411	0,0424	0,0412	1,0000	0,0411
25	0,0663	0,0659	0,0629	0,0668	0,0650	0,0661	0,0656	0,0643	0,0657	0,0669	0,0645	1,0000

Використавши цільову функцію наступного виду

$$f(W) = \sum_{j=1}^{25} \left( \frac{M[W_j]}{W_j + \sum_{i=1}^{24} m \cdot (W_i - M[W_i]) \cdot Q_j} \right) + \sum_{j=1}^{25} \left( \frac{M[W_j]}{W_j - (m(W_j - M[W_j]))} \right) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де  $W_j$ ,  $W_i$  – відносна кількість сил цивільного захисту на території  $j$ -го та  $i$ -го регіонів відповідно;  $m$  – коефіцієнт, що враховує, яку частину вільних сил цивільного захисту можна залучати до ліквідації надзвичайної ситуації в інших регіонах.

В табл. 4 представлено результати оптимізації отримані на основі використання методу послідовного квадратичного програмування (SQP, sequential quadratic programming).

**Табл. 4. Результати оптимізації розташування сил по території країни**

Область	$W_i$	Область	$W_i$	Область	$W_i$
Вінницька	0,04173	Волинська	0,03172	Тернопільська	0,03482
Дніпропетровська	0,06195	Львівська	0,05472	Закарпатська	0,04587
Донецька	0,08060	Миколаївська	0,04597	Харківська	0,04214
Житомирська	0,02847	Одеська	0,04336	Херсонська	0,04527
Запорізька	0,04959	Полтавська	0,02872	Хмельницька	0,02765
Івано-Франківська	0,01975	Рівненська	0,03902	Черкаська	0,02478
Київська	0,04642	Ар. Крим	0,05557	Чернігівська	0,03215
Кіровоградська	0,03106	Сумська	0,02399	Чернівецька	0,02369
Луганська	0,04099				

**Висновки.** Отримані результати оптимізації доцільно враховувати при реалізації функцій організації, регулювання та координації в сфері цивільного захисту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций / Вентцель Е.С. – М.: Советское радио, 2001. – 208 с.
3. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле / Ю.В. Чуев.

ев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.

4. Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру / А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2012. – Вип. 16. – С. 95-106.

5. Формалізація реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах з високим рівнем техногенного навантаження / А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 17. – С. 138-145.

6. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької області / А.С. Рогозін // Зб. наукових праць ХУПС. Вип. 2(35). – 2013. – С. 206-208.

7. Рогозін А.С. Формалізація залучення сил цивільного захисту для ліквідації надзвичайних ситуацій на території України / А.С. Рогозін, С.О. Склярів // Системи обробки інформації. Вип. 1(117). – 2014. – С. 241-243.

8. Рогозін А.С. Аналіз процесу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій силами цивільного захисту регіонів з високим рівнем техногенного навантаження / А.С. Рогозін // Системи обробки інформації. Вип. 4(120). – 2014. – С. 212-214.

9. Рогозін А.С. Аналіз ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру на території Київської, Харківської, Луганської, Одеської областей / А.С. Рогозін // Зб. наукових праць ХУПС. Вип. 3(40). – 2014. – С. 190-192.

А.С. Рогозин, А.В. Пирогов, Е.А. Яровый

#### **Оптимизация распределения сил гражданской защиты по регионам Украины**

В статье представлены результаты оптимизации сил гражданской защиты по регионам страны полученные на основе учета стохастической природы возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и возможного участия в процессе ликвидации ЧС сил гражданской защиты из других регионов.

**Ключевые слова:** модель, оптимизация, силы, гражданская защита, распределение, регионы.

A.S. Rogozin, A.V. Pirogov, Y.A. Yarovoj

#### **Optimization apportionment of civil protection forces in the regions of Ukraine**

The article presents the results of the optimization of civil protection forces to the regions obtained by taking into account the stochastic nature of occurrence and liquidation of emergency situations and possible participation in the process of liquidation of emergency civil protection forces from other regions.

**Keywords:** model, optimization, forces, civil protection, distribution, regions.

*Ю.М. Сенчихін, к.т.н., професор, НУЦЗУ,  
В.Г. Аветісян, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
І.Г. Дерев'янку, викладач, НУЦЗУ*

## **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СИЛ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПРОЛИВІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН (НХР)**

(представлено д-ром техн. наук Тарасенком О.А.)

Обґрунтовано та представлено удосконалену, зручну у використанні, методику розрахунку сил та засобів для локалізації проливів НХР твердими сипучими матеріалами, повітряно-механічною піною та обвалуванням місця проливу. Запропоновано використання даної методики у довіднику керівника гасіння пожежі.

**Ключові слова:** небезпечні хімічні речовини, локалізація, пролив, нейтралізація, нормативні показники, сили та засоби, оперативні дії.

**Постановка проблеми.** На керівника ліквідації надзвичайної ситуації (КЛНС)/керівника гасіння пожежі (КГП) покладається значна роль у визначенні потрібної кількості сил та засобів для здійснення оперативної роботи в умовах, що визначає обстановка, тої або іншої надзвичайної ситуації (НС), а саме гасіння пожеж на об'єктах з наявністю НХР. КЛНС/КГП в даних умовах потрібно здійснювати розрахунки не тільки сил та засобів для гасіння пожежі, а також потрібну кількість сил та засобів для локалізації зон дії НХР.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У [1, 2] порядок визначення нормативних показників, а в цілому сил та засобів ґрунтується на особистому досвіді КГП та об'явленням номеру виклику, за яким прибуває визначна кількість відділень на основних пожежно-рятувальних автомобілях (ПА) та спеціальних підрозділів без врахування умов НС.

Представлений у [3, 4] порядок визначення сил та засобів для локалізації дії НХР базується на підставі норм виконання робіт за умов на пожежі, НС, достатньо розкриває порядок їх обґрунтування, але в цілому не дає можливість оперативно, в умовах здійснення оперативних дій розрахувати потрібну кількість сил та засобів для виконання окремих видів робіт під час гасіння пожеж в умовах дії небезпечних чинників НХР. До того ж, методики мають протиріччя, що призводить до визначення необґрунтованих показників.

**Постановка завдання та його вирішення.** На підставі технічного завдання на НДР (державний реєстраційний № 0114U002477)

«Провести дослідження та розробити довідник керівника гасіння пожежі (Довідник КГП)» одним з очікуваних результатів є методика (особливості) розрахунку сил та засобів для гасіння пожеж на об'єктах з наявністю НХР.

Враховуючи досвід гасіння пожеж на різноманітних об'єктах, умов і обстановки на пожежах, експериментальних та теоретичних досліджень [5, 6], тактико-технічних характеристик пожежно-рятувальної техніки та обладнання [7] пропонується наступна (проста у використанні) аналітична методика розрахунку сил та засобів для локалізації проливів НХР наступними методами.

*Локалізація проливів НХР твердими сипучими матеріалами.*

Проводиться з метою ізоляції парів НХР від навколишнього середовища, а також зменшення площі розтікання. Цей спосіб локалізації застосовується для рідких НХР які мають невелику швидкість випаровування, а також у тих випадках коли воду застосовувати неможна, а речовини для нейтралізації відсутні.

Кількість сипучих матеріалів (у тонах) для накриття місця розливу визначається за формулою

$$V_{с.м.} = 0,15S_p M, \quad (1)$$

де 0,15 – товщина шару засипки, м;  $S_p$  – площа розливу,  $m^2$ ;  $M$  – об'ємна вага сипкого матеріалу,  $t/m^3$  (визначається за табл. 1).

**Табл. 1. Об'ємна вага (густина) ґрунтів, що застосовуються при знешкодженні НХР**

Ґрунти	Об'ємна вага (густина) $M$ , $t/m^3$
Глина в ґрунті за щільної маси	1,69...1,93
Глина з камінням-голяками в ґрунті	2,0...2,7
Ґрунт піщано-глинистий	2,5...2,7
Дерен	1,4
Земля в рослинному ґрунті	1,52
Земля торф'яна	0,5...0,8
Земля глиниста в ґрунті	1,6
Земля, змішана з піском і гравієм	1,86
Земля садова свіжа	2,05
Земля садова суха	1,72
Пісок чистий сухий	1,37...1,62
Пісок вологий	1,43...1,94
Пісок яружний глинистий	1,69...1,77
Пісок річковий вологий	1,77...1,86

*Локалізація проливів НХР повітряно-механічною піною.*

Проводиться з метою ізоляції поверхні пролитого НХР від атмосферного повітря задля припинення випаровування. Цей спосіб локалізації, як

правило застосовується для займистих та легкозаймистих рідин.

Об'єм піни для накриття місця розливу шаром ( $h_p$ ) визначається за формулою

$$V_{\text{ПМП}}^{\text{розл}} = S_{\text{розл}} h_p, \quad (2)$$

де  $S_{\text{розл}}$  – площа розливу,  $\text{м}^2$ ;  $h_p$  – товщина шару піни, м (приймається 0,1 м).

Час виконання робіт, хв, визначається за формулою

$$\tau_{\text{роб}} = V_{\text{ПМП}}^{\text{розл}} / Q_{\text{ГПС(СПП)}}^{\text{п}}, \quad (3)$$

де  $Q_{\text{ГПС(СПП)}}^{\text{п}}$  – витрата, забезпечувана стволом-генератором піни (за піною),  $\text{м}^3/\text{хв}$  (приймається за [2]).

Запас піноутворювача потрібного для накривання поверхні,  $\text{м}^3$ , визначається за формулою

$$V_{\text{ПУ}} = Q_{\text{ГПС(СПП)}}^{\text{п}} \tau_p K_3, \quad (4)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу піноутворювача ( $K_3 = 3$ ).

*Обвалування місця проливу.*

Проводиться з метою зменшення площі розтікання рідких НХР. Такий спосіб застосовується для НХР в рідкому стані.

Об'єм ґрунту для обвалування,  $\text{м}^3$ , по всьому периметру визначається за формулою

$$V_{\text{гр}}^{\text{обв}} = P_{\text{прол}} [H_{\text{обв}} (a + b)] / 2, \quad (5)$$

де  $P_{\text{прол}}$  – периметр проливу, м;  $a$  – ширина обвалування зверху, приймається таким, що дорівнює 0,5 м;  $b$  – ширина обвалування знизу, приймається таким, що дорівнює 2 м;  $H_{\text{обв}}$  – висота обвалування, приймається такою, що дорівнює  $(h + 0,2)$  м.

**Висновки.** Таким чином, нормативні показники кількості сил та засобів для виконання окремих (спеціальних) видів робіт на пожежах та НС, а саме локалізації проливів НХР, дають можливість КЛНС/КГП обґрунтовано та оперативно визначити потрібну кількість сил та засобів пожежно-рятувальних підрозділів для здійснення оперативних дій. Дана методика запропонована у довідник КГП.

---

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Пожежна тактика: Підручник / [П.П. Клюс, В.Г. Палюх, А.С. Пустовой та ін.]. – Х.: Основа, 1998. – 592 с.
2. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Клюс – М: Стройизат, 1987. – 287 с.
3. Аветисян В.Г. Тушение пожаров и выполнение спасательных работ при химических заражениях. Учебное пособие / Аветисян В.Г., Палюх В.Г., Сировой В.В., Хянькяйнен А.И. / под ред. Б.В. Дзяндзюка. – Харьков: ХИПБ МВД Украины, 1998. – 123 с.
4. Організація управління в надзвичайних ситуаціях. Методичні рекомендації. – Наказ МНС України від 05.10.2007 р. № 685.
5. Організація аварійно-рятувальних робіт: Підручник. За загальною редакцією В.П. Садкового / Аветисян В.Г., Сенчихін Ю.М., Кулаков С.В., Куліш Ю.О., Тригуб В.В. – Х.: Федорко, 2010. – 240 с.
6. Теревнев В.В. Справочник спасателя – пожарного / Теревнев В.В., Артемьев Н.С., Грачев В.А. – М.: Издательство, 2006. – 300 с.
7. Клюс П.П. Тактические возможности пожарных подразделений / П.П. Клюс, В.Г. Палюх. – Харьков: ХИСИ-ХПТУ, 1993. – 201 с.

Ю.Н. Сенчихин, В.Г. Аветисян, И.Г. Деревянко

**Методика расчета сил и средств для локализации проливов опасных химических веществ (ОХВ)**

Обоснована и представлена усовершенствованная, удобная в использовании, методика расчета сил и средств для локализации проливов ОХВ твердыми сыпучими материалами, воздушно-механической пеной и обвалованием места пролива. Предложено использование данной методики в справочнике руководителя тушения пожара.

**Ключевые слова:** опасные химические вещества, локализация, пролив, нейтрализация, нормативные показатели, силы и средства, оперативные действия.

Y.N. Senchukhin, V.G. Avetisyan, I.G. Derevyanko

**Methodology of calculation of forces and facilities for localization of channels of dangerous chemicals (CDC)**

Reasonable and presented improved, comfortable in the use, methodology of calculation of forces and facilities for localization of channels of CDC by hard friable materials, airily-mechanical foam and protection of place of channel. The use of this methodology is offered in the reference book of leader of extinguishing of fire.

**Keywords:** dangerous chemicals, localization, channel, neutralization, normative indexes, forces and facilities, operative actions.



*В.О. Собина, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,  
Л.В. Борисова, к.ю.н., доцент, викладач, НУЦЗУ*

**ПРОГНОЗ СТАНУ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТУ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ  
ТЕХНІКИ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ З  
УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ ЗМІНИ  
НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОДІЙ У ЧАСІ**

(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.М.)

Пропонується адаптація раніше розроблених методичних апаратів аналізу ризиків внаслідок надзвичайних ситуацій для об'єктів обчислювальної техніки з урахуванням динаміки зміни небезпечних подій у часі. Показано, що ймовірність нештатних ситуацій зростає по експоненті, а стан безпеки ООТ по експоненті спадає, відповідно, заходи щодо зниження ризику доцільно приймати на найбільш несприятливих напрямках. При виборі засобів захисту інформації перевагу надавати таким, які при однакових витратах забезпечують найбільше зниження ризику.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, об'єкт обчислювальної техніки, система прийняття рішень, стан безпеки.

**Постановка проблеми.** Одним з найбільш ефективних факторів зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру є створення і запровадження нових інформаційних технологій контролю за критичними параметрами технологічних процесів на об'єктах з небезпечною діяльністю на основі широкого використання автоматизованих і комп'ютерних засобів відповідно до Концепції створення єдиної державної системи запобігання і реагування на аварії, катастрофи та інші надзвичайні ситуації, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7 липня 1995 р. № 501. Вагомим кроком у цьому напрямку є розробка та впровадження в практичну діяльність Правил улаштування, експлуатації та технічного обслуговування систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення людей у разі їх виникнення, затверджених наказом МНС від 15.05.2006 № 288, зареєстрованим в Мін'юсті 05.07.2006 за № 785/12659.

Кожний конкретний об'єкт є індивідуальним набором параметрів та інформаційних додаткових даних. Кожний параметр в інформаційній базі має:

- своє критичне значення, вище якого він переходить в аварійну область;
- кожний з параметрів має і свій поріг аварійності;
- всі параметри інформаційної бази взаємозалежні, впливаючи один на одного тою чи іншою мірою.

Ступінь впливу параметрів один на одного досить різний і визначає швидкість наростання аварійного процесу. Відслідковуючи ситуацію з повним набором інформаційних даних на екрані монітора в режимі реального часу, важко передбачати розвиток ситуації через наступні причини:

- непередбачена кількість даних (приблизно від 10 до 500);
- велика кількість різнотипних об'єктів з різними технологічними процесами;
- однозначне існування гіпероб'єктів, що припускає особливий, індивідуальний підхід, деталізація інформації технологічних процесів, логічні залежності при зв'язках і впливі параметрів один на одного;
- знання технологічних процесів на досить серйозному рівні, що неможливо для диспетчера і тим більше для прийняття правильних управлінських рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що необхідний ступінь інформованості досягається шляхом створення в найкоротший термін (0,5-3 доби) інформаційних систем різного класу й призначення (інформаційні, інформаційно-пошукові, інформаційно-керуючі), що функціонують на базі сучасних ПЕОМ, локальних мереж ПЕОМ, сучасних засобів зв'язку [1]. Така система повинна забезпечувати ідентифікацію та реєстрацію інформації про предметну галузь, що виникла, її зберігання, безперервне ведення й використання шляхом збору, агрегування, класифікації, переробки та видачі необхідної інформації в зручній для використання формі та з можливістю передачі її каналами зв'язку всім абонентам.

Особливе значення для нормального функціонування зазначених об'єктів має *забезпечення безпеки інформаційної інфраструктури країни при аваріях, катастрофах і стихійних лихах* [3]. Безпека – це комплексний критерій оцінки якості будь-якої сучасної системи, яка характеризує як динаміку системи, так і її технічне втілення.

**Постановка завдання та його вирішення.** Ризик можна оцінити тільки для об'єкту, та (або) системи, які підпадають під небезпеку. Тому ризик становить собою усвідомлену небезпеку (загрозу) настання в будь-якій системі негативної події з окресленими у часі та просторі наслідками або існування чи можливість ситуації при якій формуються передумови протидії реалізації задач і функції фірми і забезпеченню її безпеки. Показниками ризику можуть виступати соціальний, економічний, інші збитки та (або) змішаний збиток, повторюваність (імовірність) негативної події, яка становить собою показник небезпеки, комбінована характеристика збитку і повторюваності, тобто середні за одиницю часу втрати.

З урахуванням адаптації раніше розроблених методичних апаратів аналізу ризиків внаслідок надзвичайних ситуацій для об'єктів

обчислювальної техніки, показано, що при управлінні безпекою ООТ слід в оцінку ризику вводити весь спектр небезпек, можливих для досліджуваного ООТ при його роботі [3].

Розглянемо динаміку зміни небезпечних подій у часі.

Якщо розуміти під безпекою ООТ відсутність непропустимого ризику враження об'єкта при виникненні небезпечних подій, для оцінки вводиться функція  $S(t)$ . Сукупність характеристик небезпечних подій, «зважених» з ймовірностями їх виникнення визначимо як функцію ризику  $H(t)$ .

Для спрощення «потік» небезпечних подій будемо наближено вважати пуассонівським. Тоді для  $j$ -ї компоненти досліджуваного об'єкта можна записати

$$S_j(t) = \exp\left\{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i \rho_{ij}\right\}; \quad (1)$$

$$H_j(t) = 1 - \exp\left\{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i \rho_{ij}\right\}, \quad (2)$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність небезпечних подій  $i$ -го порядку;  $\rho_{ij}$  – ймовірність враження подією  $i$ -го виду  $j$ -ї компоненти досліджуваного об'єкта.

$$\lambda_i(t) = \frac{a_i(t)}{T}, \quad (3)$$

де  $a_i(t)$  – математичне очікування числа подій  $i$ -го типу за період спостереження  $T$ .

Наближено можна вважати, що

$$\rho_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}, \quad (4)$$

де  $n_{ij}$  – число небезпечних подій  $i$ -го виду, які призвели до враження  $j$ -ї компоненти;  $n_i$  – загальне число небезпечних подій  $i$ -го виду;  $n$  – число джерел небезпеки для даного ООТ.

Тоді сумарні функції безпеки та ризику для всіх компонентів об'єкту будуть такими

$$S_{\Sigma}(t) = \prod_{j=1}^k S_j(t) = \exp\left\{-t \sum_{j=1}^k \Lambda_j\right\} \quad (5)$$

$$H_{\Sigma}(t) = \prod_{j=1}^k H_j(t) = 1 - \exp\left\{-t \sum_{j=1}^k \Lambda_j\right\}, \quad (6)$$

де  $S_j(t), H_j(t)$  – функції безпеки і ризику для  $j$ -го компоненту об'єкта;

$$\Lambda_j = \sum_{i=1}^n \lambda_i \rho_{ij}.$$

Проаналізуємо застосування на практиці наведених формул (1-6).

Для того ж об'єкта обчислювальної техніки ( $K = 2$ , п.6 прикладу 1) за результатами спостережень обчислені наступні інтенсивності небезпечних подій [3]:

I. виникнення проблеми із технікою  $\rho_I(A) = 2,74 \text{ год}^{-1}$

II. перехоплення інформації або НСД через допоміжне обладнання  $\rho_{II}(A) = 1,37 \text{ год}^{-1}$

III. ймовірність лихого задуму  $\rho_{III}(A) = 0,8$ ;

IV. ймовірність виникнення реальної техногенної або стихійної загрози ззовні  $\rho_{IV}(A) = 0,5$ .

Тобто  $n = 10$ .

Протягом певного періоду спостережень мали місце:

50 подій I виду, з них 15 призвели до враження апаратури, 20 – до враження програмного забезпечення;

10 подій II виду, з них 3 призвели до враження апаратури, 5 – до враження програмного забезпечення;

5 подій III виду, з них 1 призвела до враження апаратури, 20 – до враження програмного забезпечення;

2 події IV виду, з них 1 призвела до враження апаратури, 1 – до враження програмного забезпечення.

Потрібно.

Визначити часткові та сумарні функції безпеки та ризику.

Для спрощення вважаємо, що:

1. інтенсивності відповідних подій вже обчислені за формулою (3);

2. повний умовний збиток дорівнює кількості всіх комплектів ООТ  $Y(A) = 10$ ;

3. усі події вважаємо незалежними одна від одної;

4. компонент вважається враженим, коли вражено хоча б один із компонентів ООТ або програмного забезпечення.

