

**ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ  
СИТУАЦІЙ**

---

**PROBLEMS OF EMERGENCIES**

Випуск 25

Включено в міжнародні наукометричні бази даних: Ulrich's Periodicals Directory, Academic Research Index – ResearchBib

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ №21459-11259 ПР від 27.07.2015

Затверджено до друку вченою радою  
НУЦЗ України (протокол № 9 від 20.04.2017)

Харків  
2017

Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – Вип. 25. – 162 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. Бодянський*, 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 колегия:** 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. Бодянский*, 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.

Ю.А. Абрамов, д.т.н., гл. научн. сотр., НУГЗУ,  
В.Г. Борисенко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
В.И. Кривцова, д.т.н., профессор, НУГЗУ

## АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ПОДАЧИ ВОДОРОДА

Представлен алгоритм определения технического состояния газогенератора системы хранения и подачи водорода, в основе которого лежит использование частотных характеристик газогенератора.

**Ключевые слова:** газогенератор, частотные характеристики, постоянная времени.

**Постановка проблемы.** Эксплуатация систем хранения и подачи водорода с использованием твердых веществ осуществляется при температуре (300 ÷ 1500) К и давлении (0,1 ÷ 52,0) МПа [1], что обуславливает необходимость в обеспечении усиленных мер безопасности. Одной из проблем при этом является получение информации о состоянии одного из основных элементов таких систем – газогенератора водорода в динамическом режиме его работы.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Научные основы создания систем хранения и подачи водорода на основе твердых веществ приведены в [1]. В качестве водородосодержащих смесей рассматривались составы на основе  $\text{AlH}_3 + \text{TiH}_2$ ,  $\text{AlH}_3 + \text{Ni}$ ,  $\text{LaNi}_5\text{H}_x$ ,  $\text{FeTiH}_x$ ,  $\text{NaAlH}_4$  и  $\text{NaN} + \text{Al}$ . В работе разработаны методы получения оценок пожаровзрывоопасных ситуаций в системах хранения и подачи водорода бортовых энергоустановок. В [2] представлены научные основы по оценке последствий чрезвычайных ситуаций, которые могут иметь место в таких системах. Однако до сих пор остается открытым вопрос об определении технического состояния, в частности, газогенераторов водорода таких систем в любой момент времени.

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является разработка алгоритма для контроля технического состояния газогенератора системы хранения и подачи водорода с учетом его динамических свойств.

Динамические свойства газогенераторов систем хранения и подачи водорода на основе твердых веществ в первом приближении описываются передаточной функцией, имеющей вид [1]

$$W(s) = \Delta P(s) [\Delta F(s)]^{-1} = K(\tau_0 s + 1)^{-1}, \quad (1)$$

где  $\Delta P(s), \Delta F(s)$  – изображения по Лапласу от приращения давления в полости газогенератора и от приращения площади выходного отверстия газогенератора соответственно;  $K$  – коэффициент передачи;  $\tau_0$  – обобщенная постоянная времени;  $s$  – комплексное число.

Если входное воздействие на газогенератор системы хранения и подачи водорода описывается выражением

$$F(t) = F_0 + F_m \sin \omega t, \quad (2)$$

где  $F_0, F_m$  – постоянная составляющая и амплитуда переменной составляющей площади выходного отверстия газогенератора;  $\omega$  – круговая частота, то для давления в полости газогенератора можно записать

$$\begin{aligned} P(t) &= P_0 + P_m \sin[\omega t + \varphi(\omega)] = \\ &= A(0)F_0 + A(\omega)F_m \sin[\omega t + \varphi(\omega)], \end{aligned} \quad (3)$$

где  $P_0, P_m$  – постоянная составляющая и амплитуда переменной составляющей давления в полости газогенератора;  $A(\omega), \varphi(\omega)$  – амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики газогенератора соответственно.

Применительно к (1) выражения для  $A(\omega)$  и  $\varphi(\omega)$  имеют вид [3]

$$A(\omega) = K(1 + \omega^2 \tau_0^2)^{-0.5}; \quad \varphi(\omega) = -\arctg \omega \tau_0. \quad (4)$$

Из (3) следует тождество

$$P_0 P_m^{-1} = F_0 A(0) [F_m A(\omega)]^{-1}, \quad (5)$$

которое в [4, 5] использовано для формирования критерия контроля технического состояния газогенератора системы хранения и подачи водорода. В частности, если тест-воздействие на газогенератор описывается выражением (2), то при  $\omega = \omega_0 = \tau_0^{-1}$  согласно (4) выражение (5) трансформируется к виду

$$P_0 P_m^{-1} = \sqrt{2} F_0 F_m^{-1}, \quad (6)$$

а критерий контроля технического состояния газогенератора может быть представлен в виде

$$\left| P_0 P_m^{-1} - \sqrt{2} F_0 F_m^{-1} \right| \leq \varepsilon, \quad (7)$$

где  $\varepsilon$  – малое число.

Алгоритм контролю технічного стану газогенератора зводиться до вимірювання величин  $P_0$  і  $P_m$  при фіксованих значеннях  $F_0, F_m$ , а також  $\omega_0 = \tau_0^{-1}$  і  $\varepsilon$  з наступним використанням критерія (7). Параметр  $\varepsilon$  визначає розміри області, якій повинна належати фігуративна точка, центр якої визначається координатами  $\omega_0, A(\omega_0)$ .

Вихід фігуративної точки за межі цієї області свідчить про те, що технічний стан газогенератора системи зберігання та подачі водороду відрізняється від стану, яке регламентується відповідними нормативними документами (умова (7) при цьому не виконується).

Слід підкреслити, що для побудови критерія (7) використовувалася амплітудно-частотна характеристика  $A(\omega)$  (4). Використання фазово-частотної характеристики  $\varphi(\omega)$  дозволяє реалізувати інший підхід до процедури контролю технічного стану газогенератора. В частині, з (4) випливає, що при  $\omega = \omega_0 = \tau_0^{-1}$  має місце

$$\varphi(\omega_0) = -\frac{\pi}{4}. \quad (8)$$

Тоді критерій контролю технічного стану газогенератора може бути представлений у вигляді

$$\left| \varphi(\omega_0) + \frac{\pi}{4} \right| \leq \varepsilon, \quad (9)$$

а алгоритм контролю зводиться до вимірювання кута зсуву фаз між гармонічними складовими (3) і (2) на частоті  $\omega = \omega_0 = \tau_0^{-1}$  з наступною перевіркою умови (9). Параметр  $\varepsilon$  в цьому випадку визначає розміри області, якій повинна належати фігуративна точка, центр якої визначається координатами  $\omega_0, \varphi(\omega_0)$ , тобто виконання умови (9) свідчить про відповідність технічного стану газогенератора вимогам відповідних нормативних документів.

Слід відзначити, що обидва розглянуті алгоритми контролю технічного стану газогенератора системи зберігання та подачі водороду передбачають, що тест-вплив виду (2) здійснюється на частоті  $\omega_0 = \tau_0^{-1}$ , тобто для реалізації розглянутих алгоритмів необхідно отримати априорно інформацію про величину параметра  $\tau_0$ .