1. За формулою (4) обчислимо ймовірність враження компонент досліджуваного об'єкту:

– для апаратури

$$\rho_I^{\text{HARD}} = \frac{15}{50} = 0,3; \rho_{II}^{\text{HARD}} = \frac{3}{10} = 0,3; \rho_{III}^{\text{HARD}} = \frac{1}{5} = 0,2; \rho_{IV}^{\text{HARD}} = \frac{1}{2} = 0,5;$$

– для програмного забезпечення

$$\rho_I^{\text{SOFT}} = \frac{20}{50} = 0,4; \rho_{II}^{\text{SOFT}} = \frac{2}{10} = 0,2; \rho_{III}^{\text{SOFT}} = \frac{5}{5} = 0; \rho_{IV}^{\text{SOFT}} = \frac{1}{2} = 0,5.$$

Користуючись формулами (1) і (2) визначимо функції безпеки ризику для апаратури і програмного забезпечення по кожному із потоку подій:

– функції безпеки для апаратного забезпечення

$$S^{\text{HARD}}(t) = \exp\left\{-t \sum_{i=1}^4 \lambda_i \rho_i^{\text{HARD}}\right\} = \exp\{-1,643t\}$$

– функція ризику для апаратного забезпечення

$$H^{\text{HARD}}(t) = 1 - S^{\text{HARD}}(t) = 1 - \exp\left\{-t \sum_{i=1}^4 \lambda_i \rho_i^{\text{HARD}}\right\} = 1 - \exp\{-1,643t\}$$

– функції безпеки для програмного забезпечення

$$S^{\text{SOFT}}(t) = \exp\left\{-t \sum_{i=1}^4 \lambda_i \rho_i^{\text{SOFT}}\right\} = \exp\{-2,42t\}$$

– функція ризику для програмного забезпечення

$$H^{\text{SOFT}}(t) = 1 - S^{\text{SOFT}}(t) = 1 - \exp\left\{-t \sum_{i=1}^4 \lambda_i \rho_i^{\text{SOFT}}\right\} = 1 - \exp\{-2,42t\}$$

1. Сумарні функції безпеки та ризику за формулами (4), (5), (6)

$$S_{\Sigma}(t) = S^{\text{HARD}}(t) \cdot S^{\text{SOFT}}(t) = \exp\left\{-t \left( \sum_{i=1}^4 \lambda_i \rho_i^{\text{HARD}} + \sum_{i=1}^4 \lambda_i \rho_i^{\text{SOFT}} \right)\right\} = \exp\{-4,063t\}$$

$$H_{\Sigma}(t) = H^{\text{HARD}}(t) \cdot H^{\text{SOFT}}(t) = 1 - \exp\left\{-t \left( \sum_{i=1}^4 \lambda_i \rho_i^{\text{HARD}} + \sum_{i=1}^4 \lambda_i \rho_i^{\text{SOFT}} \right)\right\} = 1 - \exp\{-4,063t\}$$

Отже, ймовірність нештатних ситуацій зростає по експоненті, а стан безпеки ООТ по експоненті спадає.

При управлінні безпекою ООТ слід керуватися наступним:

– в оцінку ризику вводити весь спектр небезпек, можливих для досліджуваного ООТ при його роботі;

– заходи щодо зниження ризику приймаються на найбільш несприятливих напрямках (рис. 1) [3]. При виборі засобів захисту інформації перевагу надавати таким, які при однакових витратах забезпечують найбільше зниження ризику.

**Висновки.** Створення комплексної інформаційної технології у сфері програмно-цільового планування та управління повинно включати розробку, експериментальне і практичне відпрацювання методик синтезу єдиної інформаційної технології для вирішення задач планування та управління роботами із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Крім виконання інформаційних функцій у межах такої системи повинні бути передбачені можливості моделювання та прогнозування розвитку надзвичайних ситуацій при реалізації альтернативних стратегій управління ними, прогнозу потреби в ресурсах, що необхідні для ліквідації наслідків цих ресурсів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Качинський А.Б. Засади системного аналізу безпеки складних систем / А.Б. Качинський. – К.: ДП НВЦ «Євроатлантикінформ», 2006. – 336 с.

2. Кузьмин И.П. Риск и безопасность с точки зрения системной динамики. Радиационная безопасность и защита АЭС / И.П. Кузьмин, С.В. Романов. – 1991. – Вып. 13. – С. 82-105.

3. Собина В.О. Агаліз та прогноз стану безпеки об'єкту обчислювальної техніки в умовах надзвичайних ситуацій / В.О. Собина, Л.В. Борисова, О.В. Єлізаров // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Вип. 21. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 89-96. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Sobina.pdf>.

4. Рагозин А.Л. Оценка и картографирование опасности и риска от природных и техноприродных процессов / А.Л. Рагозин // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1993. – № 4. – С. 16-41.

5. Могилевский В.Д. Введение в теорию управления безопасностью систем (методика и примеры) / В.Д. Могилевский // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2001. – № 5. – С. 4-22.

6. Степанов Е.А. Информационная безопасность и защита информации: учеб. пособие / Е.А. Степанов, И.К. Корнеев. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 304 с.

В.А. Собина, Л.В. Борисова

**Анализ и прогноз безопасности объекта вычислительной техники в условиях чрезвычайных ситуаций**

Предлагается адаптация ранее разработанных методических аппаратов анализа рисков вследствие чрезвычайных ситуаций для объектов вычислительной техники. При управлении безопасностью ОВТ нужно руководствоваться следующим: в оценку риска вводить весь спектр опасностей, возможных для исследуемого ОВТ при его работе; мероприятия по снижению риска принимаются на наиболее неблагоприятных направлениях.

**Ключевые слова:** объект вычислительной техники, состояние безопасности, анализ рисков.

V.A. Sobina, L.V. Borisova

**Analysis and forecast of security computing facility in emergency situations**

It is proposed to adapt previously developed methodical risk analysis devices due to emergency facilities computers. When managing OVT safety should be guided by the following: risk assessment to introduce the whole range of dangers possible for the test CET during its operation; risk reduction measures are taken in the most disadvantaged areas.

**Keywords:** object computing, security status, risk analysis.

*В.М. Стрілець, к.т.н., с.н.с., НУЦЗУ,  
В.В. Тригуб, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **БАГАТОФАКТОРНА ОЦІНКА ВИКОНАННЯ ТИПОВИХ ОПЕРАЦІЙ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В КОМПЛЕКСАХ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

(представлено д-ром техн. наук Андроновим В.А.)

Запропонована послідовність отримання та аналізу багатофакторної моделі, яка характеризує виконання рятувальниками окремих типових операцій. Показана можливість отримання практичних рекомендацій за результатами кількісної оцінки взаємопов'язаних та нелінійних факторів, які впливають на ефективність проведення аварійно-рятувальних робіт

Ключеві слова: багатофакторна оцінка, комплекс засобів індивідуального захисту, операція, підготовка

**Постановка проблеми.** У загальному комплексі проблем щодо ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) в комплексах індивідуального захисту (КЗІЗ) немаловажним є питання конкретизації особливостей підготовки рятувальників до виконання найбільш складних та важливих операцій, з яких складається процес ліквідації або локалізації осередку НС, особливо в тому випадку, коли розглядаються ситуації з викидами небезпечних хімічних речовин (НХР).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що на цей час для цього в більшості випадків [1, 2, 3, 4] розглядають статистичні характеристики, які характеризують розподіл часу виконання. Їх аналіз для простих операцій, які характеризуються  $\beta$ -розподілом часу виконання, за співвідношенням параметрів  $\alpha$  та  $\beta$  дозволяє [2, 3] визначити рівень підготовленості особового складу, який розглядається. Але в [4] показано, що практично всі операції в КЗІЗ характеризуються нормальним розподілом.

В роботах [5, 6] відмічено, що зміна часу виконання окремої операції в залежності від рівня підготовленості особового складу характеризується експоненціальною залежністю і після 7-8 тренувальних спроб час виконання операції в КЗІЗ практично не зменшується [7]. Це дозволяє [8] перейти до визначення науково-обґрунтованих нормативів, які, тим не менш, відносяться до роботи в конкретному варіанті КЗІЗ.

Порівняльний аналіз того, як міняється час виконання типових операцій в залежності від застосування рятувальниками конкретних модифікацій засобів індивідуального захисту органів дихання, розглядався в [6], але в цьому випадку не враховувались умови навколишньо-



го середовища. В [9] наведені рекомендації по корегуванню розрахункових оцінок часу виконання окремих операцій процесу ліквідації НС з викидами НХР, але вони не враховують ні модифікацію КЗІЗ, ні рівень підготовленості рятувальників.

В той же час, в [10, 11] за результатами імітаційного моделювання процесів локалізації та ліквідації НС, які складаються з окремих операцій, показано, що відповідні багатофакторні моделі їх виконання дозволяють одночасно аналізувати і стан навколишнього середовища, і модифікацію КЗІЗ, яка використовується, і рівень підготовленості рятувальників.

**Постановка завдання та його вирішення.** Виходячи з наведеного вище, поставлена задача отримання та аналізу багатофакторної моделі, яка характеризує виконання рятувальниками окремих типових операцій, з яких складається процес ліквідації надзвичайної ситуації.

Для отримання багатофакторної залежності враховувалось те, що в [12] наведені експериментальні результати виконання однієї із найбільш складних операцій процесу локалізації НС з викидом НХР методом реконденсації [13] – з'єднання рукава з системою кріплення, які підтверджують [5, 6], що час виконання цієї операції змінюється за експоненціальним законом (рис. 1), а відповідні розподіли часу виконання є нормальними (рис. 2).

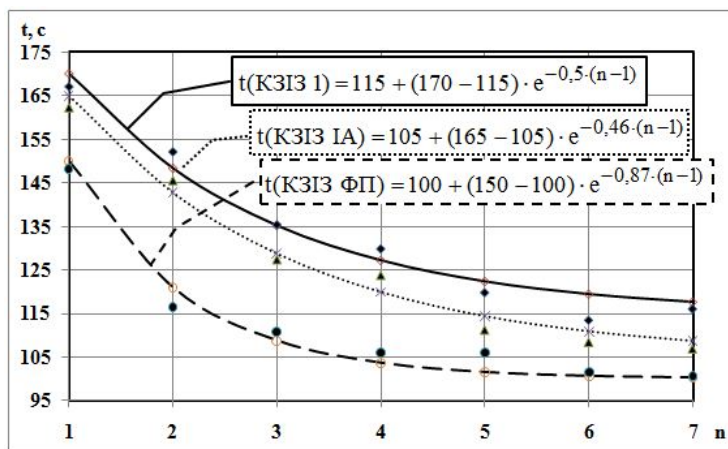


Рис. 1. Залежність часу з'єднання рукава з системою кріплення від рівня підготовленості та оснащення рятувальників ( $n$  – кількість тренувальних спроб)

Це дозволило по аналогії з [11], де показана доцільність одночасного розгляду трьох факторів (в нашому випадку,  $x_1$  – приведеної інтенсивності  $\psi$  викиду НХР [14] як характеристики компоненти «середовище»;  $x_2$  – підготовленості особового складу як характеристики компоненти «рятувальник»;  $x_3$  – комбінації засобів індивідуального захисту рятувальників як характеристика компоненти «техніка»), які можуть бути нелінійними та взаємопов'язаними, перейти до отримання трифакторної квадратичної залежності (в

кодованих перемінних) часу з'єднання рукава з системою кріплення у відповідності до традиційного плану 3x3x3 техніко-економічних експериментів [15].

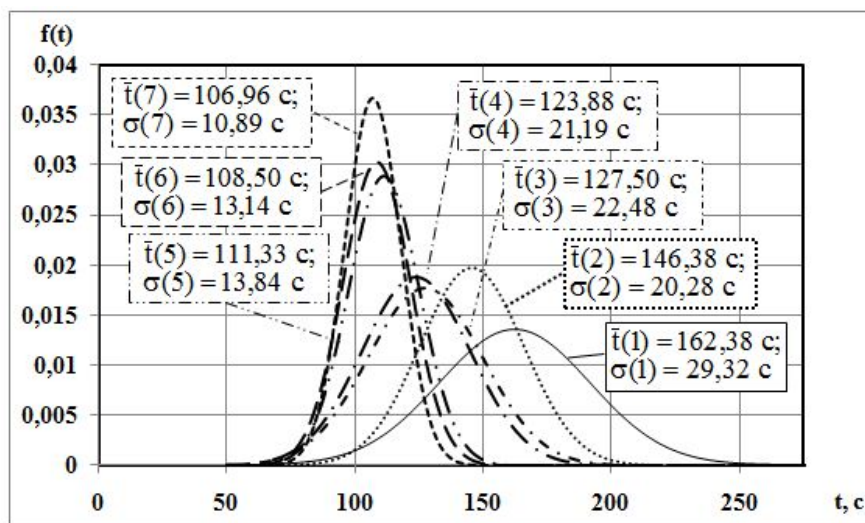


Рис. 2. Розподіл часу з'єднання рукава з системою кріплення

Як і у випадку [11], оцінка впливу обраних факторів розглядалась для ситуації, коли вони змінюються на двох рівних інтервалах. Під час визначення фактора  $x_1$  враховується, що при  $\Psi = 1 \frac{\text{кг/с}}{\text{МГ/М}^3}$  ( $x_1 = -1$ ) всі операції особовий склад повинен виконувати в комплексі засобів індивідуального захисту, який передбачає застосування ізолюючого апарата всередині ізолюючого костюма (КЗІЗ 1); при  $\Psi = 0,1 \frac{\text{кг/с}}{\text{МГ/М}^3}$  ( $x_1 = 0$ ) – обов'язкове використання ізолюючого апарата, який може бути надягнутий поверх ізолюючого костюма (КЗІЗ ІА); при  $\Psi = 0,01 \frac{\text{кг/с}}{\text{МГ/М}^3}$  – рятувальники використовують ізолюючі костюми разом із фільтруючими проти газами (КЗІЗ ФП).

Стосовно рівня підготовленості враховувалось [8] те, що початковий рівень практичної виучки ( $x_2 = -1$ ) має місце під час першого ( $n=1$ ) виконання завдання, а найвищий ( $x_2 = +1$ ) – під час останнього ( $n=7$ ); середина факторного простору ( $x_2 = 0$ ) приймалась при  $n=4$  для роботи в ізолюючих костюмах з ізолюючими проти газами та  $n=3$  – з фільтруючими. Під час оцінки конкретних комплексів індивідуального захисту враховувалось [8], що найвища швидкість виконання окремих операцій має місце при роботі в КЗІЗ ФП ( $x_3 = +1$ ), а найнижча ( $x_3 = -1$ ) – в КЗІЗ 1; середина факторного простору ( $x_3 = 0$ ) відповідає ситуації із КЗІЗ ІК, коли ізолюючий апарат знаходиться ззовні ізолюючого костюма.

З урахуванням рекомендацій [15] щодо доцільності використання в кодіваних перемінних параметру, який передбачається аналізувати, час виконання операції з'єднання рукава з системою кріплення розглядається як

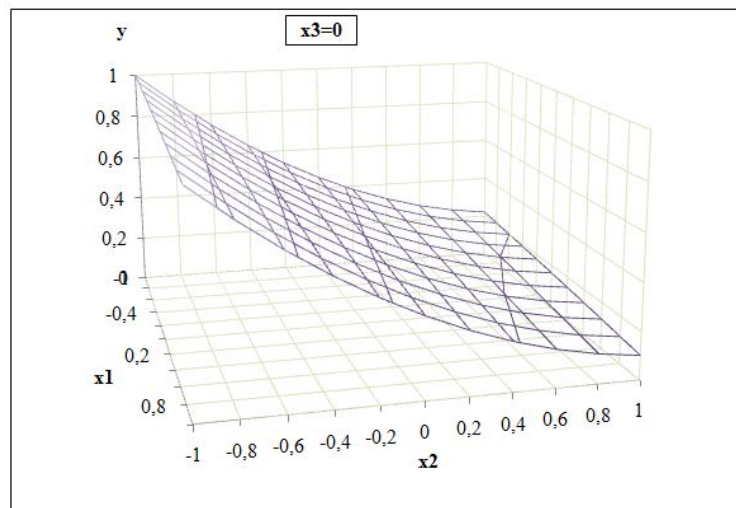
$$y = \frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}}, \quad (1)$$

де  $t$  – час виконання в натуральному вигляді, с;  $t_{\max}$ ,  $t_{\min}$  – відповідно максимальний та мінімальний час з'єднання рукава з системою кріплення, с.

В результаті вище переліченого отримано модель операції, яка розглядається, у вигляді

$$y = 0,4001 - 0,0584 \cdot x_1 - 0,3923 \cdot x_2 - 0,0584 \cdot x_3 - 0,0037 \cdot x_1^2 + 0,1569 \cdot x_2^2 - 0,0037 \cdot x_1^2 - 0,0014 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0670 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0014 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (2)$$

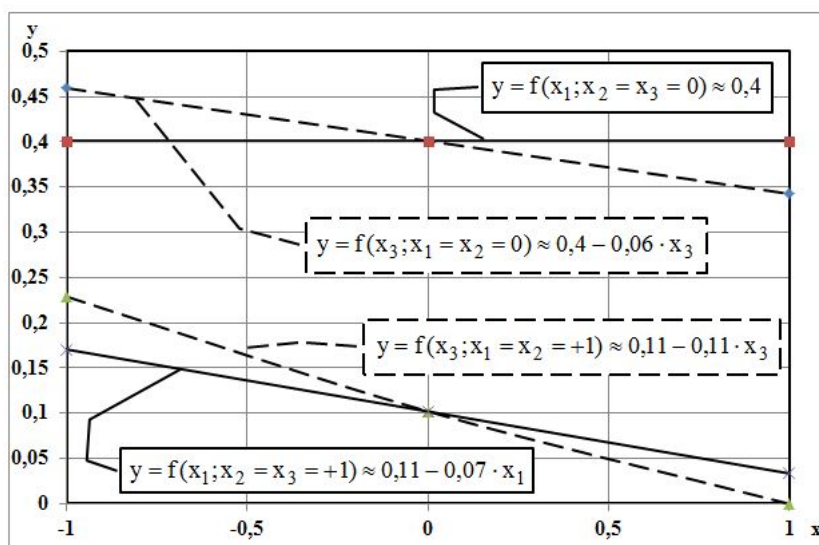
Аналіз (2) дозволяє стверджувати (рис. 3), що найбільш вагомим параметром, який впливає на час виконання операції, є показник підготовленості  $x_2$ , проте для уточнення особливостей роботи в різних умовах навколишнього середовища доцільно проаналізувати й те, як на час впливає вибір конкретної модифікації КЗІЗ.



**Рис. 3. Залежність часу (в кодіваних перемінних) від інтенсивності викиду НХР та рівня підготовленості рятувальників**

Враховуючи те, що в зоні максимуму за найгіршої ситуації з викидом НХР можна працювати тільки в КЗІЗ 1, інтерпретація моделі

(2) з метою ранжування факторів  $x_1$  та  $x_3$  проводилась у відповідності до [16] шляхом аналізу однофакторних моделей (рис. 4), отриманих при стабілізації інших на рівнях, які відповідають центру факторного простору та координатам екстремуму  $y_{\max}$ .



**Рис. 4.** Однофакторні моделі залежності часу з'єднання рукава з системою кріплення (в кодованих перемінних) від інтенсивності викиду та обраного комплексу КЗІЗ в центрі факторного простору та в зоні мінімуму

Аналіз отриманих результатів (рис. 4) говорить про те, що в центрі факторного простору, а також низьких значеннях приведеної інтенсивності  $\Psi$  та високому рівні підготовленості особового складу на час виконання операції більш суттєво впливає те, наскільки рятувальники правильно обирають модифікацію КЗІЗ. Особливо це помітно на рівнях, які відповідають екстремуму  $y_{\max}$ . Таким чином, знання конкретного рівня небезпеки біля місця проведення аварійно-рятувальних робіт буде значимо сприяти підвищенню ефективності ліквідації надзвичайної ситуації.

**Висновки.** Показана доцільність використання для багатфакторного аналізу ефективності виконання рятувальниками операцій ліквідації надзвичайних ситуацій в комплексах засобів індивідуального захисту трифакторних нелінійних квадратичних моделей.

При існуючих комплексах засобів індивідуального захисту найбільш вагомим параметром, який впливає на час виконання операції, є практична підготовленість особового складу, показником якої є може служити кількість тренувальних спроб щодо виконання операції, що розглядається.

Підготовка рятувальників повинна включати не тільки тренування щодо виконання типової операції, але й навчання застосуванню засобів контролю небезпеки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Зигель А. Модели группового поведения в системе "человек-машина" / Зигель А., Вольф Дж. – М.: Мир, 1976. – 356 с.
2. Чуковский В.Н. Разработка методов обоснования штатной численности боевых расчетов пожарных автомобилей: дис. ... кандидата техн. наук: 21.06.02 / Чуковский Вячеслав Николаевич – Харьков, 1998. – 155 с.
3. Стрілець В.М. Розкриття закономірностей виконання газодимозахисниками основних операцій / В.М. Стрілець, П.А. Ковальов, Є.А. Молодика, В.М. Ішук // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: зб. наук. пр. – 2015. – № 11. – С. 165-172.
4. Стрелец В.М. Раскрытие закономерностей деятельности спасателей при выполнении основных операций в процессе ликвидации аварий с выбросом опасных химических веществ / В.М. Стрелец, М.В. Васильев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – Москва. – 2013. – № 2. – С. 81-86.
5. Введение в эргономику / Под ред. В.П. Зинченко. – М., "Сов. радио", 1974. – 351 с.
6. Ковальов П.А. Вдосконалення порівняльної оцінки апаратів на стисненому повітрі / П.А. Ковальов, В.М. Стрілець, М.В. Васильєв // Проблеми надзвичайних ситуацій. – № 10 – Харків, Фоліо, 2009. – С. 91-98.
7. Стрелец В.М. Разработка нормативов для оценки подготовленности спасателей к работе в комплексе средств индивидуального типа / В.М. Стрелец, М.В. Васильев, В.В. Тригуб // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2014. – № 19. – С.133-141. – [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol19/19.pdf>.
8. Васильев М.В. Определение количества тренировочных попыток, после которого можно оценивать качество выполнения задания / М.В. Васильев, В.М. Стрелец // Техносферная безопасность. – 2013. – № 1 – Екатеринбург, Уральский институт ГПС МЧС России. – С. 61-64.
9. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В.А., Лукьянчиков А.Г., Павлов К.Н. и др.]; под ред. В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
10. Стрілець В.М. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: моногр. / В.М. Стрілець, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха. – НУЦЗУ. – Х.: НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2012. – 112 с.
11. Васильев М.В. Анализ многофакторной модели функционирования системы «спасатель – средства защиты и ликвидации аварии –

чрезвычайная ситуация с выбросом опасного химического вещества» / М.В. Васильев, В.М. Стрелец, В.В. Тригуб // Проблемы надзвичайних ситуацій. – № 18. – Харків: Фоліо, 2013. – С.22-33. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol18/Pns\\_2013\\_18\\_6.pdf](http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol18/Pns_2013_18_6.pdf).

12. Підвищення ефективності роботи рятувальників в засобах індивідуального захисту [Текст]: звіт про НДР (заключ.) / НУЦЗУ. – кер. Стрелець В.М.; вик.: Бородич П.Ю. [та ін.]. – Харків, 2012. – 198 с. – ДР 011U0022447.

13. Васильев М.В. Представление исходных данных для имитационного моделирования процесса ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасного химического вещества / М.В. Васильев, В.М. Стрелец // Проблемы надзвичайних ситуацій. – № 14. – Харків: Фоліо, 2011. – С. 53-64.

14. Басманов А.Е. Выбор комплекса средств индивидуальной защиты для обеспечения работ по ликвидации непрерывно действующего источника опасного химического вещества / Басманов А.Е., Говаленков С.С., Васильев М.В. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – № 13. – Харків: Фоліо, 2011. – С. 29-39.

15. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / Вознесенский В.А. // М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

В.М. Стрелец, В.В. Тригуб

**Многофакторная оценка выполнения типовых операций ликвидации чрезвычайных ситуаций в комплексах средств индивидуальной защиты**

Предложена последовательность получения и анализа многофакторной модели, характеризующей выполнение спасателями отдельных типовых операций. Показана возможность получения практических рекомендаций по результатам количественной оценки взаимосвязанных и нелинейных факторов, которые влияют на эффективность проведения аварийно-спасательных работ.

**Ключевые слова:** многофакторная оценка, комплекс средств индивидуальной защиты, операция, подготовка.

V.M. Strelec, V.V. Trigub

**Multifactor assessment of the performance of typical operations liquidation of emergency situations in the complexes of PPE**

A sequence of obtaining and analyzing a multifactor model that characterizes the performance of separate unit operations rescuers. The possibility of obtaining practical recommendations on the results of quantifying the interconnected and nonlinear factors that influence the effectiveness of rescue operations.

**Keywords:** multifactorial estimation, complex of PPE, operation, training.

*В.В. Тригуб, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **МЕТОДИКА ОЦІНКИ МЕЖ ЗОН РУЙНУВАННЯ ПРИ ВИБУХУ НА ВІДКРИТИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВКАХ**

(представлено д-ром техн. наук Соболев О.М.)

Розглянуті умови руйнування промислових об'єктів при впливі на них навантаження від ударних хвиль. Аналізується зміни тиску в ударних хвилях в залежності від маси речовини, що вибухає та відстані від епіцентру вибуху. Запропоновані формули для оцінки радіусу меж зон сильних, середніх та легких руйнувань при вибуху газопароповітряних сумішей

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, вибух, ступінь руйнування, межі зон руйнування.

**Постановка проблеми.** Аналіз причин виникнення аварій та надзвичайних ситуацій техногенного характеру показав, що у 48 % випадків ці причини носять техногенний характер через незадовільний технічний стан споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж, їх значну зношеність внаслідок відпрацювання свого нормативного терміну експлуатації. Зношення споруд промислового та господарського призначення у різних галузях економіки сягає 70 % і більше і з кожним роком експлуатації зростає далі.

Капітальні, поточні та попереджувальні ремонти споруд, конструкцій та інженерних мереж проводяться нерегулярно. Внаслідок цього ступінь їх небезпеки та імовірність виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру зростає. Технічний стан споруд, конструкцій та інженерних мереж основних галузей економіки регіону досяг критичної межі.

При виникненні окремих видів НС техногенного та природного характеру (вибух, ураган, підтоплення та ін.) можливе раптове руйнування споруд.

Найбільше число людських жертв, завдання матеріальних збитків та заподіяння шкоди довкіллю можливо при руйнуванні будівель та споруд громадського призначення, техногенно-небезпечних підприємств, багатопверхових, аварійних будинків житлового та промислового призначення.

При прогнозуванні надзвичайних ситуацій пов'язаних з вибухами для визначення кількості потерпілих необхідно визначити межі зон руйнування будівель та споруд.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В попередніх дослідженнях докладно розглядаються питання, які стосуються прогнозу-

вання наслідків надзвичайних ситуацій взагалі. В роботі [1] розглядається методика визначення обсягу завалів, яка дозволяє визначити потрібну кількість сил та засобів для їхнього розбирання. В [2-4] запропоновано загальний перелік та послідовність рятувальних робіт на зруйнованих будівлях. Ймовірність ураження людей від ступеню пошкодження будівлі і час необхідний для їхнього рятування розглядається в [5]. В [6] представлена методика розрахунку імовірної кількості постраждалих для визначення сил проведення рятувальних робіт на зруйнованих будинках. Методика розрахунку сил та засобів для проведення всього комплексу аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будівлях розглянута в [7]. Не достатньо розглянуті питання оцінки радіусу меж зон руйнувань для подальшого визначення кількості потерпілих.

**Постановка завдання та його вирішення.** При складанні прогнозу про можливу обстановку для розробки оперативних заходів щодо ліквідації НС, які пов'язані з вибухами необхідна інформація про руйнування, які виникли. Основним параметром, який необхідно визначити є межі зони руйнування.

Аварійні вибухи пов'язані з вибухами газопароповітряних сумішей, які утворюються внаслідок витоку горючих речовин. При вибуху таких сумішей виникають ударні хвилі, які можуть зруйнувати, або пошкодити будівлі, обладнання в зоні їх дії. Умовно прийнято розглядати три характерні зони ймовірних пошкоджень: зона сильних руйнувань ( $\Delta P = 30$  кПа), зона середніх руйнувань ( $\Delta P = 20$  кПа) та зона легких руйнувань ( $\Delta P = 10$  кПа).

При розгляді дії ударних хвиль необхідно прийняти до уваги те, що в більшості випадків час дії ударної хвилі значно більше власному періоду коливань конструкції. Це означає, що навантаження від ударної хвилі на конструкцію можна вважати квазістатичною, тобто напруження, деформації в елементах конструкції будуть пропорційні максимальному надлишковому тиску хвилі  $\Delta P$ . До зазначених випадків впливу відносяться дані за результатами руйнувань, приведені в табл. 1 [5].

Величину надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі згоряння газопароповітряних сумішей, визначають за формулою [8]:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{r^3} \right), \quad (1)$$

де  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа);  $r$  – відстань від геометричного центра газопароповітряної хмари, м;  $m_{\text{пр}}$  – приведена маса газу або пари, кг, обчислюється за формулою



$$m_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{зг}}}{Q_0} \cdot m \cdot Z, \quad (2)$$

де  $Q_{\text{зг}}$  – питома теплота згоряння газу або пари, Дж·кг<sup>-1</sup>;  $Z$  – коефіцієнт участі горючих газів і парів у горінні, який допускається приймати рівним 0,1 [9];  $Q_0$  – константа, рівна  $4,52 \cdot 10^6$  Дж·кг<sup>-1</sup>;  $m$  – маса горючих газів і (або) парів, які надійшли в результаті аварії до навколишнього простору, кг.

**Табл. 1. Наслідки впливу надлишкового тиску на будівельні конструкції**

Надлишковий тиск $\Delta P$ , кПа	Наслідки
50	Повні руйнування будинків і споруд
30	Сильні руйнування і пожежі
20	Середні руйнування і можливі пожежі
10	Легкі руйнування будинків і спорудження, можливі окремі пожежі
5	Граничне значення надлишкового тиску
2	Руйнування віконного скла

Для тричленних рівнянь виду (1) характерно:

- перший і другий члени рівняння виявляються невеликими порівняно з третім членом при розрахунку тиску на близьких відстанях від центру вибуху (тиск в хвилі понад 100 кПа);
- другий і третій члени стають невеликими порівняно з першим членом на значній відстані від центру вибуху (тиск менше 100 кПа).

Беручи до уваги зазначені властивості тричленних рівнянь (1) і той факт, що межі зон руйнування важливих об'єктів знаходяться на значній відстані від епіцентру вибуху (тиск не більше 30-50 кПа), можна записати:

$$\Delta P = P_0 \cdot \frac{0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{r}, \quad \text{або} \quad r = 80,8 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,33}}{\Delta P}. \quad (3)$$

Підставивши в (3) значення тиску з табл. 1, які відповідають ступеням руйнувань об'єктів, отримаємо рівняння, що дозволяють розрахунковим шляхом оцінити радіуси меж:

- зони сильних руйнувань

$$r = 80,8 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,33}}{30} = 2,7 m_{\text{пр}}^{0,33},$$

- зони середніх руйнувань

$$r = 80,8 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,33}}{20} = 4 m_{\text{пр}}^{0,33},$$

- зони легких руйнувань

$$r = 80,8 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,33}}{10} = 8 m_{\text{пр}}^{0,33}.$$

**Висновки.** Таким чином запропонована методика визначення меж зон руйнування при вибуху газопароповітряних сумішей на відкритих технологічних установках, яка дозволяє в подальшому прогнозувати кількість потерпілих в будинках, які потрапили в певні межі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Каммерер Ю.Ю. Аварийные работы в очагах поражения / Каммерер Ю.Ю., Харкевич А.Е. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
2. Організація аварійно-рятувальних робіт: Підручник. За загальною редакцією В.П. Садкового / Аветісян В.Г., Сенчихін Ю.М., Кулаков С.В., Куліш Ю.О., Тригуб В.В. – Х: «Федорко», 2010. – 240 с.
3. Дементьев С.В. Отчет по результатам натурных экспериментальных исследований по отработке технологий и способов ведения спасательных работ в условиях разрушенных зданий / Дементьев С.В., Чумак С.П., Дурнев Р.А. – М.: ВНИИ ГОЧС, 1993.
4. Шахмарьян М.А. Научно-методические основы планирования использования аварийно-спасательных сил при разрушительных землетрясениях / Шахмарьян М.А. // ВИНТИ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1993. – Вып. 7. – С.23-29.
5. Аветісян В.Г. Методичні вказівки по виконанню контрольної роботи з організації аварійно-рятувальних робіт (прогнозування та ліквідація наслідків вибуху на відкритих технологічних установках) / Аветісян В.Г., Дерев'янюк І.Г., Тригуб В.В. – Харків: УЦЗУ, 2008. – 47 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://univer.nuczu.edu.ua/tmp\\_metod/928/OARR\\_Prognoz\\_ta\\_likvidac\\_naslidkiv.pdf](http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/928/OARR_Prognoz_ta_likvidac_naslidkiv.pdf).
6. Аветісян В.Г. Алгоритм прогнозування кількості потерпілих на зруйнованих будинках / Аветісян В.Г., Тригуб В.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 8. – Харків: Фолю, 2008. – С. 3-6.
7. Аветісян В.Г. Прогнозування кількості рятувальників для проведення робіт на зруйнованих будинках / Аветісян В.Г., Тригуб В.В. //

Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 7. – Харків: Фоліо, 2008. – С. 3-8.

8. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

9. Тесленко А.А. Методы оценки взрывоопасности наружных установок в России, Беларуси и Украине / Тесленко А.А., Токарь А.И. // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 36. – С. 259-265. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol36/teslenko.pdf>.

В.В. Тригуб

**Методика оценки границ зон разрушения при взрыве на открытых технологических установках**

Рассмотрены условия разрушения промышленных объектов при воздействии на них нагрузок от ударных волн. Анализируется изменение давления в ударных волнах в зависимости от массы взрывающего вещества и расстояния от эпицентра взрыва. Предложены формулы для оценки радиуса границ зон сильных, средних и легких разрушений при взрыве газопаровоздушных смесей.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, взрыв, степень разрушения, граница зоны разрушения.

V.V. Trigub

**Methods of assessment boundaries of zones of destruction in the explosion on the open processing plants**

The conditions for the destruction of industrial objects when exposed to loads from the shock waves. Analyzes the change of pressure in the shock waves depending on the weight of the explosive substance and the distance from the epicenter. Formulas for estimating the radius of the boundaries of zones of strong, medium and light damage in the explosion gaz-steam-air mixtures.

**Keywords:** emergency, explosion, degree of destruction, boundary zone of destruction.

*A.B. Feshchenko, Ph.D., Associate Professor, NUCDU,  
Y.Y. Seleenko, lecturer, NUCDU,  
A.V. Zakora, Ph.D., Associate Professor, senior lecturer, NUCDU,  
D.L. Sokolov, Ph.D., Associate Professor, NUCDU*

## **RESULTS FROM STUDY OF SIGNAL DISTORTION IN RADAR SENSING OF EXPLOSIVE DEVICES IN SOIL COLUMN**

(presented DSc, Prof. Krivtsovoj V.I.)

It is shown that the solution to the problem of detecting explosive devices placed in the soil column, it is advisable to use methods for radar sensing of complex signals. The necessity of minimizing noise in the spectrum of the emitted signal with the allowable values is proved. The investigation of the nature and level of in-band distortion of the radiated signals to determine the area and value of the minimum intensity distortion is carried out.

**Keywords:** radar sensing, explosive devices, in-band signal distortion.

***Formulation of the problem.*** The implementation of the state policy in the sphere of civil defence, prevention and liquidation of technogenic, natural and military emergencies, both in peacetime and in special period, is one of the main tasks of the SSES.

One of the reasons of military emergencies is unauthorized actuation of explosive devices (ED). The problem of detection and neutralization of munitions and weapons left after the Second World War, modern munitions deliberately installed has a global, state character.

***Analysis of recent research and publications.*** The solution to these problems by traditional methods is ineffective. Search Systems – detectors and sensors are currently used for the detection of explosive items, do not provide the necessary probability of correct detection. [1, 2]

In these conditions, for the detection and recognition of the considered objects, it is possible to apply radar sensing with complex signals, synthesized on the basis of the digital analog method [2, 3]. However, high level of noise in the spectrum of the reflected signal due to a number of natural factors [3], reduces the probability of detection and, therefore, limits the use of radars. One way to reduce the noise level in the spectrum of the reflected signal is to minimize the distortion level in the spectrum of the radiated oscillations to acceptable values [3].

***Statement of the problem and its solution.*** For synthesis of signals with allowable level of distortion, devices of narrow-band tracking filter are used [3]. However, the capability of tracking filters to reduce the level of distortion of the synthesized signals are not unlimited and are 15-30 dB when passband of less than tens-hundreds kHz [3]. In this connection, it is

necessary to explore the nature and in-band distortion level of the radiated signal. The purpose of research is to identify areas and the value of the minimum intensity of distortion. It is necessary to enhance the probability of detection of explosive devices using radar sensing.

In a software synthesizer of the computing type in discrete moments of time  $t_i=i/f_r$  codes instantaneous values of the phase of the generated signal –  $K_\varphi(i)$  – are determined. A transformation phase code  $K_\varphi(i)$  in codes instantaneous values of voltage  $K_u(i)$  is carried out in accordance with the functions of sine or cosine by using trigonometric converter.

As a result of the operation of synthesizer signals are generated codes of the instantaneous values of voltage  $K_u(i)$  and as a result of the digital to analog conversion - quantized voltage  $U(t)$ . Real and imaginary parts of spectral components of the synthesized signal is calculated by means of Fourier analysis algorithm - a Fast Fourier Transform (FFT)

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(G(m)) &= \sum_{i=0}^N \left( U(i) \cos \frac{2\pi m i}{N} + U^*(i) \sin \frac{2\pi m i}{N} \right); \\ \operatorname{Im}(G(m)) &= \sum_{i=0}^N \left( -U(i) \sin \frac{2\pi m i}{N} + U^*(i) \cos \frac{2\pi m i}{N} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

where  $m = 0, 1, \dots$  – counts of FFT

For determination of spectral density power of phase noises of complex signals -  $G_\varphi(m)$  - we use the expression

$$G_\varphi(m) = \left| \Delta G_\varphi(m) \right|^2 = \left| G_{\varphi\text{цн}}(m) - G_{\varphi\text{цр}}(m) \right|^2, \quad (2)$$

where  $G_{\varphi\text{цн}}(m)$  – values of coefficients of a phase-frequency spectrum of an ideal signal;  $G_{\varphi\text{цр}}(m)$  – values of coefficients of a phase-frequency spectrum of an real signal.

To get  $G_\varphi(m)$  use the recording of the spectral density through its modulus and argument

$$G_\varphi(m) = |G_\varphi(m)| \cdot \exp(-j \cdot G_{\varphi\text{цн}}(m)); \quad G_P(m) = |G_P(m)| \cdot \exp(-j \cdot G_{\varphi\text{цр}}(m)). \quad (3)$$

As a result of the multiplication of a spectrum  $G_\varphi(m)$  of ideal oscillation and a complex-conjugate spectrum  $G_P^*(m)$  of the real signal we receive

$$G(m) = |G_\varphi(m)| \cdot \exp(-j \cdot G_{\varphi\text{цн}}(m)) \cdot |G_P(m)| \cdot \exp(j \cdot G_{\varphi\text{цр}}(m)) =$$

$$=|G_{\text{И}}(m) \cdot G_{\text{Р}}(m)| \cdot \exp(-j \cdot (G_{\text{ЦИ}}(m) - G_{\text{ЦР}}(m))) = |G(m)| \cdot \exp(-j \cdot \Delta G_{\text{Ц}}(m)). \quad (4)$$

From the expression (4) find the spectral allocation of phase noise of the output signal

$$\Delta G_{\text{Ц}}(m) = G_{\text{ЦИ}}(m) - G_{\text{ЦР}}(m) = \arctg\left(\frac{\text{Im}(G(m))}{\text{Re}(G(m))}\right). \quad (5)$$

Using expression (2) we receive values of spectral density power of phase noises  $G_{\phi}(m)$ . The spectral density of power of frequency noise  $G_f(m)$  is characterized as an average square of deviations of frequency of a signal from her nominal value under the influence of noise at an analysis frequency  $F_m$  in a band of frequencies  $\Delta f$ . The spectral density power of the frequency noise is found from the expression (6)

$$G_f(m) = G_{\phi}(m) \cdot F_m^2. \quad (6)$$

An analysis frequency  $F_m$  is calculated from the expression  $F_m = (i \cdot n / f_T)$ , where  $n$  - quantity of counts of FFT. Then the expression (6) takes the form

$$G_f(m) = G_{\phi}(m) \cdot (i \cdot n / f_T)^2. \quad (7)$$

As a result of the simulation found, that the spectral allocation of distortion of complex signals, synthesized by the shapers of search systems, has an uneven character. Research of in-band distortion level of the considered signals allowed to define area of the minimum intensity of distortions, which is located at the distance of 200 kHz from main frequency. At a distance of more than 200 kHz from the main frequency distortion level is increased by 15-20 dB, what does use of a tracking filter of a search system less effective.

**Conclusions.** In the construction of devices for the formation of complex signals for search system, which solve problems with detection of explosive objects, it is necessary to consider width of area with the minimum intensity of distortions in the choice of passband active tracking filter. It will allow the most effectively to use possibilities of devices of narrow-band tracking filtering to reduce the distortion level of the synthesized signals and, as a consequence, to increase probability of detection, identification and accuracy of determination of explosive devices coordinates.

## LITERATURE

1. Vzryvoopasnye obekty. Metody i sredstva poiska, obnaruzhenija, obezvrezhivanja i utilizacii / Pod red. V.A. Zarenkova. – S-Ptb, Nauka i Tehnika, 2003. – 354 s.

2. Shherbak G.V. Elektromagnitni metodi gumanitarnogo rozminuvannja / Shherbak G.V., Selecnko Є.Є. // Nadzvichajna situacija. – № 2. – 2007.

3. Teorija i tehnika generirovanija, izluchenija i priema radiolokacionnyh signalov / Pod red. Ju.N. Sedysheva. – VIRTA, 1986. – 650 s.

А.Б. Фещенко, Є.Є. Селеєнко, О.В. Загора, Д.Л. Соколов

**Результати дослідження спотворень сигналів при радіолокаційному зондуванні вибухових пристроїв в товщі ґрунту**

Показано, що при вирішенні задачі виявлення вибухових пристроїв, які розташовані в товщі ґрунту, доцільно використання методів радіолокаційного зондування із застосуванням складних сигналів. Обґрунтовано необхідність мінімізації рівня шумів в спектрі сигналу, що випромінюється, до допустимих значень. Проведено дослідження характеру і рівня внутрішньосмугових спотворень сигналів, що випромінюються, з метою визначення області і величини мінімальної інтенсивності спотворень.

**Ключові слова:** радіолокаційне зондування, вибухові пристрої.

А.Б. Фещенко Е.Е. Селеєнко А.В. Загора, Д.Л.Соколов

**Результаты исследования искажений сигналов при радиолокационном зондировании взрывных устройств в толще грунта**

Показано, что при решении задачи обнаружения взрывных устройств, расположенных в толще грунта, целесообразно использование методов радиолокационного зондирования с применением сложных сигналов. Обоснована необходимость минимизации уровня шумов в спектре излучаемого сигнала до допустимых значений. Проведены исследования характера и уровня внутрисмуговых искажений излучаемых сигналов с целью определения области и величины их минимальной интенсивности.

**Ключевые слова:** радиолокационное зондирование, взрывные устройства, внутрисмуговые искажения сигналов.

*И.Ю. Чернявский, к.т.н., профессор, НТУ «ХПИ»,  
В.В. Тютюник, д.т.н., нач. УНИЛ, НУГЗУ,  
В.Д. Калугин, д.х.н., профессор, НУГЗУ*

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ УРОВНЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ВОЕННОГО ХАРАКТЕРА**

(представлено д-ром наук Мизерски А.)

В статье анализируется роль и место радиационного мониторинга в системе выявления и оценки уровня радиационной обстановки для обеспечения безопасности жизнедеятельности населения при чрезвычайных ситуациях военного характера. Рассматриваются критерии для построения системы радиационного мониторинга, основанной на прогнозировании степени радиационного поражения населения, по данным регистратора параметров радиационного фактора.

**Ключевые слова:** радиационный мониторинг, радиационный фактор, степень радиационного поражения населения.

**Постановка проблемы.** Актуальность работы обусловлена рядом факторов.

Во-первых, по оценкам специалистов одной из важнейших особенностей современных войн и военных конфликтов сейчас и в будущем является поражение наиболее важных объектов экономики и инфраструктуры с целью полного подавления возможности к сопротивлению, в том числе с применением ядерного оружия. В условиях обострения военно-политической напряжённости в мире, пересмотр стратегий и тактики применения ядерного оружия как оружия для деэскалации вооружённых (международных) конфликтов [4], возникает острая необходимость в системе мероприятий по подготовке к защите населения от опасностей, возникающих при ведении военных действий или в следствии этих действий (гражданская оборона как система с 1997 года в Украине – отсутствует).