Для визначення величини цього параметра запишемо вираз, обернений до виразу для амплітудно-фазової частотної характеристики газогенератора  $W(j\omega)$  [3]

$$\begin{aligned} W^{-1}(j\omega) &= A^{-1}(\omega) \exp[-j\varphi(\omega)] = \\ &= A^{-1}(\omega) [\cos\varphi(\omega) - j\sin\varphi(\omega)] = K^{-1}(1 + j\omega\tau_0), \end{aligned} \quad (10)$$

где  $j$  – мнимая единица.

Из (10) следует система двух уравнений с искомым параметром  $\tau_0$

$$\begin{aligned} K^{-1} &= A^{-1}(\omega) \cos\varphi(\omega); \\ \omega\tau_0 K^{-1} &= -A^{-1}(\omega) \sin\varphi(\omega), \end{aligned} \quad (11)$$

решением которой является

$$\tau_0 = -\omega^{-1} \operatorname{tg}\varphi(\omega). \quad (12)$$

Таким образом, получение априори информации о величине параметра  $\tau_0$  сводится к формированию на газогенератор тест-воздействия в виде (2) на фиксированной частоте  $\omega = \omega_1$ , измерению угла сдвига фаз между гармоническими составляющими (3) и (2) с последующим использованием выражения (12) при  $\omega = \omega_1$ .

**Выводы.** Применительно к генератору системы хранения и подачи водорода на основе твердых веществ разработан алгоритм контроля его технического состояния, включающий три подалгоритма. Первый подалгоритм предусматривает определение величины обобщенной постоянной времени  $\tau_0$  с использованием соотношения (12). Второй и третий подалгоритмы используются непосредственно для определения технического состояния газогенератора. С этой целью используются критерии соответственно (8) и (9).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Система хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для бортовых энергетических установок / Ю.А. Абрамов, В.И. Кривцова, В.В. Соловей. – Х.: ISBN966-03-1944-3, 2002. – 277 с.
2. Кривцова В.И. Пожаровзрывобезопасность систем хранения водорода на автотранспорте / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка. – Х.: НУГЗУ, 2013. – 236 с.
3. Абрамов Ю.А. Основы пожарной безопасности / Ю.А. Абрамов. – Х.: ХИПБ, 1993. – 288 с.
4. Пат. 114098 Україна, МПК G01L23/00. Спосіб контролю технічного стану газогенератора системи зберігання та подачі водню / Абрамов Ю.О., Борисенко В.Г., Кривцова В.І.; власник Національний універ-

ситет цивільного захисту України. – №201609775; заявл. 22.09.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4.

5. Абрамов Ю.А. Мониторинг технического состояния газогенератора системы хранения и подачи водорода [Электронный ресурс] / Ю.А. Абрамов, В.И. Кривцова, А.С. Фуников // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 24. – С. 3-8. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol24/abramov.pdf>.

*Получено редколлегией 07.03.2017*

Ю.О. Абрамов, В.Г. Борисенко, В.І. Кривцова

**Алгоритм контролю технічного стану газогенератора системи зберігання і подачі водню**

Представлено алгоритм визначення технічного стану газогенератора системи зберігання і подачі водню, в основі якого лежить використання частотних характеристик газогенератора.

**Ключевые слова:** газогенератор, частотні характеристики, постійна часу.

Y.A. Abramov, V.G. Borisenko, V.I. Krivtsova

**Control algorithm the technical state of gas generator of hydrogen storage and supply system**

An algorithm for determining the technical state of gas generator of hydrogen storage and supply system, which based on using of the frequency characteristics of the gas generator have been represented.

**Keywords:** gas generator, time constant, frequency characteristics.

*П.Ю. Бородич, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
А.В. Максимов, викладач, НУЦЗУ,  
С.В. Капральчук, курсант, НУЦЗУ*

## **РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОГО АВТОМОБІЛЮ ПРИ РЯТУВАННІ ПОСТРАЖДАЛОГО З КОЛЕКТОРУ**

(представлено д.т.н. Прохачем Е.Ю.)

Запропонована імітаційна модель оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору. Проведено її аналіз та визначено критичний шлях. Надані рекомендації по підвищенню ефективності даного процесу.

**Ключові слова:** мережева модель, критичний шлях, оперативне розгортання, колектор.

**Постановка проблеми.** Згідно [1], одним із основних завдань сил цивільного захисту є ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій в умовах екстремальних температур, задимленості, загазованості, загрози вибухів, обвалів, зсувів, затоплень, радіоактивного, хімічного забруднення та біологічного зараження, інших небезпечних проявів. Більшість із цих робіт розглянуті в нормативних документах [2, 3, 4], що регламентують діяльність ДСНС України. Але існують такі роботи, порядок та особливість виконання яких в цих документах не відображено. До таких робіт відноситься оперативне розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору, з використанням спеціального верхолазного оснащення. Для підвищення ефективності виконання оперативно-рятувальними підрозділами ДСНС України дій за призначенням необхідно розглянути проміжні роботи та взаємозв'язок між ними даного процесу, що можливо зробити лише з використанням імітаційного моделювання. Тому розробка та повний аналіз моделі оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору буде актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [5] наведені заходи безпеки праці у замкнених просторах. Але ці заходи орієнтовані на тих хто виконує планові роботи і не відображають особливості проведення аварійно-рятувальних робіт.

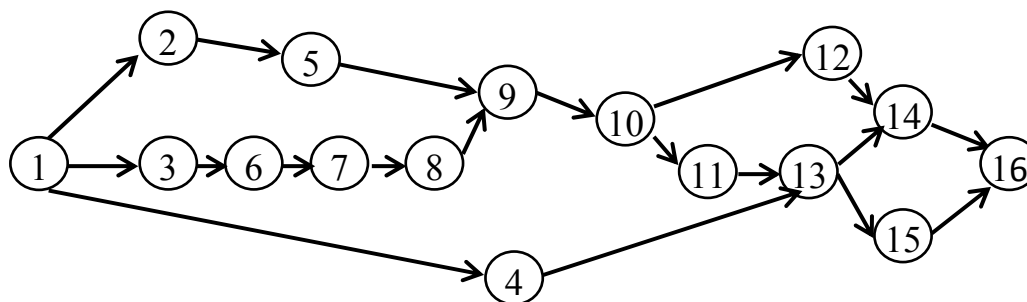
В [6] пропонується для моделювання діяльності особового складу газодимозахисної служби при роботі зі спеціальною технікою використовувати мережеві моделі. Однак в цих роботах не розглянуті



особливості рятування постраждалих з колекторів, що характеризуються навичками роботи як з засобами захисту органів дихання, пожежно-технічним оснащенням, так і з висотним обладнанням.

В [7] була запропонована та всебічно розглянута імітаційна модель оперативного розгортання особового складу автомобілю пожежного першої допомоги з установкою триноги на колодязь та спуском в нього. Але в ній не розглянуто використання спеціального висотного оснащення, яке знаходиться на аварійно-рятувальних автомобілях.