Во-вторых, гражданская защита населения как основная функция государства по сохранению и поддержанию безопасности жизнедеятельности в условиях чрезвычайных ситуаций военного характера, предусматривает наличие современной системы выявления и оценки радиационной обстановки. Под радиационной обстановкой (РО) целесообразно понимать не только обстановку, которая складывается на территории административного района или населённого пункта в результате радиоактивного заражения местности (РЗМ) и которая требует



принятия определённых решений по мерам защиты [1, 2], но и прежде всего, обстановку, связанную с мощными дозовыми нагрузками при воздействии импульсного гамма-нейтронного воздействия проникающей радиации (ПР) ядерного взрыва. Не учёт данного радиационного фактора может существенно повлиять на степень радиационного поражения населения в условиях возможного применения агрессором ядерного оружия [3-7].

Правовые основы для создания такой системы в Украине закреплены в законах и других подзаконных актах, основывающиеся на Международной правовой базе.

В-третьих, устаревшие медико-радиологические нормы в оценке воздействия гамма-нейтронного излучения, реализованные в войсковых нормах радиационной безопасности (обеспечивающие выполнение поставленной боевой задачи), безусловно, заставляют пересматривать нормативные подходы при оценке степени радиационного поражения мирного населения в условиях решения задачи сохранения населения, а также разрабатывать новые нормативные критерии использования методов и способов выявления радиационной обстановки [10].

В-четвёртых, сохранившиеся фрагменты ранее существовавшей единой системы выявления и оценки масштабов и последствий применения оружия массового поражения (ЕСВОП) охватывающие пункты управления всех силовых структур и ведомств – морально и технически устарели. Средства засечки и выявления параметров ядерных взрывов в Украине отсутствуют, а разработка новых технических решений прекратилась с конца 80-х годов.

В-пятых, невозможность существующей системе экологического мониторинга, а также развёрнутым систем раннего предупреждения о радиационной аварии на АЭС Украины (система ядерно-радиационного мониторинга ГАММА и RODOS) своевременно представлять полную и достаточную информацию для оценки радиационных потерь мирного населения при проявлении радиационных угроз военного характера. С учетом сказанного в настоящее время проявляется в полной мере фактическая невозможность своевременного предоставления, в рамках существующей системы экологического мониторинга, полной и достаточной информации для оценки радиационных потерь мирного населения при проявлении радиационных угроз военного характера.

Сложившаяся ситуация приводит к необходимости поиска новых подходов для получения такой информации, особенно в городских условиях, где существует возможность использования разветвлённой сети базовых станций телекоммуникационной системы.

***Анализ последних исследований и публикаций.*** Проведённый анализ открытых источников, показывает, что вопросам создания ком-

плексной системы выявления и оценки радиационной обстановки военного характера уделено в литературе недостаточно внимания.

В работах [11, 12] анализируется роль и место войсковой дозиметрии в системе выявления и оценки радиационной обстановки. Рассматриваются основные информационные потоки на различных этапах управления, позволяющие объективно оценивать и прогнозировать боеспособность подразделений и частей по радиационному фактору. В исследовании [12] анализируются методологический аппарат создания датчиков выявления боеспособности подразделений и частей в радиационном отношении, оценивается возможность оперативного прогнозирования степени радиационного поражения, для реализации ситуационного управления в системе войсковой дозиметрии. В тоже время концептуальные подходы к созданию таких систем для сохранения безопасности жизнедеятельности мирного населения в условиях чрезвычайных ситуаций военного характера не проработаны.

В рамках создания комплексной территориальной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций различного происхождения в работе [14], предложена многоуровневая структура системы мониторинга радиационной обстановки. Рассмотрен классический контур управления, особенности прохождения первичной информации в системе принятия решений. В исследованиях отмечается, что для оперативного моделирования ситуации необходимо наличие баз данных (знаний) и автоматизированной системы обработки информации, работающей в реальном масштабе времени. Однако, в работе не рассмотрены сами средства контроля первичной информации и задачи решаемые радиационным мониторингом. В тоже время известно, что эффективность таких систем определяется не только оперативностью, но и такими критериями как точность и полнота первичной информации о радиационном факторе. В работе [15] исследуется качество информации, полученной от приборов радиационной разведки местности. Полнота радиационной разведки рассматривается как критерий качества выявления радиационной обстановки в современных условиях.

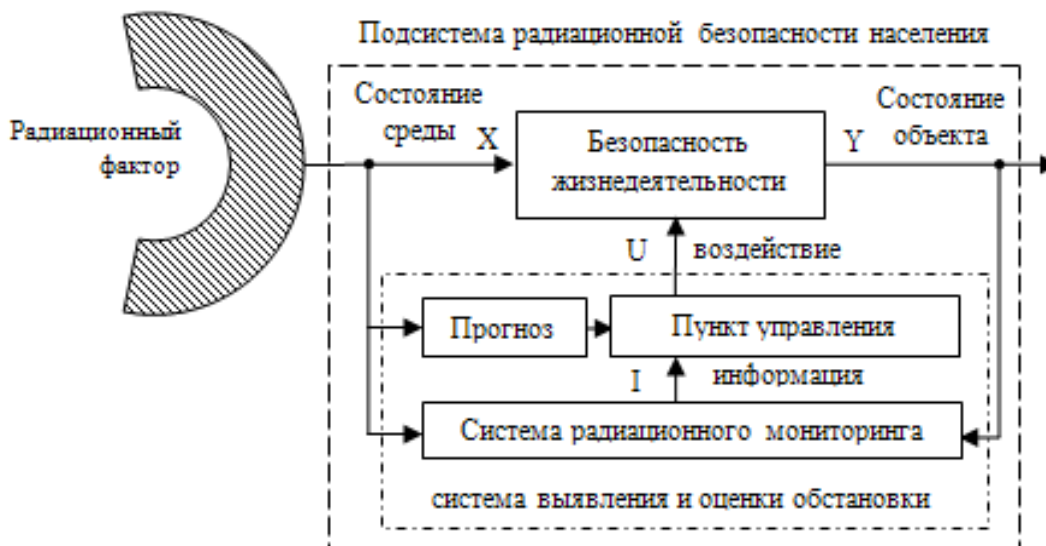
Таким образом, в рамках реализации комплексной территориальной многоуровневой системы мониторинга чрезвычайных ситуаций (ЧС) различного происхождения [14] открытым остаётся вопрос разработки научно-технических основ построения систем выявления и оценки радиационной обстановки для обеспечения безопасности жизнедеятельности населения Украины в условиях возникновения ЧС военного характера, что и определяет цель исследований.

**Постановка задачи и её решение.** Цель данной работы – определить роль радиационного мониторинга в оценке радиационной обстановки для обеспечения безопасности жизнедеятельности населения во время чрезвычайных ситуаций военного характера. Рассмотреть

критерии для построения системы радиационного мониторинга основанной на прогнозировании степени радиационного поражения населения, по данным регистратора параметров радиационного фактора. Предложить концепцию построения таких систем, учитывающих импульсное гамма-нейтронное воздействие проникающей радиации на население городов.

*1. Оценка эффективности системы выявления радиационной обстановки в чрезвычайных ситуациях военного характера*

Под эффективностью системы выявления и оценки радиационной обстановки, как правило, понимают степень соответствия результатов её функционирования целевому назначению этой системы. Эффективность зависит от множества свойств (параметров) и возможностей системы и может быть оценена при помощи показателей, характеризующих способность системы исполнять задание по предназначению, в установленный срок, в конкретных условиях (рис. 1) [11].

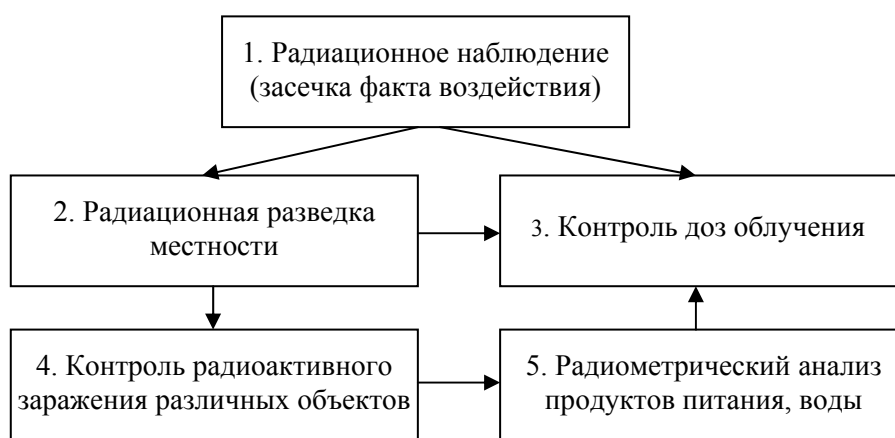


**Рис. 1. Блок-схема функционирования системы радиационной безопасности населения в условиях воздействия радиационных факторов**

Показатель эффективности должен наиболее полно отображать цель действий. При решении задач радиационного мониторинга обобщённый показатель эффективности должен удовлетворять некоторым требованиям: 1) своевременно обеспечивать пункты управления (штабы гражданской защиты) достоверной и полной информацией о РО; 2) давать возможность оценивать способность системы выполнять задания по своему алгоритму; 3) должен иметь количественное выражение; 4) учитывать основные особенности и возможную неопределённость условий функционирования системы выявления и оценки РО. Для этого необходимо оперировать диапазоном определенных параметров, а величину показателя эффективности выразить математическим ожида-

нием (или вероятностью) с наименьшей дисперсией. Результаты расчётов, по выбранному показателю, эффективность и их анализ является основой выбора целесообразных способов построения системы радиационного мониторинга. Поскольку информация о фактической радиационной обстановке (I), выдаваемая системой радиационного мониторинга (рис. 1), используется для принятия оптимального решения для защиты населения от радиационных факторов, то эффективность функционирования такой системы целесообразно и необходимо оценивать по величине вклада, который она вносит в данное решение (U) и в целом – в безопасность жизнедеятельности населения.

На рис. 2 представлены традиционные задачи радиационного мониторинга в условиях воздействия радиационных факторов в системе гражданской обороны [2].



**Рис. 2. Задачи радиационного мониторинга при чрезвычайных ситуациях военного характера**

В зависимости от радиационной ситуации возможен приоритет той или иной задачи, однако всегда превентивной задачей будет достоверная засечка факта изменения РО и возможность измерения необходимых параметров воздействующего фактора.

Основным показателем эффективности системы выявления и оценки РО является величина математического ожидания предотвращённых потерь (M) среди мирного населения в условиях воздействия радиационных факторов

$$M = \frac{B_0 - B_1}{B_0}, \quad (1)$$

где  $B_0$  и  $B_1$  – соответствующие радиационные потери населения при выполнении управленческих решений (U), принятых без информации от системы радиационного мониторинга и с использованием данной информации.

Радиационные потери  $B_0$  могут быть обусловлены не только отсутствием всякой информации РО, но и неполной или недостоверной информацией от существующей системы радиационного мониторинга.

Размеры и структура радиационных потерь в очаге ядерного поражения чрезвычайно изменчивы и зависят от ряда факторов: 1) количества и калибра боеприпасов; 2) способа их применения; 3) вида взрывов; 4) степени инженерного оборудования городской застройки; 5) обученности населения мерам защиты и т.д.

Однако данные потери всегда будут массовыми, и зависеть от разнообразной структуры и степени тяжести радиационного поражения (табл. 1). Видно, что каждая степень тяжести радиационного поражения характеризует как процент гибели населения, так и сроки наступления данного события ( $T_{кр}$ ).

Проведённый анализ критериев безопасности жизнедеятельности населения в условиях радиационного поражения, показывает, что сам термин «жизнеспособность» после получения значительных дозовых нагрузок напрямую связан с либо вероятностью выздоровления при условии своевременного оказания медицинской помощи, либо с вероятностью гибели человека в заданный промежуток времени ( $T_{кр}$ ).

В этих условиях имеет смысл оперировать не категориями потери дееспособности (работоспособности), что актуально для подразделений МЧС, а пользоваться именно клинической терминологией в оценке степени тяжести радиационного поражения, привязанной к временной шкале исходов протекания острой лучевой болезни (табл. 1) [8, 9].

**Табл. 1. Критерии тяжести радиационного поражения, без лечения населения [8]**

Степень тяжести радиационного поражения		Начало первичной реакции	Гибель (%)	Критическое время $T_{кр}$ (сут)
<b>Лёгкая</b> (до 2 Гр)		-	-	-
<b>Средняя</b> (2-4 Гр)		1-2 ч	20	30-40
<b>Тяжёлая</b> (4-6 Гр)		30 мин-1 ч	50-80	30-40
<b>Крайне тяжёлая</b>	костно-мозговая (6-10 Гр)	15-30 мин	90-100	11-20
	кишечная (10-20 Гр)	5-15 мин	100	6-8
	токсемическая (230-80 Гр)	0	100	3-5
	церебральная (>80 Гр)	0	100	1-2

В табл. 2 нами смоделированы условия формирования дозовой нагрузки мирного населения при возможной радиационной опасности военного характера. Анализ способов применения тактического ядерного оружия [3-7] свидетельствует о том, что расчёт делается на разви-

тие крайне тяжёлой формы острой лучевой болезни и гибели, поражённых в течение нескольких суток. При этом сравнительно мала доля поражённых средней и легкой степени тяжести, потеря дееспособности которых отсрочена от момента воздействия проникающей радиации ( $D_{пр}$ ) на несколько часов. В этих условиях радиоактивное заражение местности ( $D_{рзм}$ ) в таких очагах практически отсутствует, однако в большей степени присутствует наведённая активность ( $D_{нав}$ ), как местности так и зданий городской застройки (ситуация 1.2 табл. 2).

Представленные результаты (табл. 2) показывают, что в условиях отсутствия средств защиты органов дыхания у населения и при пребывании его в очагах РЗМ (ситуация 2.2, 3.1, 4 табл. 2) возникает острая необходимость учитывать их внутреннее облучение: ингаляционное ( $D_{инг}$ ) и пероральное ( $D_{пер}$ ).

Таким образом, суммарная дозовая нагрузка, определяющая остроту и тяжесть радиационного поражения, должна определяться корректной оценкой каждой отдельной компонентой облучения. Для принятия оптимального решения по защите населения необходимо иметь также информацию о дозовом резерве населения чтобы определить нижний порог радиационного воздействия, который может измениться при эвакуации облучённых людей транспортными средствами, которые могут быть также загрязнены, а следовательно вносить свой вклад ( $D_{тех}$ ) в суммарную дозовую нагрузку.

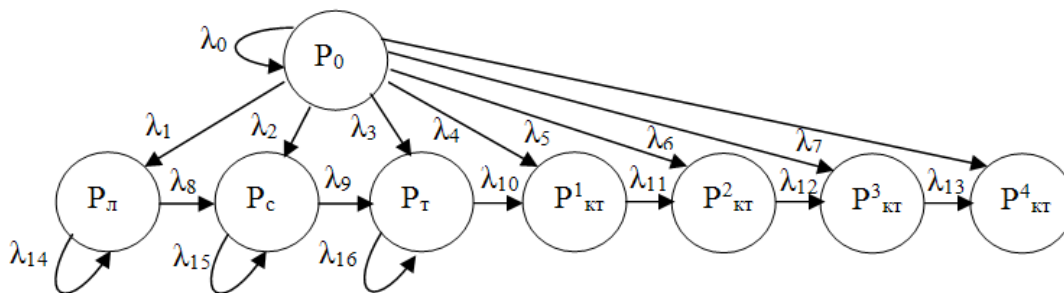
**Табл. 2. Источники радиационной опасности военного характера и их дозовая нагрузка**

№	Радиационная ситуация	Условия формирования дозовой нагрузки
1	<b>Применения ЯО</b>	
1.1	термоядерный боеприпас	$D_{\Sigma} = 0,05D_{пр} + 0,1D_{рзм}$
1.2	нейтронный боеприпас	$D_{\Sigma} \approx 0,8D_{пр} + 0,1(D_{нав} + D_{рзм})$
2	<b>Разрушение предприятий ядерной энергетики</b>	
2.1	разрушение АЭС ЯВ	$D_{\Sigma} = 0,9D_{мес} + 0,1(D_{инг} + D_{тех})$
2.2	разрушение ПЗРО	$D_{\Sigma} \approx 0,1D_{инг} + 0,9D_{пер}$
3	<b>Аварии на АЭС</b>	
3.1	в период формирования РЗМ (до 4 сут)	$D_{\Sigma} = 0,5D_{мес} + 0,45D_{инг} + 0,05D_{оде}$
3.2	начальный период стабилизации РЗМ (3-4 мес)	$D_{\Sigma} = 0,8D_{мес} + 0,1D_{инг} + 0,1D_{тех}$
3.3	стабилизация РЗМ (2-3 года)	$D_{\Sigma} = 0,1D_{мес} + 0,5D_{инг} + 0,4D_{пер}$
4	<b>Применение радиологического оружия</b>	$D_{\Sigma} \approx 0,01D_{мес} + 0,9D_{инг} + 0,5D_{пер}$

На рис. 3 представлена розроблена нами модель можливих ситуацій, що виникають при впливі радіаційного фактора ЯВ на життєспособність населення.

Модель не враховує впливи інших уражаючих факторів ЯВ і не розглядає частку відновлення життєспособності за рахунок внутрішніх сил організму. Інтенсивність переходів ( $\lambda_i$ ) з стану в стану залежить від величини поглищеної дози, від її просторово-часового розподілу, від залишкової дози облучення населення і може бути описана законом розподілу Пуассона.

При радіаційному моніторингу повинні враховуватися, як ситуація первинного впливу радіаційного фактора  $\lambda_0 - \lambda_7$  – діяння ПР (найпростіший, стаціонарний потік), так і повторного облучення  $\lambda_8 - \lambda_{16}$ , яке пов'язано, наприклад, з додатковим облученням при виході з зон радіоактивного зараження, або в результаті контакту з зараженою технікою після виходу з зони РЗМ.



**Рис. 3. Графи состояний степени тяжести радиационного поражения при воздействии радиационного фактора (P0 – вероятность отсутствия радиационного поражения; Pл – вероятность получения лёгкой степени тяжести поражения; Pс – вероятность получения средней степени тяжести поражения; Pт – вероятность получения тяжёлой степени тяжести поражения; P<sup>1</sup><sub>кт</sub>, P<sup>2</sup><sub>кт</sub>, P<sup>3</sup><sub>кт</sub>, P<sup>4</sup><sub>кт</sub> – вероятности получения крайне тяжёлой степени тяжести костно-мозговой формы, кишечной, токсемической и церебральной соответственно**

В любом случае причины переходов в новые состояния связаны с возможными вариантами действий населения, совпадать с оценкой радиационных потерь в условиях фактической радиационной обстановки и учитывать специфику воздействующего радиационного фактора

$$\lambda_j = \lambda_{пр} + \lambda_{зз} + \lambda_{пз} + \lambda_{т} + \lambda_{инг} , \tag{2}$$

где  $\lambda_{пр}$  – интенсивность перехода за счёт импульсного воздействия гамма-нейтронного излучения проникающей радиации;  $\lambda_{зз}$  – интенсивность перехода за счёт пребывания в определённой зоне заражения;  $\lambda_{пз}$  – интенсивность перехода за счёт воздействия смешанного бета-гамма излучения при преодолении зоны заражения;  $\lambda_{т}$  – интенсивность

перехода за счёт контакта с зараженной техникой в том числе и за счёт наведённой активности;  $\lambda_{\text{инг}}$  – интенсивность перехода за счёт ингаляционного воздействия альфа, бета излучений.

Контроль доз облучения может проводиться либо с помощью войсковых дозиметров (группой или индивидуально), что неприемлемо для мирного населения, либо по данным прогноза выполненного на основе сведений об уровнях радиации на РЗМ. Невозможность определения дозовой нагрузки ( $D_{\text{пр}}$ ) на этапе первичного облучения  $\lambda_0 - \lambda_7$  от импульсного гамма-нейтронного излучения ПР (рис. 3), с оперативной и достоверной оценкой тяжести радиационного поражения, заставляет искать пути решения данной проблемы.

Другим фактором, определяющим радиационные потери населения, является задержка в реализации защитных мер, которая включает в себя время на сбор и обработку информации, принятие решения и его непосредственное исполнение. На рис.4 показана зависимость радиационных потерь ( $B$ ) от времени на принятие управленческого решения ( $T_{\text{пр}}$ ).

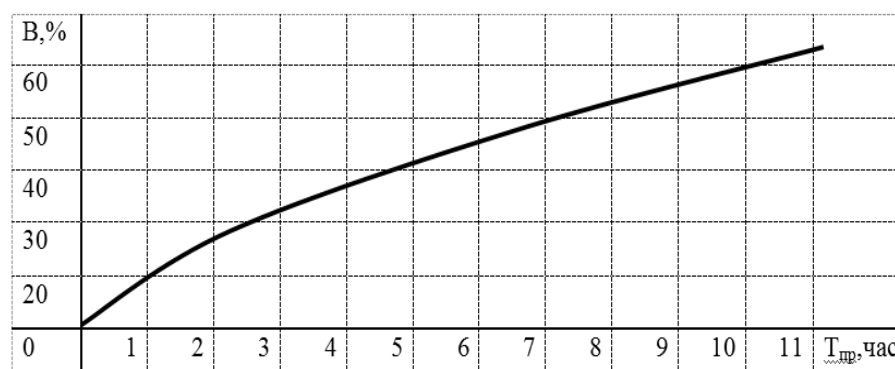


Рис. 4. Зависимость радиационных потерь от времени принятия решения [13]

Из графика рис. 4 необходимо сделать вывод, что нужна очень мобильная система радиационного мониторинга, чтобы полученная информация мгновенно передавалась по каналам связи для принятия решения (без искажения), а само оптимальное управленческое решение (воздействие  $U$ ) формируется на основе анализа заранее подготовленных баз данных для конкретных ситуаций (пространства состояний). Только в этих условиях определяющую роль в снижении потерь будет иметь уровень эффективности функционирования системы радиационного мониторинга.

В зависимости от того, есть модель радиационной ситуации или нет, нами предложено два очень важных подхода к использованию измеренных параметров радиационного фактора ( $X$ ) системой радиационного мониторинга: адаптация с моделью и поисковую адаптацию (без модели), которые существенно отличаются друг от друга (рис. 5). При наличии адекватной модели ( $F$ ) для синтеза адаптирующего воздей-



ствия достаточно измерить параметры радиационного фактора ( $X$ ) и по алгоритму и модели «вычислить» необходимое адаптирующее воздействие, которое должно поддержать нужную степень жизнеспособности. Блок-схема такой адаптивной системы представлена на рис. 5,а. Если модель адекватна, то  $Y_M = Y$  и нет необходимости измерять состояние объекта, а значит можно подобрать такое управляющее воздействие, чтобы состояние  $Y_M$  удовлетворяло целям обеспечения безопасности жизнедеятельности в условиях сложной радиационной обстановки.