**Постановка завдання та його вирішення.** Виходячи з цього, поставлена задача побудувати імітаційну модель оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору. Для цього було вирішено використовувати мережеві моделі. Імітаційна модель представлена на рис. 1. Початком є команда старшого начальника «Постраждалого з колектора – врятувати!», закінчується модель подією «Збирання спорядження». Всі дії оперативного розгортання наведені в табл. 1.



**Рис. 1.** Імітаційна модель оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору

Умовно дану модель можна розбити на три паралельних шляхи:

- дії першого номера оперативного розрахунку (він керує діями особового складу, закріплює рятувальні мотузки за автомобіль або конструкцію та приймає постраждалого);
- дії другого номера (він спускається в колектор та рятує постраждалого);
- дії третього номера (він організує поліспаст Мунтера).

Дослідження оперативного розгортання проводилися під час занять з пожежно-рятувальної підготовки, під час якого були встановлені мінімальні  $t_{\min i}$  та максимальні  $t_{\max i}$  значення часу виконання окремих дій.

Математичне очікування було розраховано

$$\bar{t}_i = \frac{(t_{\max i} + t_{\min i})}{2}. \quad (1)$$

**Табл. 1. Аналіз окремих дій оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору**

№ з/п	Операція	Опис операції	$t_{\min i},$ с	$t_{\max i},$ с	$t_{\text{сер } i},$ с	$\sigma_i, \text{ с}$	$\sigma^2_i, \text{ с}^2$
1.	1-2	1-й номер одягає спорядження	60	100	80	6,6	44,4
2.	2-5	1-й номер бере рятувальні мотузки та одну з них закріплює за конструкцію чи автомобіль, а другу страхувальну закріплює за себе та конструкцію (автомобіль)	180	360	270	30	900
3.	5-9	1-й номер оглядає 2-го номера	10	30	20	3,3	11,1
4.	9-10	1-й номер дає команду на спуск 2-му номеру	2	6	4	0,7	0,4
5.	10-12	1-й номер контролює роботу 2-го номеру в колекторі	120	300	210	30	900
6.	12-14	1-й номер приймає потерпілого з колектора	30	60	45	5	25
7.	1-3	2-й номер одягає спорядження	360	480	420	20	400
8.	3-6	2-й номер одягає апарат	30	60	45	5	25
9.	6-7	2-й номер надягає, налаштовує та включає налобний ліхтар	10	20	15	1,7	2,8
10.	7-8	2-й номер закріплюється на рятувальній мотузці бере з собою, оснащення та питає у першого номера дозвіл на спуск	60	180	120	20	400
11.	8-9	2-й номер чекає, поки 1-й номер його перевіре	10	30	20	3,3	11,1
12.	10-11	2-й номер починає спуск в колектор	120	300	210	30	900
13.	11-13	2-й номер спустився до потерпілого, оцінив його стан, одягає рятувальну косинку закріплює на робочу мотузку і дає команду на підняття потерпілого	300	600	450	50	2500
14.	13-15	2-й номер піднімається з колектору за допомогою жумарів	240	360	300	20	400
15.	1-4	3-й номер бере необхідне спорядження для організації поліспасти Мунтера	60	120	90	10	100
16.	4-13	3-й номер організовує поліспасти Мунтера	60	180	120	20	400
17.	13-14	3-й номер підіймає через поліспасти Мунтера потерпілого назовні	60	200	130	23,3	544,4
18.	14-16	3-й номер збирає спорядження	600	720	660	20	400
19.	15-16	1-й та 2-й номер збирають спорядження	600	720	660	20	400

Враховуючи те, що для одновершинних розподілів середньоквадратичне відхилення приблизно дорівнює 1/6 інтервалу, на якому розглядається розподіл [8, 9], дана оцінка розраховується як

$$\sigma_i \approx \frac{t_{i\max} - t_{i\min}}{6} . \quad (2)$$

Використавши отримані результати, були розраховані [9] основні параметри мережної моделі (табл. 2).

**Табл. 2. Параметри мережної моделі оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору**

Операція	$t_i, c$	Ранній час		Пізній час		Резерв часу $R, c$
		$t_{i.p.n.}, c$	$t_{i.p.z.}, c$	$t_{i.p.n.}, c$	$t_{i.p.z.}, c$	
1-2	80	0	80	250	330	250
2-5	270	80	350	330	600	250
5-9	20	600	620	600	620	0
9-10	4	620	624	620	624	0
10-12	790	624	1414	624	1414	0
12-14	45	1414	1459	2199	2244	785
1-3	420	0	420	0	420	0
3-6	45	420	465	420	465	0
6-7	15	465	480	465	480	0
7-8	120	480	600	480	600	0
8-9	20	600	620	600	620	0
9-10	4	620	624	620	624	0
10-11	210	624	834	624	834	0
11-13	450	834	1284	834	1284	0
13-15	300	1284	1584	1284	1584	0
15-16	660	1584	2244	1584	2244	0
1-4	90	0	90	1074	1164	1074
4-13	120	90	210	1164	1284	1074
13-14	130	1284	1414	1284	1414	0
14-16	660	1414	2074	1584	2244	170

Для визначення критичного шляху імітаційної моделі були розраховані значення математичного очікування (3) та дисперсії (4) критичного шляху

$$\bar{t}(L_{кр}) = \sum \bar{t}_{i_{кр}} = 2244 \text{ c}, \quad (3)$$

де  $\bar{t}_{i_{кр}}$  – математичне очікування  $i$ -ї операції критичного шляху, с.

$$\sigma^2(L_{кр}) = \sum \sigma_i^2 = 5039,3 \text{ c}^2, \quad (4)$$

де  $\sigma_i^2$  – дисперсія  $i$ -ї операції критичного шляху.

Тоді середньоквадратичне відхилення критичного шляху буде дорівнюватися  $\sigma(L_{кр}) = 71 \text{ c}$ .

Критичним в імітаційній моделі оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору буде другий шлях – дії другого номера, тобто на ньому буде найбільша затримка часу. Тому для підвищення ефективності

розглянутого оперативного розгортання необхідно по-перше другим номером ставити найбільш підготовленого рятувальника, який вдосконало вміє працювати з засобами захисту органів дихання та з індивідуальними страхувальними системами; по-друге номеру один та номеру три максимально допомагати першому номеру виконувати його дії.

**Висновки.** Запропонована імітаційна модель оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору повністю відображає даний процес. Проведені дослідження критичного шляху дозволили надати рекомендації по підвищенню ефективності оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору. Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка нормативів для оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України: Кодекс.: за станом на 01 липня 2013 р. – К.: Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2013. – 82 с.

2. Настанова з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби МНС України : Наказ МНС України № 1342 від 16 грудня 2011р.: М-во надзв. сит. України, 2011. – 56 с.

3. Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту: Наказ МНС України № 575 від 13 березня 2012 р.: М-во надзв. сит. України, 2012. – 178 с.

4. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України: Наказ МНС України № 312 від 7 травня 2007 р.: М-во надзв. сит. України, 2007. – 248 с.