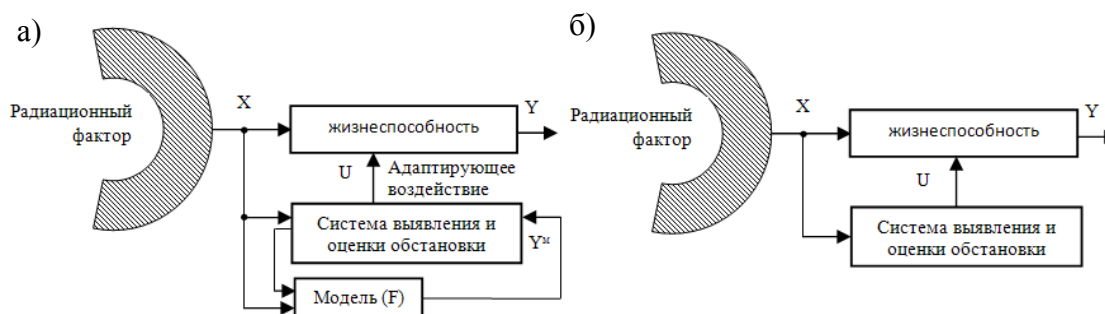


Рис. 5. Блок-схема адаптации в условия воздействия радиационного фактора: а – апостериорной адаптации, б – априорной адаптации)

Если число возможных ситуаций, которые могут сложиться при воздействии радиационного фактора, невелико, то именно для этих ситуаций можно заранее решить задачу адаптации и заготовить необходимые адаптирующие воздействия в виде таблицы оптимальных решений. В этом случае процесс адаптации сводится к оценке ситуации (по измеренным параметрам радиационного фактора), выбору из таблицы решений информации об оптимальном адаптирующем воздействии и реализации этого воздействия на объект. Такого рода адаптацию принято называть [11] априорной, так как все здесь заготавливается заранее (априори) в виде решающей таблицы: ситуация ( $X$ ) – необходимое оптимальное адаптирующее воздействие ( $U$ ). Блок-схема такой априорной адаптации приведена на рис.5б. Исследования показали, что получение прогнозируемой информации о дееспособности такими средствами возможно путём применения методик оценки и моделей взаимодействия ионизирующих излучений на живой организм. Разбиение пространства признаков воздействия радиационного фактора на классы по эффекту воздействия представителей класса на каждый из типовых объектов инфраструктуры города позволяет применить схему ситуационного управления. Наиболее сложные аспекты построения таких систем с точки зрения учёта измерения радиационных характеристик с последующим прогнозированием как дозовых нагрузок, так и тяжести радиационных поражений от импульсного гамма-нейтронного излучение ПР ЯВ рассмотрены в работах [11, 12].

Уровень оперативности, полноты и точности информации от системы радиационного мониторинга, как факторов, которые влияют на потери населения, целесообразно описать выражением [13]

$$V_1 = V_0 (1 - P_{oi})^{0,035}, \quad (3)$$

где  $P_{oi} = \prod_{i=1}^m P_i$  – вероятность того, что информация (I) о радиационной обстановке от системы радиационного мониторинга получена своевременно и является полной, достоверной и точной;  $m$  – количество задач в системе радиационного мониторинга (рис. 2).

Оценим влияние качества информации о радиационной обстановке согласно выражению (3) на радиационные потери населения для наиболее вероятных угроз военного характера (рис. 6).

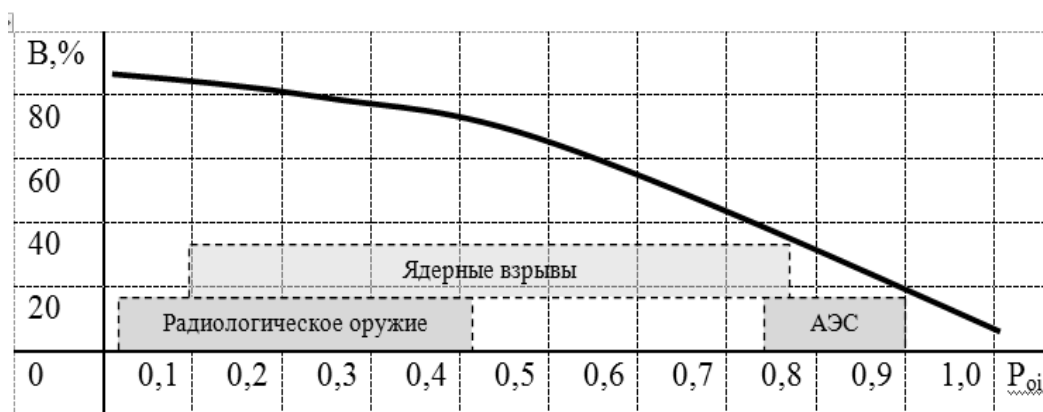


Рис. 6. Зависимость радиационных потерь от  $P_{oi}$

Из графика видно, что наибольшей вероятностью можно ожидать своевременной, достоверной и точной информации в ситуации разрушения (аварии) стационарных объектов ядерной энергетики, в силу:

- определённости ситуации и измеряемых характеристик радиационного фактора;
- развёрнутых систем раннего предупреждения о радиационной аварии на АЭС (система ядерно-радиационного мониторинга ГАММА и RODOS).

В условиях применения агрессором как радиологического, так и ядерного оружия, наибольшие радиационные потери, из-за отсутствия таких систем, ожидаются среди жителей крупных городов (рис. 6). Поэтому разрабатываемые системы радиационного мониторинга сами должны быть радиационно- и помехоустойчивыми системами.

2. Моделирование степени радиационного поражения населения по результатам воздействия импульсного гамма-нейтронного излучения проникающей радиации.

В условиях отсутствия в Украине станций засечки параметров ЯВ, фиксирующих факт воздействия импульсного гамма-нейтронного излучения и невозможность контроля доз облучения у мирного населения техническими средствами дозиметрического контроля, нами предлагается использование специальной аппаратуры, обеспечивающей:

- 1) фиксацию факта воздействия радиационного фактора;
- 2) определение воздействующих характеристик, по которым определяются возможные радиационные последствия;
- 3) выбор рациональной стратегии оперативных контрмер по защите мирного населения.

Прогнозирование дозовых нагрузок ( $D_{пр}$ ), т.е. степени радиационного поражения населения, на различных расстояниях от точки регистрации радиационных характеристик датчиком возможно благодаря существующей изотропии поля ПР, а также наличию равновесного спектра излучения на расстояниях, представляющих практический интерес с точки зрения биологического действия нейтронов [8, 9, 10].

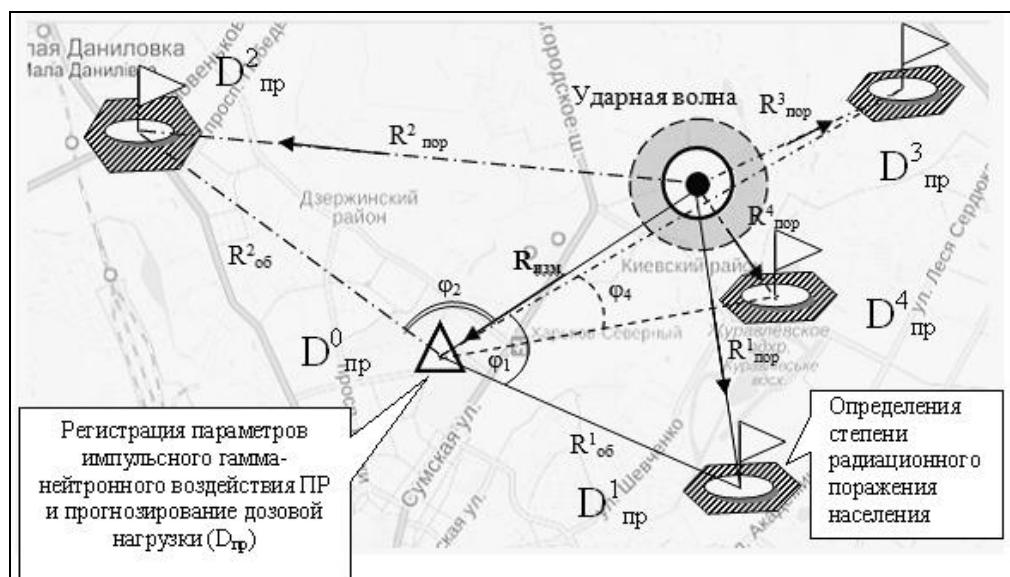
Точное определение характеристик полей нейтронов и гамма-квантов представляет сложную задачу, поэтому их значения могут быть получены путём измерений, с использованием достаточно хорошо проработанных методов определения направления на источник проникающего излучения, позволяющего оценить расстояние до источника и его мощность. Получение прогнозируемой информации о степени радиационного поражения такими средствами возможно при использовании методик оценки и моделей взаимодействия радиационного фактора на живой организм.

Предложенный подход к определению степени тяжести радиационного поражения населения включает 2 этапа [12]: 1) этап измерений регистратором: поглощённых доз гамма и нейтронного излучения; запаздывание прихода нейтронного излучения; энергии излучения, расстояния до взрыва; 2) этап непосредственно прогнозирования поглощённых доз гамма-нейтронного излучения в интересующих нас точках с учётом базовых данных (рис. 7).

Вероятность успешной оценки степени тяжести воздействия импульсного гамма-нейтронного воздействия ПР ЯВ путём прогнозирования дозовых нагрузок предложенным выше способом, целесообразно описать следующим выражением [13]

$$P_{oi} = \frac{\beta \cdot K_{полн} \cdot (1 - P_{пораж})}{1 + \beta} \cdot \left( 1 - e^{-\left( \frac{T_{кр}}{t_{пер} + \frac{S_{II}}{S_m \cdot n}} \right)} \right), \quad (4)$$

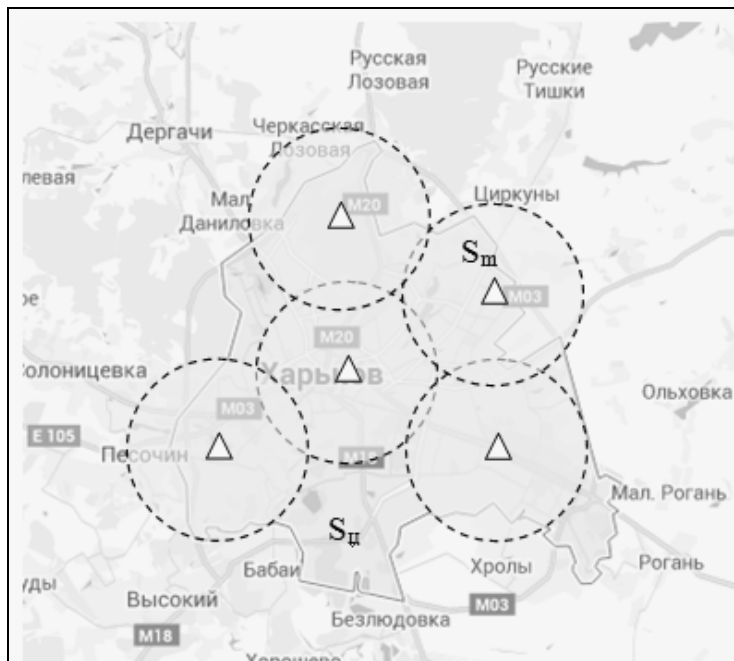
где  $P_{\text{пораж}}$  – вероятность выведения из строя датчика как избыточным давлением, так и его поражение ЭМИ (ИИ) ЯВ в период выполнения задачи.



**Рис. 7. Схема определения степени радиационного поражения населения по результатам воздействия импульсного гамма-нейтронного излучения проникающей радиации**

Вероятность (4) будет зависеть от важности объекта (коэффициент  $\beta$ ) школы, детские сады, больницы, жилые многоэтажные дома – по степени присутствия населения и их степени защиты; от полноты учёта как воздействующего фактора, так и защитных свойств объекта (коэффициент  $K_{\text{полн}}$ ); от времени, которое теряется на передачу информации ( $t_{\text{пер}}$ ); от времени, по окончании которого информация о спрогнозированной степени тяжести поражения (табл. 1) не приведёт к значительному уменьшению потерь населения в зоне воздействия радиационного фактора ( $T_{\text{кр}}$ ); от масштаба необходимого контроля  $S_{\text{ц}}$ , а также, безусловно, от возможности одного датчика, количества датчиков ( $S_{\text{m,n}}$ ), участвующих в контроле (рис. 8).

Разбиение пространства признаков воздействия радиационного фактора на классы по эффекту воздействия на типовые объекты городской инфраструктуры позволяет применить схему ситуационного управления. Задержка реакции здесь определяется лишь временем фиксации радиационного фактора и переходными процессами в объекте, вызванными изменением вида управляющего воздействия (временем поиска управляющего воздействия – можно пренебречь).



**Рис. 8.** Полнота необходимого контроля пространства состояний параметров среды

Проведём оценку эффективности прогнозирования степени радиационного поражения населения по данным датчика воздействия импульсного гамма-нейтронного излучения проникающей радиации. Примем поток смены степени тяжести радиационного поражения населения, обусловленный воздействием ПР – простейшим. При этом условную вероятность получения населением  $j$  – объекта данной степени радиационного поражения (рис. 3) можно оценить с помощью выражения

$$P_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^m \lambda_j}, \tag{5}$$

где  $\lambda_j$  – интенсивность смены степени тяжести радиационного поражения населения  $j$  – объекта;  $m$  – количество объектов в городе.

Среднее активное время реагирования на ситуацию  $T_a$  определяется как математическое ожидание

$$T_a = \sum_{j=1}^m P_j \cdot (t_{vj} + t_{oj} + t_{yj} + t_{рнм}), \tag{6}$$

где  $t_{vj}$  – время выявления дозовых нагрузок населения в  $j$ -м объекте;  $t_{oj}$  – время, необходимое для непосредственной оценки степени тяжести радиационного поражения населения  $j$ -го объекта с учётом ранее полу-

ченных дозовых нагрузок и определения дозового резерва;  $t_{yj}$  – время на принятие (выработку) решения по защите населения;  $t_{рнм}$  – время на реализацию неотложных мер.

Из выражения (6) видно, что в условиях применения тактического ядерного оружия массовые радиационные поражения мирного населения приведут к резкому возрастанию времени на реагирования за счёт сбора и обработки информации. Применение технических средств прогнозирования дозовых нагрузок позволит учесть особенности неравномерного облучения населения в зданиях городской застройки [10] и существенно ускорить процесс оценки степени тяжести радиационного поражения, а значит, и своевременно принять эффективные меры по защите населения.

В данных условиях время, затрачиваемое на сбор индивидуальной дозиметрической информации, практически теряет смысл, поэтому прогноз осуществляется до объекта с уточнёнными особенностями его размещения ( $K_{осл}$ ). В этих условиях значительно сокращается и время на обработку информации при применении ситуационного управления.

Таким образом, при прогнозировании степени тяжести радиационного поражения выражение среднего активного времени реагирования на ситуацию имеет вид

$$T_a^n = \sum_{j=1}^m P_j \cdot (\tau_{\text{прогноз}j} + t_{\text{рнм}}). \quad (7)$$

В этом случае эффективность от применения ситуационного управления путём прогнозирования степеней радиационного поражения населения при воздействии импульсного гамма-нейтронного излучения можно оценить с помощью выражения [11]

$$W = \frac{T_a}{T_a^n} = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cdot (t_{vj} + t_{oj} + t_{yj} + t_{\text{рнм}})}{\sum_{j=1}^m P_j \cdot (\tau_{\text{прогн}j} + t_{\text{рнм}})}. \quad (8)$$

В выражении (8)  $t_{vj} + t_{oj} + t_{yj} \gg \tau_{\text{прогн}j}$ , в связи с тем, что прогнозирование проходит практически мгновенно после регистрации параметров проникающей радиации (X). Поэтому  $W \gg 1$ ,  $T_a^n \ll T_a$ .

**Выводы.** В условиях возникновения чрезвычайных ситуаций военного характера с применением тактического ядерного оружия возникает необходимость применения эффективных систем радиационного мониторинга для выявления и оценки радиационной обстановки. В этой связи возникает необходимость разработки системы радиационного мониторинга на базе комплексной системы мониторинга террито-

рии Украины. Высказаны представления о решающей роли системы радиационного мониторинга при оценке радиационной обстановки военного характера. Предложены обоснованные критерии для построения такой системы.

Впервые систематизированы радиационные чрезвычайные ситуации военного характера и смоделированы условия формирования дозовой нагрузки мирного населения в условиях радиационной опасности. Разработана математическая модель возможных ситуаций, возникающих при воздействии радиационного фактора ядерного взрыва на жизнеспособность населения.

Разработан системный подход для оценки измеренных параметров радиационного фактора системой радиационного мониторинга, с учетом тяжести радиационного поражения населения. На основе этих результатов предложено учёт степени тяжести радиационных потерь (при воздействии импульсного гамма-нейтронного излучения проникающей радиации) проводить по результатам доз облучения населения городов рассчитанных на основе данных регистраторов параметров радиационного фактора.

Для реализации предложения по п.3 в состав аппаратуры радиационного мониторинга предложено включить регистратор параметров радиационного фактора (для фиксации воздействующих импульсов в конкретный момент времени), что позволит существенно повысить оперативность и точность прогноза степени радиационного поражения населения и сократить время принятия антикризисных решений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник / Под редакцией Г.П. Демиденко. 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1989. – 287 с.
2. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист / М.І. Стеблюк – К.: Знання-Прес, 2007. – 487 с.
3. Василенко И.Я. Ядерное оружие нового поколения и его радиационно-гигиенические аспекты / И.Я. Василенко, О.И. Василенко // Бюллетень по атомной энергии. – 2004. – №1. – С. 60-62.
4. Левшин В.И. О применении ядерного оружия для деэскалации военных действий / В.И. Левшин, А.В. Неделин, М.Е. Сосновский // Военная мысль. – 1999. – № 3(5-6). – С. 34 – 37.
5. Белоус В. Тактическое оружие в новых геополитических условиях / В. Белоус // Ядерный контроль. – 1996. – № 14. – С. 2 – 7.
6. Нейтронное оружие и характер его воздействия. Гражданская оборона. – 1977. – Вып. 6. – 98 с.

7. Соков Н. Тактическое ядерное оружие: новые геополитические реальности или старые ошибки / Н. Соков // Ядерный Контроль. – 1997. – № 26.

8. Моисеев А.А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – 4-е изд., перераб. и доп. / Моисеев А.А., Иванов В. И. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 252 с.

9. Гуськова А.К. Лучевая болезнь человека / А.К. Гуськова, Г.Д. Байсоголов. – М.: Медицина, 1971. – 384 с.

10. Чернявский И.Ю. Особенности учета пространственно-временного распределения поглощённой дозы при оценке радиационных потерь в современных условиях / И.Ю. Чернявский // Український радіологічний журнал. – 2015. – Т. XXIII. – Вип. 2. – С. 193-196.

11. Чернявский И.Ю. Войсковая дозиметрия как система выявления оценки радиационной обстановки / И.Ю. Чернявский // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – №4(21). – С. 126-133.

12. Чернявский И.Ю. Оценка степени радиационного поражения путём прогнозирования дозовых нагрузок за данными датчика боеспособности / И.Ю. Чернявский, В.В. Марущенко, А.В. Матыкин // Системи озброєння і військова техніка: науково-технічний журнал. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – №1(45). – С. 125 – 133.

13. Чернявський І.Ю. Обґрунтування шляхів вдосконалення системи збору та обробки інформації про РХБ обстановку при виконанні завдань підрозділами та частинами у складі ОСШР щодо нейтралізації збройного конфлікту / І.Ю. Чернявський // Інформаційний бюлетень військ РХБ захисту № 6(6) 2008. Науково-інформаційне видання. – Харків: ХІТВ, 2008. – 100 с.

14. Калугін В.Д. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В.Д. Калугін, В.В. Тютюнник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204 – 216.

15. Чернявський І.Ю. Повышение качества проведения радиационной разведки районов путем увеличения контролируемой площади бортовым прибором радиационной разведки / І.Ю. Чернявський, В.В. Марущенко // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХП», 2010. – №1. – С. 217–222.



I.Ю. Чернявський, В.В. Тютюник, В.Д. Калугін

**Аналіз умов для створення системи виявлення та оцінки рівня радіаційної безпеки життєдіяльності населення при надзвичайних ситуаціях воєнного характеру**

В статті аналізується роль та місце радіаційного моніторингу в системі виявлення та оцінки рівня радіаційної обстановки для забезпечення безпеки життєдіяльності населення при надзвичайних ситуаціях воєнного характеру. Розглядаються критерії для розбудови системи радіаційного моніторингу, основаної на прогнозуванні ступеню радіаційного ураження населення за даними реєстратора параметрів радіаційного фактору.

**Ключові слова:** радіаційний моніторинг, радіаційний фактор, ступінь радіаційного ураження населення.

I.Y. Cherniavskiy, V.V. Tiutiunik, V.D. Kalugin

**Analysis of terms for creation of system exposures and estimation of radiation strength of vital functions of population security at emergencies of military character**

In the article a role and place of the radiation monitoring are analyzed in the system of exposure and estimation of level of radiation situation for providing of safety of vital functions of population at the emergencies of military character. Criteria are examined for the construction of the system of the radiation monitoring, degree of radiation defeat of population based on prognostication, from data of recorder of parameters of radiation factor.

**Keywords:** radiation monitoring, radiation factor, degree of radiation defeat of population.

*І.А. Чуб, д.т.н., професор, нач. каф., НУЦЗУ,  
В.В. Матухно, ад'юнкт, НУЦЗУ*

## **ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ З ВИБУХОМ ХМАРИ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ**

Наведено методику прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом газоповітряної хмари в умовах нафтопереробного підприємства. Методика містить розрахунок параметрів вибуху та оцінку ймовірності пошкодження або руйнування будівель, споруд та технологічних установок.

**Ключові слова:** вибух, хмара газо-повітряної суміші, прогноз наслідків.

**Постановка проблеми.** Надзвичайні ситуації (НС), пов'язані з аваріями на технологічному обладнанні та установках підприємств нафтопереробної галузі, характеризуються великими об'ємами викидів вибухонебезпечних речовин, утворенням хмар газо-повітряних сумішей (ГПС) і, як наслідок, вибухами, що приводять до руйнування або пошкодження будівель, споруд, установок.

Мінімізація втрат та збитків від техногенної ЧС, що супроводжується викидом ГПС та вибухом, можливе тільки на основі реалізації комплексу задач прогнозування її розвитку та можливих наслідків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Незважаючи на значну практичну потребу, в Україні на даний час відсутній єдиний теоретико-методологічний підхід до побудови методів, що забезпечують прогнозування розвитку та можливих наслідків вибуху хмар ГПС в умовах промислового об'єкту з урахуванням особливостей забудови території, режиму вибуху, характеристик вибухонебезпечних речовин.

Нормативний документ [1] містить загальну методику розрахунку основних параметрів (надлишкового тиску та імпульсу хвилі тиску) вибуху газоповітряної або пароповітряної хмари, що утворилася в результаті НС з викидом вибухонебезпечної речовини при розгерметизації технологічної установки. Але при цьому не враховується режим вибуху та склад вибухонебезпечної суміші.

Іноземні джерела, наприклад, [3, 4] при розрахунку основних параметрів вибуху беруть за основу його тротиловий еквівалент та розглядають, як правило, детонаційний режим. Проте, як свідчать статистичні дослідження, при вибухах хмар ГПС у (80...90) % випадків реалізується дефлаграційний механізм вибухового перетворення.

**Постановка завдання та його вирішення.** *Мета статті* – розробка методики прогнозування наслідків вибуху хмари газоповітряної

суміші, що виникла в результаті руйнування ємності для зберігання в умовах нафтопереробного заводу (НПЗ).

Для кількісної оцінки параметрів повітряних ударних хвиль при вибухах ГПС розглянемо повне руйнування обладнання, що містить горючу речовину в газоподібній фазі, викид цієї речовини в навколишнє середовище, утворення хмари ГПС, вибухове перетворення ГПС.

У статті розглядається утворення хмари ГПС з горючої речовини (газу) одного виду. Для розрахунку параметрів ударних хвиль під час вибуху хмари ГПС враховувалися наступні вихідні дані:

- характеристики горючого газу;
- середня концентрація горючого газу в суміші;
- стехіометрична концентрація горючого газу з повітрям;
- маса горючого газу, що міститься в хмарі;
- питома теплота згоряння горючого газу;
- інформація про навколишній простір.

Прогнозування наслідків вибуху хмари ГПС складається з наступних основних етапів:

- визначення маси горючого газу в хмарі;
- визначення ефективного енергозапасу ГПС в хмарі;
- визначення режиму вибухового перетворення ГПС у хмарі;
- розрахунок максимального надлишкового тиску та імпульсу повітряних вибухових хвиль для різних режимів;
- оцінка вражаючого впливу вибуху хмари ГПС.

**Прогнозування наслідків вибуху хмари ГПС.** На відкритому технологічному майданчику НПЗ в результаті надзвичайної ситуації з повною розгерметизацією ємності, що містить скраплений пропан, стався викид 8 тонн газу з утворенням хмари ГПС. Для оцінки максимально можливих наслідків НС прийнято, що в хмару перейшло практично вся кількість викинутого скрапленого пропану. Масова концентрація газу в хмарі склала  $0,14 \text{ кг/м}^3$ , об'єм хмари – близько  $57 \text{ тис.м}^3$ . Займання хмари призвело до дефлаграційного вибуху.

НС сталася влітку, в денний час, в ясну безвітряну погоду. На відстані 80 м, 100 м і 135 м від місця вибуху розміщуються споруди та відкриті технологічні установки підприємства.

Потрібно визначити ймовірність їх пошкодження (руйнування) при вибуху хмари ГВП.

Дані для розв'язання задачі:

- |   |         |
|---|---------|
| • вибухонебезпечна речовина                           | пропан; |
| • агрегатний стан суміші                              | газова; |
| • концентрація газу в суміші, $c_r$ , $\text{кг/м}^3$ | 0,14;   |
| • маса газу в хмарі, $M_r$ , кг                       | 8000;   |

- питома теплота згоряння газу  $q_{\Gamma}$ , Дж/кг  $4,64 \cdot 10^7$ ;
- навколишній простір відкритий;
- відстані до сусідніх об'єктів, м 80, 100, 135.

Розрахунки будемо виконувати відповідно до рекомендацій [4].

**Розрахунок основних параметрів вибуху хмари ГПС.** Визначаємо ефективний енергозапас  $E$  хмари ГПС

$$E = 2M_{\Gamma} q_{\Gamma} c_{\text{ст}}/c_{\Gamma},$$

де  $c_{\text{ст}}$  – стехіометрична концентрація пропану в суміші з повітрям,  $c_{\text{ст}} = 0,077$  кг/м<sup>3</sup>. Отримуємо

$$E = 2M_{\Gamma} q_{\Gamma} c_{\text{ст}}/c_{\Gamma} = 2 \cdot 8000 \cdot 4,64 \cdot 10^7 \cdot 0,077 / 0,14 = 4,1 \cdot 10^{11} \text{ Дж.}$$

Розраховуємо величину швидкості  $V_{\Gamma}$  фронту полум'я при вибуху хмари ГПС

$$V_{\Gamma} = k_1 M_{\Gamma}^{1/6},$$

де  $k_1$  – константа,  $k_1 = 43$  [4]. Отримуємо

$$V_{\Gamma} = k_1 M_{\Gamma}^{1/6} = 43 \cdot 8000^{1/6} = 192 \text{ м/с.}$$

Такі параметри відповідають дефлаграційному режиму вибухового перетворення хмари ГПС.

Визначаємо безрозмірні відстані  $R_{xi}$  до сусідніх об'єктів за формулою [5]

$$R_{xi} = r_i / (E/P_0)^{1/3},$$

де  $r_i$  – відстань до  $i$ -го об'єкта, м;  $P_0$  – нормальний атмосферний тиск,  $P_0 = 1,01 \cdot 10^5$  Па. Отримуємо

$$\begin{aligned} r_1 = 80 \text{ м,} & \quad R_{x1} = r_1 / (E/P_0)^{1/3} = 80 / (4,1 \cdot 10^{11} / 1,01 \cdot 10^5)^{1/3} = 0,50; \\ r_2 = 100 \text{ м,} & \quad R_{x2} = r_2 / (E/P_0)^{1/3} = 100 / (4,1 \cdot 10^{11} / 1,01 \cdot 10^5)^{1/3} = 0,63; \\ r_3 = 135 \text{ м,} & \quad R_{x3} = r_3 / (E/P_0)^{1/3} = 135 / (4,1 \cdot 10^{11} / 1,01 \cdot 10^5)^{1/3} = 0,85. \end{aligned}$$

Розраховуємо основні параметри вибуху хмари ГПС при швидкості горіння 192 м/с, до яких відносяться параметри повітряних ударних хвиль вибуху – надмірний тиск  $\Delta P$  і імпульс хвилі тиску  $I$ .

1. Визначаємо безрозмірні величини тиску  $P_{1xi}$  і імпульсу  $I_{1xi}$  для дефлаграційного вибуху за значеннями безрозмірних відстаней  $R_{xi}$ ,  $i = 1, 2, 3$ , використовуючи наступні формули [5]

$$P_{xi} = \frac{V_{\Gamma}^2}{C_0^2} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} \left( \frac{0,83}{R_{xi}} - \frac{0,14}{R_{xi}^2} \right);$$

$$I_{xi} = \frac{V_{\Gamma}}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} \left( 1 - \frac{0,4V_{\Gamma}}{C_0} - \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \left( 1 - \frac{0,06}{R_{xi}} + \frac{0,01}{R_{xi}^2} - \frac{0,0025}{R_{xi}^3} \right);$$

де  $C_0$  – швидкість звуку в повітрі;  $C_0 = 340$  м/с;  $\sigma$  – ступінь розширення продуктів згорання, для газоповітряних сумішей приймається  $\sigma = 7$ .

Результати розрахунків зводимо в табл. 1.

2. Для безрозмірних відстаней  $R_{xi}$ ,  $i = 1, 2, 3$ , визначаємо величини  $P_{2xi}$  і  $I_{2xi}$ , які відповідають режиму детонації і для випадку газоповітряної суміші розраховуються за співвідношенням [5]

$$P_{2xi} = \exp(-1,1240 - 1,660 \cdot \ln R_{xi} + 0,2600 \cdot \ln^2 R_{xi});$$

$$I_{2xi} = \exp(-3,4217 - 0,898 \cdot \ln R_{xi} - 0,0096 \cdot \ln^2 R_{xi}).$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 1.

3. Визначаємо остаточні значення безрозмірних величин  $P_{xi}$  і  $I_{xi}$ ,  $i = 1, 2, 3$ , для трьох об'єктів

$$P_{xi} = \min(P_{1xi}, P_{2xi}); \quad I_{xi} = \min(I_{1xi}, I_{2xi}).$$

4. Після визначення безрозмірних величин тиску  $P_{xi}$  і імпульсу  $I_{xi}$  обчислюємо відповідні їм розмірні величини надлишкового тиску  $\Delta P$  і імпульсу  $I$  в повітряній ударної хвилі на відстанях 80 м, 100 м і 135 м від місця вибуху за формулами [5]

$$\Delta P = P_{xi} \cdot P_0;$$

$$I = I_{xi} \cdot (P_0)^{2/3} \cdot E^{1/3} / C_0.$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 1.

**Табл. 1. Результати розрахунку основних параметрів вибуху хмари ГПС**

i	$r_i$ , м	$R_{xi}$	Режим вибуху				Надлишковий тиск, $\Delta P$ , Па	Імпульс хвилі тиску, $I$ , Па·с
			Дефлаграція		Детонація			
			$P_{1xi}$	$I_{1xi}$	$P_{2xi}$	$I_{2xi}$		
1	80	0,5	0,35	0,0496	0,85	0,052	$4,4 \cdot 10^4$	$2,84 \cdot 10^4$
2	100	0,63	0,29	0,0427	0,74	0,049	$2,8 \cdot 10^4$	$2,04 \cdot 10^4$
3	135	0,85	0,23	0,0368	0,68	0,041	$1,9 \cdot 10^4$	$1,37 \cdot 10^4$

Використовуючи дані табл. 1, можна виконати оцінку вражаючої дії вибуху хмари ГПС.

**Оцінка вражаючого впливу вибуху хмари ГПС.** Реальний розподіл простору, в якому діють фактори ураження, на дві частини (одна – зона ураження, інша – зона стійкості) не має чіткої межі. Наближення параметрів вибухової хвилі на межі небезпечної зони викликає наростання ймовірності заданого рівня поразки від 0 до 100%. При перевищенні певної величини надлишкового тиску  $\Delta P$  і імпульсу  $I$  досягається 100% ймовірність поразки. Ця типова особливість діаграм поразки не дозволяє точно оцінити рівень збитку на основі виділення декількох фіксованих зон ураження. Більш точну оцінку дає визначення ймовірності досягнення того чи іншого рівня збитку за допомогою пробіт-функції [6].

Оцінка ймовірності пошкодження промислових будівель і споруд, при яких можливо їх відновлення, визначається пробіт-функцією виду

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \ln V_1,$$

де параметр  $V_1$  знаходиться з урахуванням величини надлишкового тиску  $\Delta P$  і імпульсу  $I$  у вибуховій хвилі

$$V_1 = (17500/\Delta P)^{8,4} + (290/I)^{9,3}.$$

Оцінка ймовірності руйнування промислових будівель і споруд, при яких вони підлягають знесенню, визначається пробіт-функцією виду

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln V_2,$$

де параметр  $V_2$  визначається виразом

$$V_2 = (40000/\Delta P)^{7,4} + (460/I)^{11,3}.$$

Використовуючи отримані величини  $\Delta P$  та  $I$ , знаходимо значення відповідних пробіт-функцій для трьох заданих об'єктів і зводимо результати в табл. 2.

Зв'язок пробіт-функції  $Pr_i$  з ймовірністю  $p, \%$ , того чи іншого рівня ураження від вибуху хмари ГПС визначається по [5, табл. 3]. Знайдені ймовірності ураження зводимо в табл. 2.

**Табл. 2. Результати розрахунку ймовірностей пошкодження або руйнування будівель, споруд та технологічних установок при вибухах хмар ГПС**

і	$r_i, \text{ м}$	Пробіт-функція		Ймовірність	
		$Pr_1$	$Pr_2$	пошкодження будівлі, %	руйнування будівлі, %
1	80	6,48	4,91	93	47
2	100	6,06	4,47	86	28
3	135	5,84	4,12	80	19

**Висновки.** Викладена методика дозволяє оцінити наслідки НС з вибухом хмари ГПС, яка стала наслідком аварійного викиду вибухонебезпечного газу з технологічного обладнання НПЗ. Оцінка виконується з урахуванням характеристик горючого газу, режиму вибухового перетворення, параметрів хмари та інформації про навколишній простір.

## ЛІТЕРАТУРА

1. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будівель та зовнішніх установок за вибухопожежній та пожежній небезпеці. – Київ, 2007.
2. Чуб І.А. Прогнозування наслідків можливої надзвичайної ситуації при формуванні програми розвитку територіальних систем техногенної безпеки / І.А. Чуб, В.М. Попов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 22. – С.99-105. [Електронний ресурс]. Режим доступу:<http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Popov.pdf>.
3. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сб. документов. Серия 27. – Выпуск 2. – Колл. авт. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. – 208 с.
4. Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта. Приказ Ростехнадзор 15.07.2013 г. №306 .
5. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. – 38 с.
6. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю. Н. Тюрина. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 510 с.

И.А. Чуб, В.В. Матухно

### **Прогнозирование последствий чрезвычайной ситуации при взрыве облака газо-воздушной смеси**

Приведена методика прогнозирования последствий чрезвычайной ситуации при взрыве газо-воздушного облака в условиях нефтеперерабатывающего предприятия. Методика содержит расчет параметров взрыва и оценку вероятности повреждения или разрушения зданий, сооружений и технологических установок.

**Ключевые слова:** Взрыв, облако газо-воздушной смеси, прогноз последствий.

I.A. Chub, V.V. Matukhno

### **Predicting the effects of an emergency during the explosion a cloud of gas-air mixture**

The technique of predicting the effects of an emergency situation in the explosion of gas-air clouds in a refinery. The methodology includes the calculation of the explosion parameters and evaluating the possibility of damage to or destruction of buildings, structures and technological installations.

**Keywords:** explosion, a cloud of gas-air mixture, weather effects.

*Р.І. Шевченко, к.т.н., с.н.с., докторант, НУЦЗУ*

## **ОБГРУНТУВАННЯ ПІДХОДІВ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ В КОНТЕКСТІ РОЗБУДОВИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ**

(представлено д-ром філос. Сцакал Б.)

В роботі систематизовані світові та вітчизняні підходи до вирішення питання класифікації надзвичайних ситуацій. Проаналізовано ефективність функціонування сталої системи моніторингу надзвичайних ситуацій ЄДСЦЗ України. Запропонована схема класифікаційних критеріїв надзвичайних ситуацій, яка враховує сучасні вимоги моніторингу надзвичайних ситуацій.

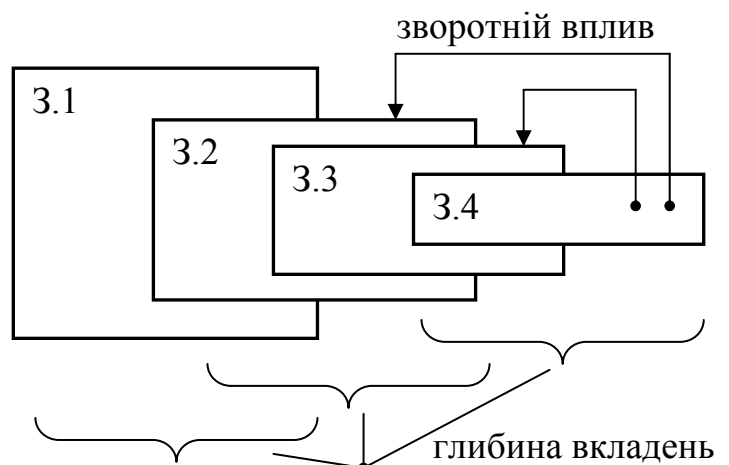
**Ключові слова:** моніторинг, критерії класифікації, надзвичайні ситуація.

**Постановка проблеми.** Відсутність видимого прогресу у питаннях вдосконалення ефективності функціонування систем моніторингу надзвичайних ситуацій [1], закономірно породжує низку питань, з загальним знаменником, а чи є вірним вибраний шлях, яким на сьогодні рухається у цьому напрямку, як світова так і українська наукова спільнота. Від так є необхідність вирішення досить складного похідного питання, яке полягає в аналізі відповідності існуючої методологічної основи, насамперед, в частині ідентифікації та класифікації об'єкту досліджень – надзвичайних ситуацій, до функціональних вимог системи моніторингу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На користь висунутого нами припущення свідчить, насамперед той факт, що незважаючи на наявність в кожній країні апробованої та формалізованої процедури ідентифікації надзвичайних ситуацій, питання їх класифікації як і раніше досить гостро стає на порядку денному, як то в колах представників умовно причинно-наслідкового підходу [2-4], так і представників прагматично-телеологічного підходу [5].

**Постановка завдання та його вирішення.** Будь-яка існуюча система класифікації надзвичайних ситуацій у своїй основі спирається на відомі логічні, математичні або емпіричні методи класифікації [6]. Втім на ряду з об'єктивними критеріями містить, в тій чи іншій мірі, суб'єктивний погляд автора на існуючу проблему.





**Рис. 1.** Графічна уява алгоритму вкладень для вирішення питання обґрунтування критеріїв класифікації надзвичайних ситуацій до умов функціонування та удосконалення системи моніторингу

Для мінімізації впливу суб'єктивної складової нами запропонований алгоритм вкладень (рис. 1), який полягає у послідовному вирішенні наступних завдань:

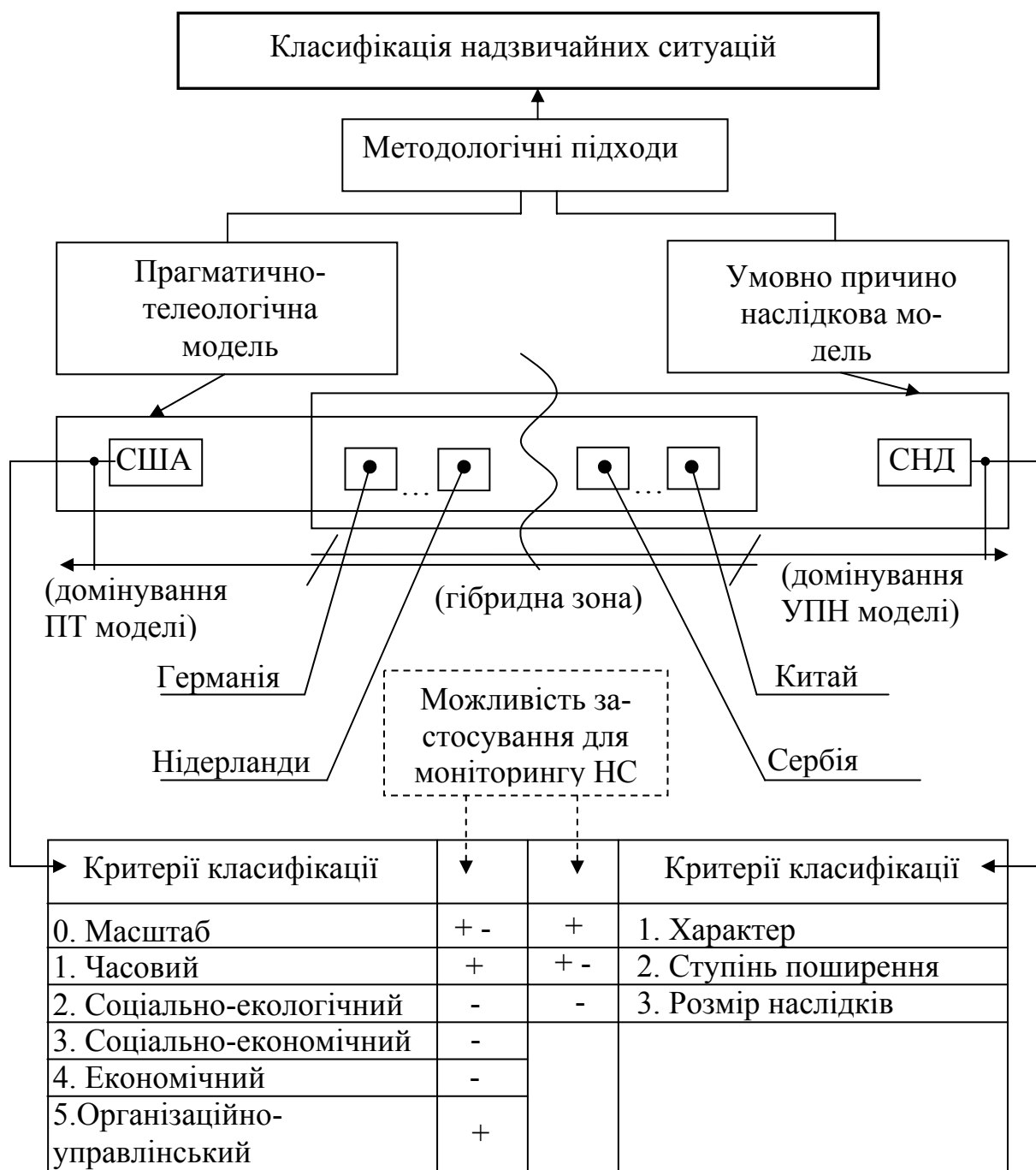
31: систематизувати світові підходи до вирішення питання класифікації надзвичайних ситуацій, окреслити можливість їх застосування в контексті функціонування та удосконалення системи моніторингу;

32: визначити місце в загально світовому процесі (31) та реальну динаміку змін в питанні вдосконалення системи моніторингу ДСНС України;

33: на основі запропонованого аналізу (31 та 32) визначити ключове та похідні протиріччя щодо розуміння та вирішення питання класифікації надзвичайних ситуацій як методологічної основи організації системи моніторингу;

34: визначити шляхи подолання протиріч (32 та 33), а саме запропонувати методологічні підходи та відповідно критерії класифікації надзвичайних ситуацій у контексті вимог функціонування та подальшого вдосконалення системи моніторингу.