5. Типова інструкція з організації безпечного ведення газонебезпечних робіт: НПАОП 0.00-5.11-85. – [Чинний від 1985-12-20]. – К.: Держгіртехнагляд СРСР, 1985. – 21 с.

6. Ковальов П.А. Моделювання діяльності особового складу газодимозахисної служби при роботі зі спеціальною технікою / П.А. Ковальов, В.Н. Чучковский // Актуальні проблеми філософії, науки і сучасних технологій: Вісник ХДУ. – 1997.– Х.: – С. 268-272.

7. Бородич П.Ю. Імітаційне моделювання оперативного розгортання особового складу автомобілю пожежного першої допомоги установкою триноги на колодязь та спуском в нього [Електронний ресурс] / П.Ю. Бородич, П.А. Ковальов, І.О. Поляков // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. – Вип. 20. – Харків: НУЦЗУ. – 2014. – С. 28-32. Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/>

sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol20/borodich.pdf.

8. Стрелец В.М. Экспертные оценки профессионально важных качеств пожарных / В.М. Стрелец, Д.Ю.Каскевич // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Вып. 5. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С.183-185.

9. Экспертные системы: состояние и перспективы: Сб. науч. тр. // АН СССР, Ин-т проблем передачи информации: Отв. ред. Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1989. – 152 с.

*Отримано редколлегією 10.03.2017*

П.Ю. Бородич, А.В. Максимов, С.В. Капральчук

**Разработка модели оперативного развертывания личного состава аварийно-спасательного автомобиля при спасении пострадавшего с коллектора**

Предложенная имитационная модель оперативного развертывания личного состава аварийно-спасательного автомобиля при спасении пострадавшего с коллектора. Проведен ее анализ и определен критический путь. Даны рекомендации по повышению эффективности данного процесса.

**Ключевые слова:** сетевая модель, критический путь, оперативное развертывание, коллектор.

P.Yu. Borodich, F.V. Maksimov, S.V. Kapralchuk

**Development of a model for the rapid deployment of personnel of a rescue vehicle in the rescue of the victim from the reservoir**

The proposed simulation model of the operational deployment of the rescue vehicle in the rescue of the victim from the reservoir. It is analyzed and a critical path is determined. Recommendations are given to improve the effectiveness of this process.

**Keywords:** network model, critical path, operational deployment, collector.

О.М. Григоренко, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
Ю.П. Ключка, д.т.н., с.н.с., нач. каф., НУЦЗУ,  
С.В. Гарбуз, викладач, НУЦЗУ

## КЛАСИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ З УРАХУВАННЯМ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ДИРЕКТИВИ СЕВЕЗО 3 НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Проведено порівняння кількості об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням імплементації директиви Севезо 3 на території України. Показано, що імплементація директиви дозволить зменшити кількість підприємств, що підпадають під контроль за загрозами небезпек до 15 % від кількості таких об'єктів на сьогодні. Проведено оцінку параметрів надзвичайних ситуацій (надлишковий тиск вибуху, інтенсивності теплового випромінювання) можливих на об'єктах з наявністю ємностей зі стиснутим природним газом, які не ідентифікуються як об'єкти підвищеної небезпеки згідно вимог Севезо 3.

**Ключові слова:** об'єкт підвищеної небезпеки, тиск вибуху, теплове випромінювання.

**Постановка проблеми.** Директивою Європейського Парламенту та Ради від 4 липня 2012 року 2012/18/ЄС про контроль значних аварій, пов'язаних з небезпечними речовинами, що вносить зміни та скасовує Директиву 96/82/ЄС встановлено правила запобігання великим аваріям, які пов'язані з небезпечними речовинами, а також встановлено вимоги щодо впровадження заходів стосовно обмеження впливу наслідків таких аварій на здоров'я людини і навколишнє природне середовище з метою послідовного підвищення рівня захисту населення і територій [1]. Завпровадження європейських стандартів безпеки, що є однією з вимог інтеграції України в ЄС, можливе за умови реалізації концептуальних і методологічних інновацій та інституціональних перетворень [2]. Не дивлячись на те, що планом імплементації Директиви передбачено впровадження її вимог у термін до кінця 2017 року, проблемою являється наскільки «точно» українське законодавство щодо ідентифікації ОПН має відповідати європейському. Це в свою чергу вплине на кількість ОПН та вимоги до них.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основними нормативно-правовими актами, які регулюють правовідносини, аналогічні тим, які врегульовано у Директиві 2012/18/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 4 липня 2012 р, є Кодекс цивільного захисту України, Закони України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» і «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності», постанова Кабінету Міністрів України від 11 липня 2002 р. № 956 «Про ідентифікацію та декларування об'єктів підвищеної небезпеки».

На сьогодні в Україні налічується близько 6 тис. об'єктів підвищеної небезпеки, що ідентифіковані відповідно до вимог постанови Кабінету Міністрів України від 11 липня 2002 р. № 956 «Про ідентифікацію та декларування об'єктів підвищеної небезпеки» та використовують у своїй діяльності небезпечні речовини [3]. Для порівняння наведемо дані про кількість промислових об'єктів, які підлягають декларуванню у деяких країнах Європейського Союзу (табл. 1) [4].

**Табл. 1. Кількість об'єктів, які підлягають декларуванню безпеки у деяких країнах ЄС та їх частка серед об'єктів промисловості**

Параметр	Країна-член ЄС										
	Бельгія	Данія	ФРН	Греція	Іспанія	Франція	Італія	Нідерланди	Фінляндія	Швеція	Велика Британія
Кількість об'єктів, які підлягають декларуванню безпеки	137	23	815	108	216	626	474	176	80	133	364
Частка, серед об'єктів промисловості, %	4	1	26	3	7	19	14	5	2	4	11

Аналіз даних наведених у табл. 1 та порівняння із кількістю ОПН на території України показує, що в країнах ЄС кількість об'єктів підвищеної небезпеки в десятки разів менше. Це пояснюється особливостями нормативно-правової бази, прийнятої в Україні для ідентифікації ОПН, якою передбачено визначення порогових мас небезпечних речовин з урахуванням відстаней до елементів селитебної території або промислових об'єктів.

Директивою Севезо 3 розширено перелік підприємств, об'єктів і видів діяльності, на які не поширюється її дія (військові підприємства; об'єкти видобувних галузей промисловості; транспортування небезпечних речовин, в тому числі по магістральних трубопроводах; морська розвідка і розробка корисних копалин, включаючи вуглеводні; зберігання газу на підводних морських майданчиках і майданчиках, на яких проводять розвідку і розробку корисних копалин; звалища відходів, включаючи підземне зберігання відходів тощо).

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є аналіз доцільності зменшення порогових мас небезпечних речовин зі зменшення відстані до житлових будинків, об'єктів селитебної території, тощо.

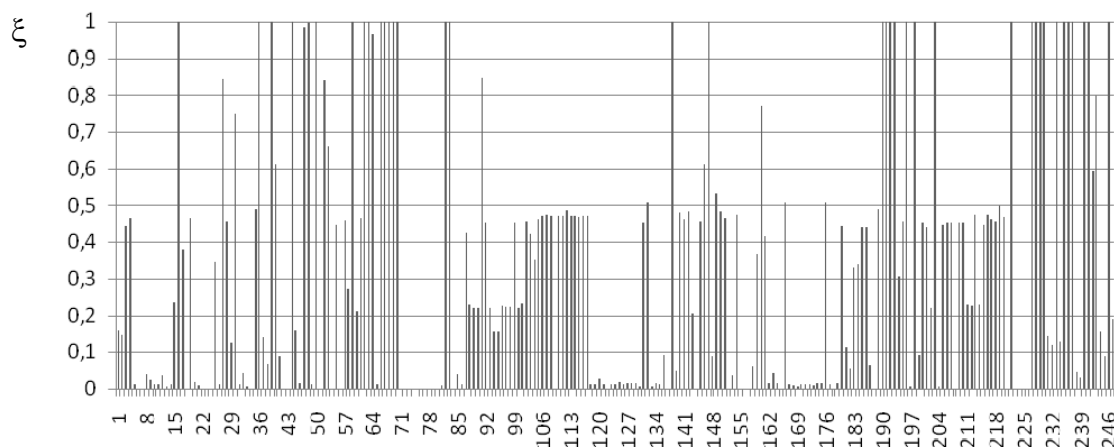
Прийняття порядку ідентифікації ОПН аналогічного директиві Севезо 3 дозволить різко зменшити кількість підприємств, що підпадають під контроль за загрозами небезпек, пов'язаних з небезпечними речовинами, і

вимоги до таких об'єктів. На рис. 1. наведені відносні маси небезпечних речовин при алгоритмі з Севезо 3 для Полтавської області.

Відносну масу небезпечних речовин розраховували за формулою

$$\xi = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_i}, \quad (1)$$

де  $q_i$  – сумарна маса небезпечної речовини, небезпечних речовин однієї категорії або групи, що знаходиться на об'єкті;  $Q_i$  – норматив порогової маси небезпечної речовини, небезпечних речовин однієї категорії або групи визначені відповідно до [1];  $n$  – кількість речовин на об'єкті. У випадку коли отримане значення буде дорівнювати або перевищувати 1, об'єкт ідентифікується як об'єкт підвищеної небезпеки першого або другого класу.



**Рис. 1. Відносна маса небезпечних речовин на ОПН**

Аналіз діаграми показує, що орієнтовно зі 247 ОПН, 36 (15 %) потенційно будуть відповідати ОПН згідно вимог Севезо 3. Більшість об'єктів, на яких відносна маса небезпечних речовин не перевищує 1, відносяться до автозаправних та автогазозаправних станцій.

Поряд з Севезо 3 в ЄС функціонує ризик-орієнтований підхід, визначені граничні значення індивідуального та соціального ризику, чого поки що немає в Україні. У зв'язку з цим Міжвідомчою робочою групою з імплементації директиви Севезо 3 передбачається запровадити три класи ОПН з ліквідацією потенційно небезпечних об'єктів, як класу, де 1-ий та 2-ий клас аналогічно класам директиви Севезо 3, а третій з врахуванням зміни порогових обернено пропорційно квадрату відстані [3]. Загальну схему змін класифікації та кількості ОПН та ПНО на території України (проект) можна представити в наступному вигляді (рис. 2).



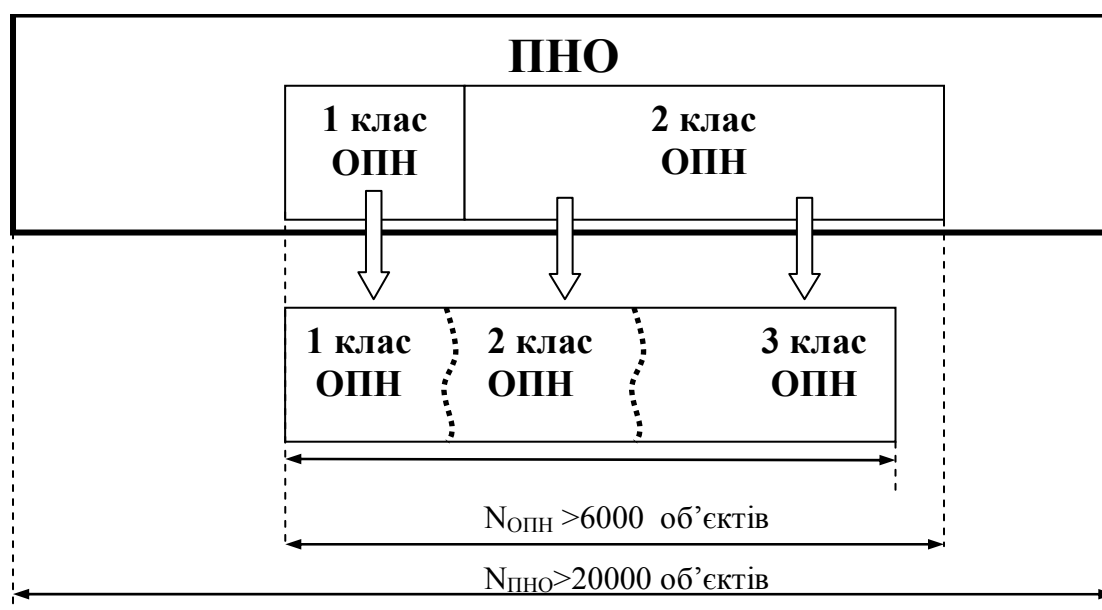


Рис. 2. Схема зміни класифікації та кількості ОПН та ПНО на території України (проект)

При цьому передбачається, що до третього класу будуть віднесені об'єкти які не належать до другого класу, мають більш ніж 2% порогових мас небезпечних речовин та один з наступних коефіцієнтів перевищує порогове значення

$$\xi = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{2i}^*} \quad (2)$$

або

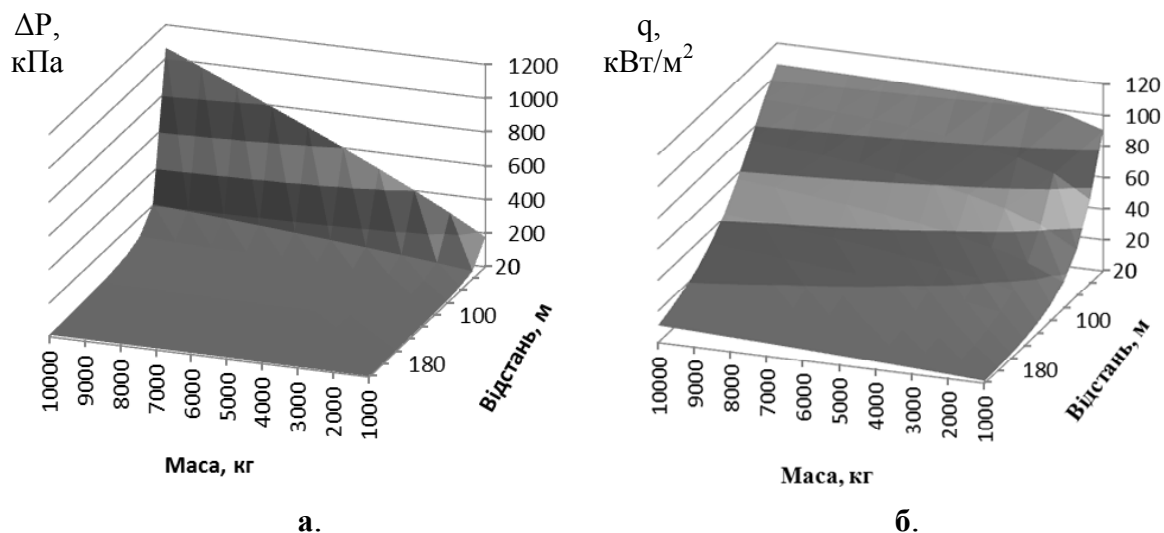
$$\xi^* = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{2i}}, \quad (3)$$