Аналіз існуючого світового наукового наробку [5, 7-10] дозволив систематизувати наявні підходи щодо класифікації надзвичайних ситуацій та накреслити двохполюсову схему, як то прагматично-телеологічної модель та умовно причино-наслідкової модель класифікаційних критеріїв (рис. 2), з подальшим розміщенням існуючих в різних країнах методик та підходів у площині домінування одного з них.



\* («+») - застосовується; «+-» - частково; «-» - не застосовується

**Рис. 2. Систематизація світових підходів до класифікації надзвичайних ситуацій**

В якості прикладу наведемо деякі офіційно впроваджені системи класифікації, розташовані нами умовно в гібридній зоні (від так перебувають під впливом обох підходів). Так німецька класифікаційна система [8] тяжіє до прагматично-телеологічного полюсу та складається з надзвичайних ситуацій наступних типів: соціальних, економічних, технічно-технологічних-біологічних-медичних, викликаних проявами механічної або теплової енергії. До цього полюсу тяжіє класифікація над-

звичайних ситуацій, яка застосовується в Нідерландах [9], а саме: природні, антропогенні, культурні та гуманітарні. По інший бік умовного кордону можна віднести систему класифікації, наприклад, Сербії [10] та Китаю [5]. У першому випадку маємо: стихійні лиха, техніко-технологічні аварії – інциденти, наслідки воєнних дій та наслідки терористичних актів. У другому випадку: астрономічні, метеорологічні, геологічні, геофізичні, гідрологічні, біологічні, дорожньо-транспортні, вибухи, інциденти на робочих місцях, ситуації пов'язані із здоров'ям, інциденти в шахтах тощо.

Як бачимо (рис. 2) жоден з підходів не є цілковито прийнятним для формування методології функціонування системи моніторингу, що пояснюється по-перше, домінуванням в загально світовій системі протидії надзвичайним ситуаціям процесів «реагування та ліквідації» та суттєвою недооцінкою ролі та можливостей, як процедури «запобігання» в цілому, так і процедури «моніторингу» зокрема; по-друге, відсутністю системних підходів до розуміння а від так і вирішення питань заявленої проблематики.

Окремо слід зазначити, що досить широко пропагований, в різних країнах світу [11-13], ризико-орієнтований підхід до формування методології запобігання надзвичайним ситуаціям не знайшов свого підтвердження в контексті змін та адаптації класифікаційних критеріїв стосовно визначення надзвичайних ситуацій як об'єкту дослідження апарату ризико-орієнтованої методології.

З врахуванням вище наведеного розглянемо проблему методологічного впливу сталої системи класифікації надзвичайних ситуацій на формування, функціонування та можливості вдосконалення системи моніторингу України в порівнянні з аналогічним впливом на стан системи реагування на надзвичайні ситуації.

Схематично шляхи впливу та методологічна основа представлені на рис. 3 та табл. 1.

По-перше, формування системи моніторингу, загальна оцінка – негативна. Насамперед за відсутності системного підходу та єдиних обґрунтованих критеріїв. Так різні автори до переліку формуючих критеріїв відносять наступні:

- [2В]: універсальність системи, реакцію основних складових біосфери, різність серед, фактори та джерела впливу, гостроту та глобальність проблеми, методи спостереження, системність підходу, територіальний;

- [3В]: масштаби узагальнення інформації, методи ведення, об'єкти спостереження;

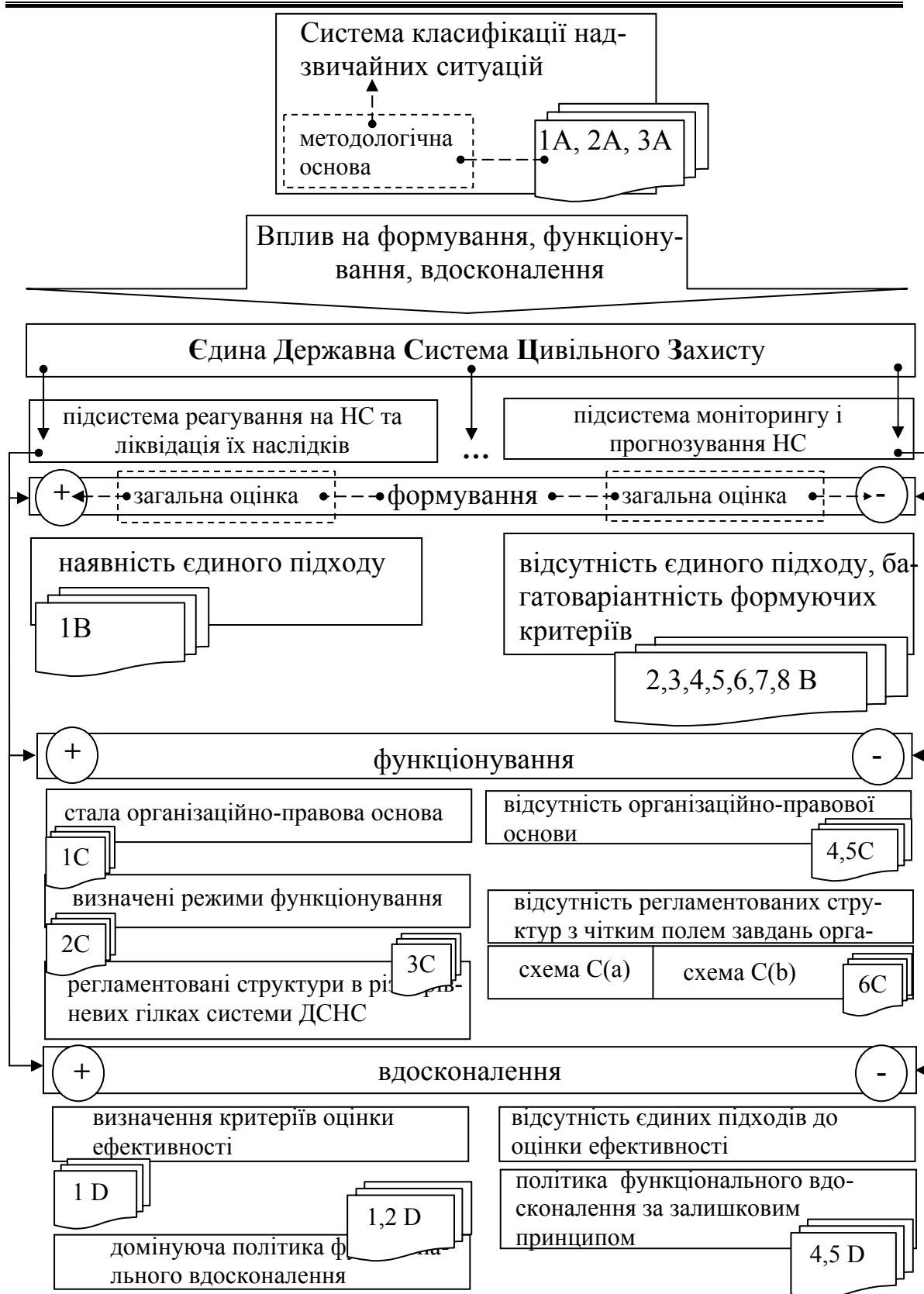


Рис. 3. Узагальнений аналіз впливу сталої системи класифікації надзвичайних ситуацій на формування, функціонування та вдосконалення підсистеми моніторингу ЄДСЦЗ України (роз'яснення методологічної основи наведено в табл. 1)

**Табл. 1. Роз'яснення методологічної основи аналізу впливу (рис. 3)**

Схематичне скорочення										
1A	2A	3A	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B
[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[17]
Методологічна основа										
Схематичне скорочення										
1C	2C	3C	4C	5C	6C	1D	2D	3D	4D	5D
[17]	[14]	[25]	[14]	[24]	[25]	[26]	[27]	[28]	[27]	[28]
Методологічна основа										

- [4B]: об'єкти спостереження, фактори впливу, джерела впливу, масштабність впливу;
- [5B]: біоекологічний, геоекологічний, біосферний;
- [6B]: функціональне призначення, режими роботи, об'єкти спостереження, параметри які контролюються, інші признаки;
- [7B]: А) негативні фактори, базування, масштаб контролю, цілі; В) джерела і фактори антропогенного впливу, відгук компонентів біосфери на вплив, методи спостереження;
- [8B]: похідні або більш деталізовані підходи

Як бачимо підходи до вибору формуючих критеріїв мають, як спільні, так досить протилежні риси, а від так потребують окремих досліджень з одного боку щодо ступеня їх адекватності та глибини охопту функціональних завдань системи моніторингу надзвичайних ситуацій, з іншого боку простоти та зручності застосування сформованої у подальшому класифікаційної системи. В протилежність, на формування системи реагування, запропонована класифікаційна система надзвичайних ситуацій впливає позитивно, що підтверджується наявністю єдиних формуючих критеріїв.

По-друге, вплив на функціонування системи моніторингу, загальна оцінка – негативна. Втім, порівняно з етапом формування, наслідки впливу більш критичні. Насамперед це стосується відсутності організаційно-правової основи для функціонування системи моніторингу надзвичайних ситуацій. Так на рівні Законів України, Постанов Кабінету міністрів України, інших підзаконних актів мова іде насамперед про прогнозування, оцінку ризику та відповідне районування територій; сферу гідрометеорології та екологічного моніторингу та прогнозування; підтримку систем оповіщення та раннього виявлення загрози. Як наслідок в структурі ДСНС України відсутні регламентовані структури з чітким полем завдань стосовно організації та проведення моніторингу надзвичайних ситуацій. Так на рівні апарату ДСНС України стан функціональної неузгодженості в сфері моніторингу характеризує рис. 4. Як бачимо з чотирьох структурних підрозділів центрального апарату жоден не забезпечує виконання всього переліку завдань моніторингу надзвичайних ситуацій. Більш того координація окремих зу-

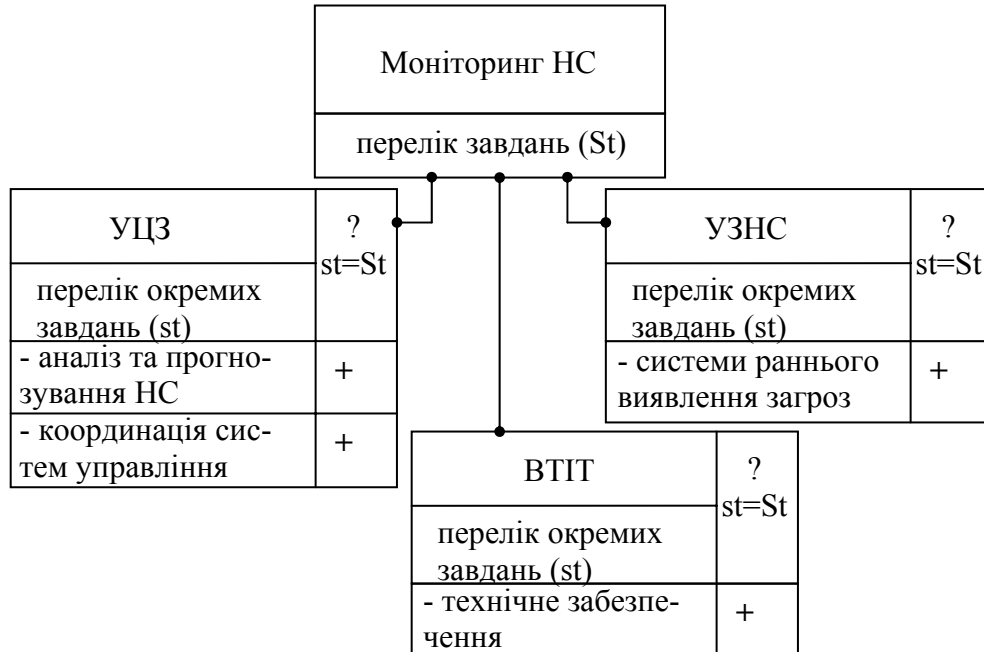
сил ь структурних підрозділів носить декларативний характер, як загальне завдання Департаменту організації заходів цивільного захисту (ДОСЦЗ).



**Рис. 4. Схема С(а) – Розподіл завдань моніторингу надзвичайних ситуацій (St) між функціональними завданнями (st) суб'єктів ДДНС України та рівень їх відповідності (? =) (де: «+» повна відповідність, «+ -» - відповідність в частині окремих функцій)**

На рівні територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту (рис. 5) функціонування окремих елементів системи моніторингу має виключно декларативний характер та не охоплює у повному обсязі жодного завдання моніторингу надзвичайних ситуацій, а від так можна констатувати, що, найменше, сталий процес моніторингу надзвичайних ситуацій характеризують, відсутність системності та безперервності процесу, а саме розрив ланок системи моніторингу на регіональному рівні, більш песимістична оцінка відсутність системи

моніторингу в цілому, а саме заміщення її системою реєстрації статистичної інформації щодо динаміки виникнення надзвичайних ситуацій. Останній підхід у повному обсязі відповідає структурі та завданням системи реагування.



**Рис. 5. Схема С(б) – Розподіл завдань моніторингу надзвичайних ситуацій (St) між функціональними завданнями (st) суб'єктів територіальної підсистеми (ГУ(У) ДСНС України) та рівень їх відповідності (? =) ( де: «+» повна відповідність, «+ -» - відповідність в частині окремих функцій)**

В-третьє, стосовно вдосконалення ефективності системи моніторингу надзвичайних ситуацій. Це має сенс, у разі прийняття припущення, що перші дві складові процесу моніторингу (формування та функціонування) принаймні присутні та виконують покладені на них завдання. Від так вплив сталої класифікаційної системи на відповідну складову процесу - прогресуюче-негативний. Прикладом є, передбачений в рамках низки галузевих планів на поточний рік з організаційно-правового вдосконалення, рівень та кількість заходів з розбудови системи моніторингу надзвичайних ситуацій. Так особливо показовим є пункт з підготовки Проекту постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку функціонування системи моніторингу і прогнозування надзвичайних ситуацій», гострота питання (фундаментальне базове питання як для формування, так і функціонування системи моніторингу) якого окреслена з 2012 року [14, стаття 43] та досі не вирішена. Загалом з 48 заходів документу [27] та 72 заходів [28] в повному обсязі (/та частково) сфери моніторингу надзвичайних ситуацій у першому випадку стосується 1(2) пункти, у другому 0(9) відповідно. Наведене свідчить про відсутність сталої політики безпеки направле-

ної, передусім, на попередження та запобігання надзвичайним ситуаціям. Відповідні заходи плануються та здійснюються за залишковим принципом з порушенням принципів системності.

Вище наведене потребує докорінним чином переглянути існуючі підходи до формування системи класифікації надзвичайних ситуацій з урахуванням вимог функціонування системи моніторингу надзвичайних ситуацій, як методологічної бази для подальшого формування, функціонування і вдосконалення підсистеми моніторингу єдиної державної системи цивільного захисту України, та є наступним завданням алгоритму вкладень запропонованого дослідження (рис. 1).

Для його вирішення наведемо проміжний підсумок та визначимо існуючі методологічні протиріччя. Основним завданням системи моніторингу надзвичайних ситуацій є отримання інформації щодо стану безпеки на об'єкті контролю, яка адекватно відображає існуючу картину. Останнє не можливе без чіткої класифікаційної системи надзвичайних ситуацій та аварій. На сьогодні офіційною (базовою) вважається класифікація затверджена національним класифікатором ДК 019:2010 [15]. Основні критерії за якими відбувається класифікація надзвичайних ситуацій це, три інтегральні критерії, які покликані насамперед уніфікувати складну картину особливих характеристик окремих надзвичайних ситуацій. По-перше, узагальнені класифікаційні ознаки об'єкту, на якому має місце надзвичайна ситуація, визначають клас надзвичайної ситуацій; по-друге, узагальнена (домінуюча) причина (небезпечний фактор) виникнення надзвичайної ситуацій, визначає підклас в системі класифікації, по-третє, узагальнена (домінуюча) картина подальшого розвитку надзвичайної ситуації визначає групу. Як бачимо (рис. 6) такий підхід досить добре узгоджується з вимогами системи реагування на надзвичайні ситуації та аварії, та зовсім не відповідає вимогам системи моніторинг, оскільки не бере до уваги, головного принципу моніторингу, а саме отримання завчасної інформації о можливих небезпеках. Від так запроповану класифікаційну систему надзвичайних ситуацій – слід визначити як класифікацію за вимогами реагування, та в подальшому розглянути задачу з двох взаємопов'язаних питань: по-перше (розв'язання головного протиріччя), запропонувати класифікацію надзвичайних ситуацій за вимогами системи моніторингу (сформулювати класифікаційні критерії), по-друге (розв'язання похідного протиріччя), визначити та запропонувати рішення питань об'єднання класифікаційних систем в єдине функціональне поле в рамках єдиної державної системи цивільного захисту.



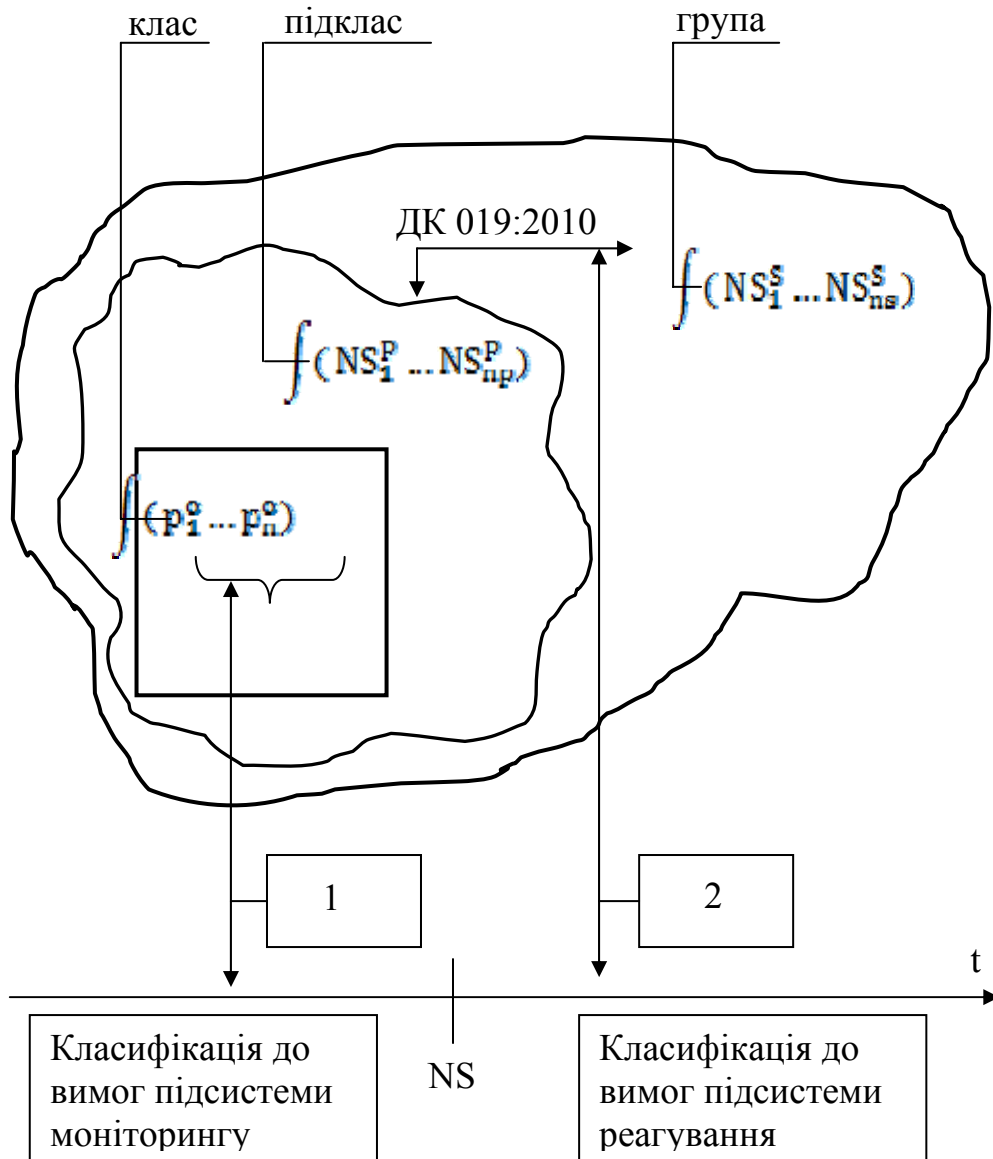
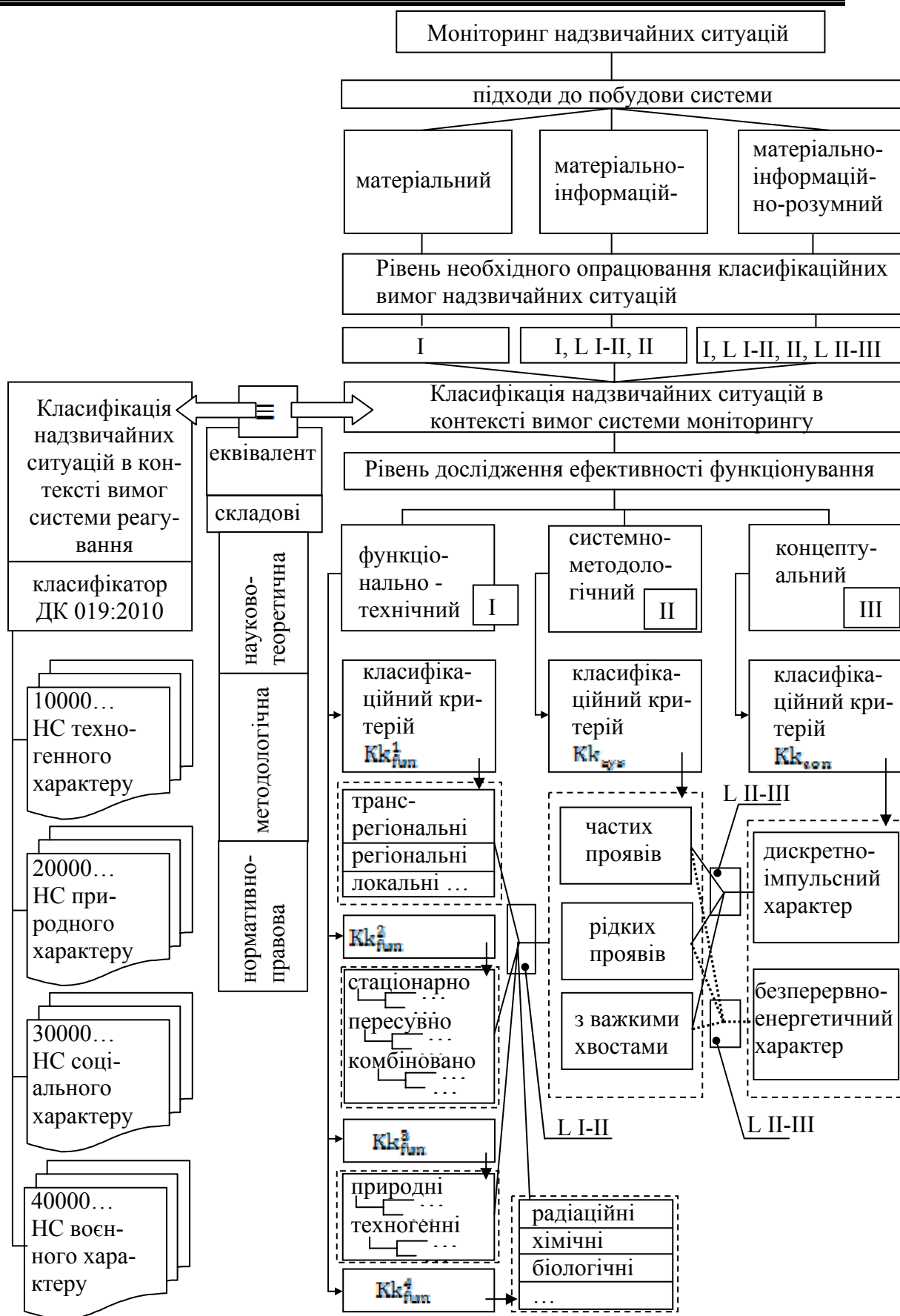


Рис. 6. Графічна інтерпретація розподілу зон впливу класифікаційних критеріїв на формування системи класифікації надзвичайних ситуацій (де 1 – підсистема моніторингу надзвичайних ситуацій; 2 – підсистема реагування на надзвичайні ситуації;  $t$  – часова вісь,  $NS$  – час виникнення надзвичайної ситуації;  $(p_1^o \dots p_n^o)$  – параметри контролю об’єкту моніторингу;  $(NS_1^p \dots NS_{np}^p)$  – фактори небезпеки що призвели до виникнення надзвичайної ситуації;  $(NS_1^s \dots NS_{ns}^s)$  – вторинні небезпечні фактори надзвичайної ситуації)

Схема розв’язання наступного завдання алгоритму – формування класифікаційних критеріїв надзвичайних ситуацій за вимог системи моніторингу наведено на рис. 7.