де  $Q_{2i}^* = Q_{2i} \left( \frac{R}{R_{\Pi}} \right)^2$ ;  $R_{\Pi}$  – порогова відстань для відповідної групи речовин (500 або 1000 м [3]);  $R$  – відстань від об'єкта до житлових будівель, об'єктів селитебної території, тощо.

При застосуванні виразу (2) порівняння проводиться з 1 (одиницею), а при застосуванні (3) з  $\left( \frac{R}{R_{\Pi}} \right)^2$ .

Оскільки після імплементації Директиви 2012/18/ЄС, більшість об'єктів з наявністю ємностей зі стиснутим природним газом (СПГ) не будуть ідентифіковані як ОПН першого та другого класу, виникає необхідність оцінки параметрів надзвичайних ситуацій можливих на подібних об'єктах. При виникненні аварійних, нештатних ситуацій при екс-

платуації резервуарів зі СПГ найбільш небезпечними являються ситуації з формування «вогняної кулі» та вибухової ударної хвилі. Для кількісної оцінки параметрів надзвичайних ситуації використовували методику [5]. При цьому розраховували надлишковий тиск у разі згоряння газоповітряної суміші та інтенсивність теплового випромінювання в залежності від маси газу та відстані від осередку НС, які обирали виходячи від умов технологічного процесу та особливостей розташування конкретних об'єктів відносно елементів селитебної території або промислових об'єктів. Результати досліджень представлені на рис. 3.



**Рис. 3. Залежність параметрів надзвичайної ситуації від маси газу та відстані від осередку НС: а – надлишкового тиску вибуху; б – інтенсивності теплового випромінювання**

Аналіз залежності на рис. 3 а показує, що при вибуху метаноповітряної суміші при руйнуванні ємності зі СПГ на відстані до 20 м буде спостерігатися повне руйнування будівель не залежно від кількості метану на об'єкті. При кількості метану більше 4 т зона повних руйнувань становить більше 40 м. Зона середніх руйнувань матиме найбільший радіус від 90 до 200 м при кількості метану від 1 до 10 т відповідно. При цьому інтенсивність теплового випромінювання «вогняної кулі» (рис. 3 б) перевищує критичне значення 4 кВт/м<sup>2</sup> на відстані більше 140 м.

Для точної оцінки наслідків аварії використовується модель шкоди під час вибуху  $U(\Delta P) = \Phi(P_r)$ , де  $\Phi(z)$  – функція нормального розподілу [6]

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (4)$$

що відповідає ймовірності настання даного виду наслідків. Функція нормального розподілу може бути виражена через функцію помилок

$$\Phi(z) = \frac{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right)}{2}. \quad (5)$$

Функція помилок визначається як

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-t^2) dt. \quad (6)$$

Аргументом функції розподілу служить пробіт-функція виду

$$\operatorname{Pr}(V) = a + b \ln(V). \quad (7)$$

Параметри  $a$ ,  $b$  залежать від виду наступаючих наслідків,  $V$  – деякою функцією від інтенсивності випромінювання і часу експозиції, яке можна прийняти рівним часу існування «вогненної кулі». При ураженні людини тепловим випромінюванням (утворення опіку 1-го/2-го ступеня) пробіт-функція приймає вид

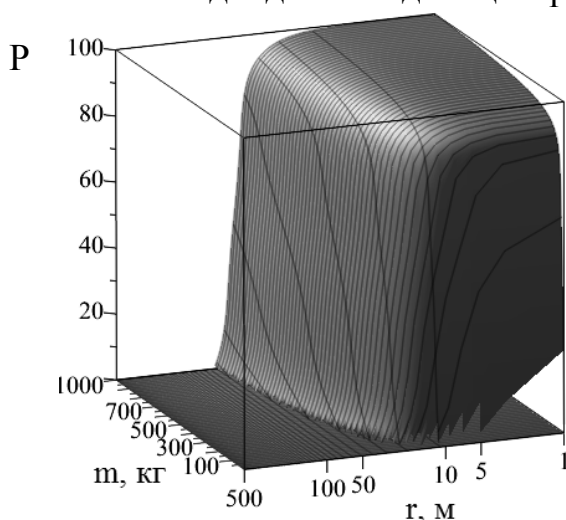
$$-12,8 + 2,56 \ln tq^{4/3}, \quad (8)$$

де  $t$  – час існування вогняної кулі,  $s$ ;  $q$  – інтенсивність теплового випромінювання,  $\text{kВт/м}^2$ .

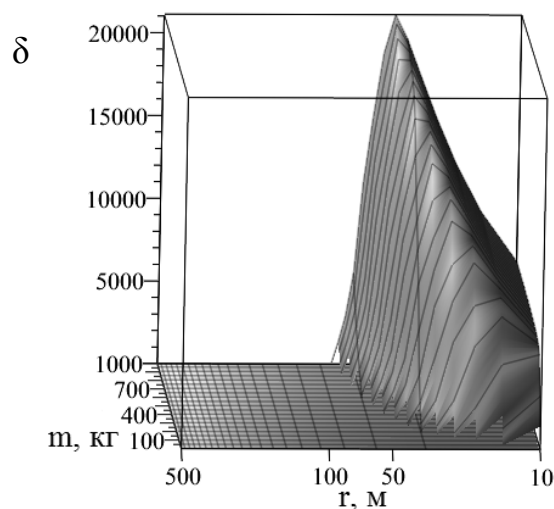
На рис. 4 наведена імовірність травмування людей (опіки 1 та 2 ступеню), а на рис. 5 залежність добутку імовірності травмування людей на рівновіддаленій відстані від епіцентру при рівномірному розподілу людей по площі навколо небезпечного об'єкта (опіки 1 та 2 ступеню)

$$\delta = 2\pi r \cdot P(r, m), \quad (9)$$

де  $P(r, m)$  – імовірність травмування людей (опіки 1 та 2 ступеню) в залежності від відстані від епіцентру та маси речовини.



**Рис. 4.** Імовірність травмування людей (опіки 1 та 2 ступеню) в залежності від відстані від епіцентру та маси речовини



**Рис. 5.** Залежність  $\delta$  від відстані від епіцентру та маси речовини

Аналіз рис. 4 та рис. 5 показує, що починаючи з відстані понад 100 метрів імовірність травмування від вогняної кулі, що може сформуватися, близька до 0.

Таким чином виникають сумніви щодо доцільності зниження порогових мас при ідентифікації для об'єктів які розташовані на відстані 200-500 метрів.

**Висновки.** В результаті проведеної роботи показано, що імплементація Директиви 2012/18/ЄС дозволить зменшити кількість підприємств, що підпадають під контроль за загрозами небезпек, пов'язаних з небезпечними речовинами до 15 % від кількості об'єктів підвищеної небезпеки ідентифікованих на сьогодні.

Разом з тим, оцінка параметрів надзвичайних ситуацій (надлишковий тиск вибуху, інтенсивності теплового випромінювання) можливих на об'єктах, які не ідентифікуються як об'єкти підвищеної небезпеки згідно вимог Севезо 3, говорить про певну небезпеку таких підприємств, що повинно бути відображено при впровадженні нормативних документів, гармонізованих з європейським законодавством.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC Text with EEA relevance (Eng) / Директива 2012/18/ЄС Европейського Парламенту і Ради від 4 липня 2012 року про контроль крупних аварій, пов'язаних з небезпечними речовинами, змінююча і внаслідок чого скасовує Директиву 96/82/ЄС Ради ЄС (Rus) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://phase1.pprdeast2.eu/assets/files/Publications/SevesoIII\\_Directive\\_RUS.pdf](http://phase1.pprdeast2.eu/assets/files/Publications/SevesoIII_Directive_RUS.pdf).

2. Ключка Ю.П. Оцінка результатів надзвичайної ситуації з врахуванням ризик-орієнтованого підходу [Електронний ресурс] / Ю.П. Ключка, О.П. Михайлюк // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2016. – Вип. 24. – С. 72-76. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol24/klyuchka.pdf>.

3. Постанова Кабінету Міністрів України «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» від 11 липня 2002 року № 956: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/956-2002-%D0%BF>.

4. Предупреждение промышленных аварий на основе директив Севезо / Азаров Н.И., Давидюк О.В., Лисанов М.В. // Безопасность труда в промышленности. – 2006. – № 12. – С. 42-47.

5. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: ДСТУ Б.В.1.1-

36:2016. – [Чинний від 2017–01–01]. – Київ: Мінрегіон України, 2016. – 31 с. – (Національний стандарт України).

6. Метод оценки индивидуального риска – Режим доступа: <http://fireman.ru/bd/npb/107/107-4.html>.

*Отримано редколегією 02.03.2017*

Ю.П. Ключка, А.Н. Григоренко, С.В. Гарбуз

**Классификация объектов повышенной опасности с учетом имплементации директивы Севезо 3 на территории Украины**

Проведено сравнение количества объектов повышенной опасности с учетом имплементации директивы Севезо 3 на территории Украины. Показано, что имплементация директивы позволит уменьшить количество предприятий, подпадающих под контроль по угрозам опасностей до 15% от количества таких объектов на сегодня. Проведена оценка параметров чрезвычайных ситуаций (избыточное давление взрыва, интенсивности теплового излучения) возможных на объектах с наличием емкостей со сжатым природным газом, не идентифицируемых как объекты повышенной опасности в соответствии с требованиями Севезо 3.

**Ключевые слова:** объект повышенной опасности, давление взрыва, тепловое излучение.

Yu. P. Kluchka, O.M. Hryhorenko, S.V. Garbuz

**Classification of object of increased danger, taking into account the implementation of the Seveso 3 directive in the territory of Ukraine**

A comparison of the number of high-risk facilities was carried out, taking into account the implementation of the Seveso 3 directive in the territory of Ukraine. It is shown that the implementation of the directive will reduce the number of enterprises subject to control over hazards to 15% of the number of such facilities for today. The parameters of emergency situations (excessive explosion pressure, intensity of thermal radiation) that are possible at facilities with the presence of containers with compressed natural gas are not assessed as objects of increased danger in accordance with the requirements of Seveso 3.

**Keywords:** object of increased danger, explosion pressure, thermal radiation.

*И.Ф. Дадашов, к.т.н., докторант, НУГЗУ*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ГЕЛЕОБРАЗНОГО СЛОЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К ПАРАМ ОРГАНИЧЕСКИХ ТОКСИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

(представлено д.т.н. Бодянским Э.В.)

Проведено экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразных слоёв по отношению к парам органических токсичных жидкостей. Показано, что гелеобразный слой системы  $\text{CaCl}_2(10\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(10\%)$  толщиной (1,3-1,4) мм обеспечивает замедление испарения летучих жидкостей. Скорость испарения уменьшается в 28-33 раза для нерастворимых в воде жидкостей и 2-3 раза для хорошо растворимых. Предложено гелеобразные слои использовать при локализации чрезвычайных ситуаций с разливом токсичных и легковоспламеняющихся жидкостей.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации, локализация, гелеобразующие системы, гелеобразные слои, изолирующие свойства, пары токсичных и легковоспламеняющихся жидкостей.

**Постановка проблемы.** Украина является страной с развитой химической промышленностью. Большинство предприятий химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной, оборонной промышленности являются химически опасными объектами. Значительные объёмы опасных химических веществ находятся на предприятиях чёрной и цветной металлургии на объектах пищевой, мясомолочной промышленности, холодильниках продовольственных баз, жилищно-коммунальном хозяйстве. При авариях на таких объектах большое количество токсичных веществ может попасть в окружающую среду и создать зону поражения.

Основным поражающим фактором при чрезвычайных ситуациях с попаданием опасных химических веществ в окружающую среду является ингаляционное воздействие на людей и животных высоких концентраций паров таких веществ. За небольшим количеством исключений опасные концентрации паров химически опасных веществ могут создавать жидкие вещества. При локализации источника заражения, основной задачей является предотвращение формирования облака зараженного воздуха и недопущение его распространения в атмосфере. Этого можно добиться путем уменьшения скорости её испарения или поглощения паров различными абсорбентами [1-3]. В большинстве случаев в качестве абсорбентов паров жидкости используют воду. Этот метод реализуется постановкой водяных завес. При отсутствии эффективных абсорбентов можно использовать метод рассеивания парового облака с помощью тепловых потоков или дымососов [2]. В последнем случае общее количество паров токсичной жидкости не уменьшается, а они лишь разбавляются воздухом.

Уменьшить скорость испарения жидкости можно рядом способов. Можно уменьшить площадь испарения токсичной жидкости путём обвалования пролива, сбора жидкой фазы в приямки-ловушки, засыпки пролива сыпучими сорбентами. Также используются методы покрытия зеркала пролива полимерной пленкой, разбавления пролива водой или нейтрализующим раствором, а также введением в жидкую фазу загустителей. Наиболее широкое распространение получил метод изоляции поверхности пролитой токсичной жидкости воздушно-механической пеной.