**Рис. 7. Методологія класифікації надзвичайних ситуацій в контексті формування, функціонування та вдосконалення підсистеми моніторингу**

Проведений аналіз та систематизація підходів до побудови моніторингу надзвичайних ситуацій дозволив визначити наступні групи підходів: матеріальну, матеріально-інформаційну, матеріально-інформаційно-розумну.

В контексті розгляду кожної групи є нагальна потреба у визначенні глибини опрацювання класифікаційних вимог до надзвичайних ситуацій. Як бачимо з наведеного рисунку 7 глибина процесу для різних груп суттєво відрізняється, а саме: для переважної більшості підходів [29], які об'єднані у групу «матеріальні» рівень проблеми окреслюється функціонально-технічною боком, а від так мова йде про класифікаційні критерії, що характеризують (класифікують) функціональну та технічну взаємодію факторів першопричини надзвичайних ситуацій та контролюючих елементів систем моніторингу. На цьому рівні найбільш узагальненими критеріями класифікації надзвичайних ситуацій можна вважати:  $Kk_{fun}^1$  – масштабність нагляду,  $Kk_{fun}^2$  – технічну складність нагляду,  $Kk_{fun}^3$  – необхідність врахування параметрів природи виникнення,  $Kk_{fun}^4$  – необхідність врахування параметрів джерела виникнення. Втім на запропонованому рівні будь-яких істотних зрушень в частині системно-методологічного вдосконалення очікувати не слід. Що досить повно підтверджується I та II частинами даного дослідження. «Матеріально-інформаційний» підхід до розбудови системи моніторингу [30] вимагає значно глибшого аналізу, а від так класифікаційним критерієм системно-методологічного типу слід вважати:  $Kk_{sys}$  – частоту проявів надзвичайних ситуацій (рідких проявів, частих проявів, «з важкими хвостами»). У даному випадку мова йде про об'єднання (L I-II) функціонально-технічного (I) та системно-методологічного (II) рівнів в єдину систему. Як наслідок слід очікувати суттєвих зрушень системного та методологічного характеру, з подальшою побудовою, з їх урахуванням, ефективних функціональних та технічних рішень у сфері моніторингу надзвичайних ситуацій. Найбільш ефективним слід вважати «матеріально-інформаційно-розумний» підхід [31], який потребує додаткової глибини опрацювання класифікаційних вимог та включення в сферу розгляду, принаймні, і шляхів об'єднання (L II-III) рівнів (II) та (III) (концептуальний рівень), де формується наступний класифікаційний критерій  $Kk_{con}$  – ступінь наближення моделі виникнення надзвичайної ситуації до реального енергетичного стану об'єкту. Відповідно до існуючого стану речей [29-31] всі класифікаційні системи розроблені в рамках дискретно-імпульсної концепції відображення реальної зміни енергетичного балансу об'єктів моніторингу. Проведені авторські дослідження [30-31] дозволяють стверджувати про високий рівень застосовності, (вирішення основного методологічного протиріччя) щодо формування, функціонування та

подальшого вдосконалення системи моніторингу, запропонованої схеми (рис. 7) класифікаційних критеріїв надзвичайних ситуацій.

Окремої уваги потребує питання розгляду похідного методологічного протиріччя, яке полягає в формуванні апарату узгодження паралельного існування класифікаційних систем з визначення надзвичайних ситуацій в контексті реагування [15] та контексті моніторингу (рис. 7). Рішення зазначеного питання знаходиться в науково-теоретичній, методологічній та нормативно-правовій площинах та потребує окремого дослідження. Втім з повною впевненістю можна стверджувати про існування шляхів вирішення цього завдання [31] як однієї з складових проблеми компенсування інформаційно-комунікативної критичності тезаурусної складової матеріально-інформаційно-розумної системи моніторингу надзвичайних ситуацій.

**Висновки.** В ході дослідження систематизовані світові та вітчизняні підходи до вирішення питання класифікації надзвичайних ситуацій та окреслені можливість їх застосування в контексті завдань моніторингу. Проаналізовано ефективність функціонування сталої системи моніторингу надзвичайних ситуацій ЄДСЦЗ України. Визначені основні та похідні методологічні протиріччя, які заважають ефективному вдосконаленню системи державного моніторингу надзвичайних ситуацій. З метою вирішення проблеми існуючих протиріч запропонована схема класифікаційних критеріїв надзвичайних ситуацій, яка досить повно враховує сучасні вимоги моніторингу надзвичайних ситуацій. Подальші дослідження будуть спрямовані на формування теоретичних основ розбудови системи моніторингу надзвичайних ситуацій як системи матеріально-інформаційно-розумного типу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2014.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2014.html).

2. Хоруженко А.Ф. Некоторые вопросы классификации чрезвычайных ситуаций / А.Ф. Хоруженко // Технологии гражданской безопасности, 2012. – №1. – Том 9. – С. 50-61.

3. Качанов С.А. Основные направления развития информационного обеспечения автоматизированной информационно-управляющей системы (АИУС) единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) / С.А. Качанов, С.В. Агеев, О.Б. Ковтун // Технологии гражданской безопасности, 2015. – №2. – Том 12. – С. 8-12.

4. Горбунов С.В. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / С.В. Горбунов,

Ю.Д. Макиев, В.П. Малышев // Технологии гражданской безопасности, 2015. – №1. – Том 9. – С. 70-79.

5. Dragan Mladan Classification of emergency situation / Dragan Mladan, Vladimir Cvetkovic // [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: [http://www.academia.edu/11135696/CLASSIFICATION\\_OF\\_EMERGENCY\\_SITUATIONS](http://www.academia.edu/11135696/CLASSIFICATION_OF_EMERGENCY_SITUATIONS).

6. Суботин А.Л. Классификация. – М.:РАН. Ин-т философии, 2001. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [http://read.newlibrary.ru/read/subbotin\\_a\\_l\\_/klassifikacija.html](http://read.newlibrary.ru/read/subbotin_a_l_/klassifikacija.html).

7. Shaluf M. An overview on the technological disasters / M. Shaluf // Disaster Prevention and Management, vol. 16 1ss: 3. – 2007. – pp. 380-390.

8. Gerrit Jasper Schenk Historical Disaster Research. Concepts. Methods and Case Studies // Gerrit Jasper Schenk, Jens Ivo Engels // Historische Sozialforschung 32. – Nr. 3. – 2007. – pp. 56-68.

9. Ramp – the Netherlands [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://nl.wikipedia.org/wiki>.

10. Article 1 of the Law on Emergency Situations, «Official Gazette of RS», No 111/09 and 92/11 and 93/2012.

11. US NRC REGULATORY GUIDE 1.174 An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment In Risk-Informed Decisions On Plant-Specific Changes to the Licensing Basis [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: <http://www.orau.org/PTP/PTP%20Library/library/NRC/Reguide/01-174.PDF>.

12. RISK INFORMED DECISION MAKING [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [http://tokmachev.net/Papers/IAEA\\_issue\\_paper\\_2001.pdf](http://tokmachev.net/Papers/IAEA_issue_paper_2001.pdf).

13. The Use of PRA in Foreign Countries [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [http://www.meti.go.jp/english/policy/energy\\_environment/nuclear\\_energy\\_subcommittee/pdf/003\\_06.pdf](http://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/nuclear_energy_subcommittee/pdf/003_06.pdf).

14. Кодекс цивільного захисту України [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

15. Національний класифікатор України "Класифікатор надзвичайних ситуацій" ДК 019:2010 [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [http://specteh.dn.ua/images/stories/normativnye\\_dokumenty/dk\\_019-2010\\_klasifikator\\_nadzvichajnih\\_situacij.pdf](http://specteh.dn.ua/images/stories/normativnye_dokumenty/dk_019-2010_klasifikator_nadzvichajnih_situacij.pdf).

16. Наказ МНС України від 12.12.2012 № 1400 «Про затвердження класифікаційних ознак НС» [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0040-13/para13#n13>.

17. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про Державну службу України». – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=248721664>.

18. Классификация систем мониторинга [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://ekologobr.ru/lekczii-ekologicheskij-monitoring/286-klassifikacija-sistem-monitoringa.html>.

19. Мониторинг, классификация систем мониторинга [Електрон.ресурс]. – Режим доступа: [http://studopedia.ru/4\\_148088\\_monitoring-klassifikatsiya-sistem-monitoringa.html](http://studopedia.ru/4_148088_monitoring-klassifikatsiya-sistem-monitoringa.html).

20. Яо Л.М. Социальная экология: Учебное пособие / Л.М. Яо – Казань: Изд-во Казан.гос.технол. ун-та, 2007. – 280 с.

21. Классификация систем мониторинга [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://lektsii.org/2-31852.html>.

22. ГОСТ Р 22.1.15-2014 «Технические средства мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Классификация. Общие технические требования». – [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_%D0%A0\\_22.1.15-2014](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_22.1.15-2014).

23. Арифиллин Е.З. Методология мониторинга прогнозирования чрезвычайных ситуаций / Е.З. Арифиллин, В.И. Федянин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – № 11. – Том 6. – 2010. – С.231-232.

24. Проект постановления Кабинету Міністрів України « Про затвердження Порядку проведення державного соціально-гігієнічного моніторингу» [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://kodeksy.com.ua/norm\\_akt/source-D0%9A%D0%9C%D0%A3/type-%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0/182-2006-%D0%BF-22.02.2006.htm](http://kodeksy.com.ua/norm_akt/source-D0%9A%D0%9C%D0%A3/type-%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0/182-2006-%D0%BF-22.02.2006.htm).

25. Наказ ДСНС України № 576 від 20.11.2015 "Про затвердження положень про самостійні структурні підрозділи апарату ДСНС України" [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.mns.gov.ua/content/aparat\\_dsns.html](http://www.mns.gov.ua/content/aparat_dsns.html).

26. ISO 22320:2011 Societal security – Emergency management – Requirements for incident response [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_%D0%A0\\_22.3.09-2014](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_22.3.09-2014).

27. План підготовки законопроектів, проектів постанов (розпоряджень) КМУ, указів Президента України у Державній службі України з надзвичайних ситуацій на 2016 рік [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mns.gov.ua/files/2016/2/1/d1.pdf>.

28. План підготовки проектів наказів Міністерства внутрішніх справ України у Державній службі України з надзвичайних ситуацій на 2016 рік [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mns.gov.ua/files/2016/2/1/d2.pdf>.

29. Шевченко Р.І. Аналіз сучасних тенденцій наукових досліджень в галузі моніторингу надзвичайних ситуацій /Р.І. Шевченко// Проблеми надзвичайних ситуацій. – Сб. наук. пр. – Харків: НУЦЗУ 2015. – Вип. 21 – С. – 132-142.

30. Шевченко Р.І. Розвиток теоретичних основ комунікативно-компенсуючих фільтрів системи моніторингу надзвичайних ситуацій (інформаційна складова) / Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації – Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015. – № 9 (134). – С. 168 – 175.

31. Шевченко Р.І. Формування теоретичних основ інформаційно-комунікативного компенсування функціональної критичності гібридних систем від дії зовнішнього впливу різної природи, в рамках концепції створення матеріально-інформаційно-розумної системи моніторингу надзвичайних ситуацій / Р.І. Шевченко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2016. – № 1 (46). – С. 136-141.

Р.И. Шевченко

**Обоснование подходов к классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в контексте развития системы мониторинга**

В работе систематизированы мировые и отечественные подходы к решению вопроса классификации чрезвычайных ситуаций. Проанализирована эффективность функционирования устойчивой системы мониторинга чрезвычайных ситуаций ЕГСГЗ Украины. Предложена схема классификационных критериев чрезвычайных ситуаций, которая учитывает современные требования мониторинга чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** мониторинг, критерии классификации, чрезвычайные ситуации.

R.I. Shevchenko

**Rationale approaches to classification of natural and manmade in the building monitoring system**

This paper systematically global and national approaches to the issue of classification of emergency. The effectiveness of the functioning of a sustainable monitoring system emergencies SSSCP Ukraine. The scheme of classification criteria emergency situations, taking into account the requirements of modern monitoring emergencies.

**Keywords:** monitoring, classification criteria, emergency.

## ЗМІСТ

<b>С.А. Виноградов, М.О. Консуров, С.С. Пономаренко</b> Руйнування будівельних конструкцій імпульсним водним струменем високої швидкості.....	3
<b>Х.Ш. Гасанов</b> Влияние неравномерности распределения опасных факторов чрезвычайной ситуации в помещении на показания тепловизора.....	9
<b>Г.Б. Гишко, І.І. Попов</b> Розробка рекомендацій щодо удосконалення методичного забезпечення прогнозування наслідків застосування запалювальних речовин.....	15
<b>А.В. Загора, Е.Е. Селеенко, Д.Л. Соколов, А.Б. Феценко</b> Взаимосвязь коэффициента готовности аппаратуры оперативной диспетчерской связи с достаточностью комплекта запасных технических средств при восстановлении после отказов в условиях чрезвычайной ситуации.....	20
<b>А.В. Загора, Е.Е. Селеенко, Д.Л. Соколов, А.Б. Феценко</b> Выбор малогабаритной антенны для портативного радиолокационного измерителя толщины льда.....	27
<b>Е.В. Иванов, А.Е. Васюков, В.М. Лобойченко, А.В. Плиско</b> К вопросу о составе и количестве газов при взрыве боеприпасов на складах. Сообщение 3. Ручные гранаты.....	32
<b>Г.В. Іванець, А.Ю. Бугайов</b> Прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру на основі статистичних даних моніторингу.....	39
<b>Г.В. Іванець, І.О. Толкунов, Є.І. Стецюк</b> Модель процесу зміни узагальнених параметрів надзвичайних ситуацій природного характеру.....	46
<b>S.Ya. Kravtsiv, O.M. Sobol, A.V. Maksimov</b> The analysis of integral risks on the territory of Ukraine.....	53
<b>В.И. Кривцова, Я.Ю. Кальченко, Ю.А. Абрамов</b> Комплексный датчик первичной информации системы мониторинга чрезвычайных ситуаций.....	61
<b>М.В. Кустов</b> Дополнения к методикам прогнозирования зон химического и радиационного загрязнения территории.....	67
<b>О.М. Ларін, Є.М. Грінченко, Д.Л. Соколов, Р.М. Федоренко</b> Порівняння методів оцінки пожежного ризику резервуару з нафтопродуктом при виникненні надзвичайної ситуації.....	78
<b>А.А. Левтеров, И.Н. Грицына</b> Оптимальное размещение пунктов дистанционного мониторинга с применением эволюционных вычислений.....	84
<b>О.І. Лящук, Ю.А. Андрущенко, В.М. Шапка, І.В. Толчоно, І.В. Корнієнко</b> Шляхи вирішення питання раннього оповіщення про землетруси для об'єктів критичної інфраструктури України.....	89



<b>О.Д. Малько, Є.В. Карманний</b> До питання про математичну модель прогнозування виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру.....	98
<b>М.В. Маляр</b> Дослідження фрактальних властивостей земної поверхні при вирішенні завдань моніторингу надзвичайних ситуацій.....	103
<b>І.М. Неклонський, В.О. Самарін</b> Моделювання процесу залучення ресурсів при перегрупуванні сил і засобів під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.....	109
<b>І.М. Неклонський, В.О. Самарін, В.В. Харламов</b> Спектральний підхід до оцінювання готовності аварійно-рятувальних підрозділів до дій за призначенням.....	113
<b>О.О. Писклакова</b> Постановка задачі обґрунтування критеріїв ефективності управління процесами попередження та локалізації НС.....	120
<b>Э.Е. Прохач</b> Выбор метода нейтрализации промстоков КРТ.....	125
<b>А.С. Рогозін, О.В. Пирогов, Є.А. Яровий</b> Оптимізація розподілу сил цивільного захисту по регіонам України.....	134
<b>Ю.М. Сенчихін, В.Г. Аветісян, І.Г. Дерев'янюк</b> Методика розрахунку сил та засобів для локалізації проливів небезпечних хімічних речовин (НХР).....	141
<b>В.О. Собина, Л.В. Борисова</b> Прогноз стану безпеки об'єкту обчислювальної техніки в умовах надзвичайних ситуацій з урахуванням динаміки зміни небезпечних подій у часі.....	145
<b>В.М. Стрілець, В.В. Тригуб</b> Багатофакторна оцінка виконання типових операцій ліквідації надзвичайних ситуацій в комплексах засобів індивідуального захисту.....	152
<b>В.В. Тригуб</b> Методика оцінки меж зон руйнування при вибуху на відкритих технологічних установках.....	159
<b>А.В. Feshchenko, Y.Y. Seleenko, A.V. Zakora, D.L. Sokolov</b> Results from study of signal distortion in radar sensing of explosive devices in soil column.....	164
<b>И.Ю. Чернявский, В.В. Тютюник, В.Д. Калугин</b> Анализ условий для создания системы выявления и оценки уровня радиационной безопасности жизнедеятельности населения при чрезвычайных ситуациях военного характера.....	168
<b>І.А. Чуб, В.В. Матухно</b> Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші.....	186
<b>Р.І. Шевченко</b> Обґрунтування підходів до класифікації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру в контексті розбудови системи моніторингу.....	192

## СПИСОК АВТОРІВ

Feshchenko A.B.	20, 27, 164	Лобойченко В.М.	32
Kravtsiv S.Ya.	53	Лящук О.І.	89
Maksimov A.V.	53	Маляров М.В.	103
Seleenko Y.Y.	20, 27, 164	Малько О.Д.	98
Sobol O.M.	53	Матухно В.В.	186
Sokolov D.L.	20, 27, 78, 164	Неклонський І.М.	109, 113
Zakora A.V.	20, 27, 164	Пирогов О.В.	134
Абрамов Ю.А.	61	Писклакова О.О.	120
Аветісян В.Г.	141	Плиско А.В.	32
Андрущенко Ю.А.	89	Пономаренко С.С.	3
Борисова Л.В.	145	Попов І.І.	15
Бугайов А.Ю.	39	Прохач Э.Е.	125
Васюков А.Е.	32	Рогозін А.С.	134
Виноградов С.А.	3	Самарін В.О.	109, 113
Гасанов Х.Ш.	9	Сенчихін Ю.М.	141,
Гишко Г.Б.	15	Собина В.О.	145
Грицына И.Н.	84	Стецюк Є.І.	46
Грінченко Є.М.	78	Стрілець В.М.	152
Дерев'яно І.Г.	141	Толкунов І.О.	46
Иванов Е.В.	32	Толчонов І.В.	89
Іванець Г.В.	39, 46	Тригуб В.В.	152, 159
Калугин В.Д.	168	Тютюник В.В.	168
Кальченко Я.Ю.	61	Федоренко Р.М.	78
Карманний Є.В.	98	Харламов В.В.	113
Консуров М.О.	3	Чернявский И.Ю.	168
Корнієнко І.В.	89	Чуб І.А.	186
Кривцова В.И.	61	Шапка В.М.	89
Кустов М.В.	67	Шевченко Р.І.	192
Ларін О.М.	78	Яровий Є.А.	134
Левтеров А.А.	84		

*Наукове видання*

## **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 23

Головний редактор Ю.О. Абрамов

Технічний редактор: К.М. Карпець

---

Підписано до друку 22.04.2016

Друк. арк. 13,2

Ум.-друк. арк. 12,3

Формат паперу 60x84/16

Тир. 300

Зам. 142 – 2016

Ціна договірна

---

61023, Харків, вул. Чернишевська, 94

Електронна адреса: <http://nuczu.edu.ua>

Типографія Національного університету цивільного захисту України