Главными проблемами, с которыми приходится сталкиваться оперативно-спасательными подразделениями при локализации проливов токсичных жидкостей является малое время действия изолирующих средств (пен) и большие расходы абсорбирующих веществ (распыленные струи).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Наиболее универсальным способом локализации разливов токсичных жидкостей считается использование пен [1-3]. Однако пены как средства изоляции токсичных жидкостей имеют ряд недостатков:

- существуют трудности с их подачей на большие расстояния;
- пены постепенно разрушаются, особенно при контакте с полярными жидкостями;
- поверхностно-активные вещества (ПАВ), входящих в состав пенообразователей токсичны [4-7].

Все вышеперечисленные факторы приводят к увеличению расхода пены и нанесению ущерба окружающей среде. Таким образом, решение проблемы невысокой эффективности воздушно-пенных средств изоляции разливов токсичных жидкостей может быть достигнуто путем устранения отмеченных выше недостатков.

Для устранения перечисленных недостатков воздушно-механических пен было предложено для целей пожаротушения использовать гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные составы (ГОС) [8]. Гелеобразный слой может выполнять не только огнетушащее действие, а и обеспечивать изоляцию поверхности токсичных жидкостей. Эту способность гелеобразных слоёв было предложено использовать для тушения горючих жидкостей [9]. При этом для обеспечения плавучести слоя геля в горючих жидкостях было предложено использовать лёгкий негорючий носитель – гранулированное пеностекло. Предварительные опыты показали, что бинарный слой пеностекло-гель остаётся стабильным на поверхности бензина в течение нескольких суток. В ходе проведенных исследований было установлено, что слой геля толщиной в несколько миллиметров обеспечивал снижение концентрации бензина до уровня меньше нижнего концентрационного предела распространения пламени. Для других жидкостей изолирующие свойства гелей по отношению к их парам определены не были.

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразных слоёв

по отношению к парам токсичных жидкостей, относящихся к разным классам соединений. В качестве жидкостей были выбраны три спирта - метанол, изопропанол, изопентанол; галогенпроизводное углеводородов - 1,2-дихлорэтан; ароматическое соединение - бензол; смесь насыщенных, ненасыщенных и ароматических углеводородов - бензин. Для получения слоя геля была использована ГОС  $\text{CaCl}_2(10\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(10\%)$ , которая проявила высокие изолирующие свойства при тушении пожаров класса «А» [10].

Первоначально была изучена скорость испарения жидкостей со свободной поверхности. Для этого 70 мл жидкости наливалась в чашку Петри внутренним диаметром 9,4 см. После этого гравиметрическим методом определялась потеря массы за 1 час. Взвешивание осуществлялось с помощью электронных весов ТНВ. - 600, обеспечивающих точность  $\pm 0,01$  г. Измерения проводились при температуре  $(20\pm 0,5)^\circ\text{C}$ . Соответствующие средние значения массы испарившейся жидкости ( $\Delta m_1$ ), полученный по результатам трёх измерений, представлены в табл. 1.

**Табл. 1. Растворимость жидкостей в воде, масса испарившейся жидкости со свободной поверхности ( $\Delta m_1$ ), масса испарившейся жидкости через слой геля ( $\Delta m_2$ ), поверхностный расход геля ( $\Phi$ ), коэффициент замедления испарения ( $K$ )**

Жидкость	Растворимость, % мас	$\Delta m_1$ , г	$\Delta m_2$ , г	$\Phi$ , г/см <sup>2</sup>	K
Бензин	~0	16,02	0,58	0,13	27,6
изопропанол	неогранич	2,03	1,28	0,13	1,6
изопентанол	2,7	2,63	1,08	0,14	2,4
метанол	неогранич	4,92	1,90	0,13	2,6
1, 2-дихлорэтан	0,86	5,71	0,63	0,14	9,1
бензол	0,18	5,75	0,17	0,14	33,8

Для изучения испарения жидкостей через слой геля, он наносился на тонкую сетку из нержавеющей стали. Сеткой с нанесённым на неё гелем накрывалась чашка Петри с предварительно взвешенным количеством летучей жидкости. Через один час сетка снималась с чашки Петри и по убыли массы рассчитывалась масса испарившейся жидкости ( $\Delta m_2$ ).

Также весовым методом определялась масса геля, равномерно нанесённого на сетку. На основании этого рассчитывался поверхностный расход геля

$$\Phi = m_{\text{геля}} / S, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь сетки,  $m_{\text{геля}}$  - масса геля, нанесённого на сетку.

В предварительных опытах установлено, что сплошной слой геля образуется при поверхностном расходе не менее  $1,2$  г/см<sup>2</sup>. Поэтому в дальнейшем был выбран поверхностный расход геля  $(0,13-0,14)$  г/см<sup>2</sup>. На



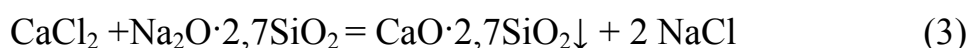
основании полученных результатов был рассчитан коэффициент замедления испарения

$$K = \Delta m_1 / \Delta m_2. \quad (2)$$

В табл. 1 представлены соответствующие результаты по массе испарившихся жидкостей через слой геля за один час, поверхностному расходу геля, коэффициенту замедления испарения и растворимостям исследованных жидкостей в воде.

Анализ приведенных экспериментальных данных позволяет заключить, что наибольшие изолирующие свойства гелевый слой проявляет по отношению к веществам плохо растворимым в воде (бензол и бензин). По мере увеличения растворимости, изолирующие свойства геля уменьшаются (1, 2-дихлорэтан). Для спиртов коэффициент замедления наименьший. Это позволяет использовать гелеобразные слои для локализации чрезвычайных ситуаций с разливом токсичных органических летучих жидкостей, а также предотвращения их воспламенения.

Для объяснения полученных результатов необходимо оценить коэффициенты диффузии рассматриваемых веществ в жидкой фазе геля и их растворимость в ней [11]. Для этого нужно определить состав геля. При рассмотрении вопроса о составе геля нужно определить состав жидкой фазы входящей в состав геля и содержания твёрдой фазы. На основании учёта стехиометрии реакции



можно рассчитать массовую долю каркаса геля, хлорида натрия и хлорида кальция, который находится в избытке по сравнению с жидким стеклом. Соответствующие данные представлены в табл. 2.

**Табл. 2. Состав геля, образовавшегося из ГОС  $\text{CaCl}_2(10\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(10\%)$**

	Вещество			
	$\text{CaCl}_2$	$\text{CaO} \cdot 2,7\text{SiO}_2$	$\text{NaCl}$	$\text{H}_2\text{O}$
агрегатное состояние фазы	жидкая	твёрдая	жидкая	жидкая
содержание, мас. %	2,6	4,7	2,7	90

Таким образом, можно заключить, что твёрдая фаза, из которой построен каркас геля, составляет всего 4,7 % по массе или 1,7% по объёму (плотность полисиликатов кальция равна  $\sim 2,8 \text{ г/см}^3$ ). Незначительное содержание твёрдой фазы в составе геля указывает на то, что коэффициенты диффузии веществ растворённых в геле будет мало отличаться от соответствующего показателя водных растворов [12]. Небольшие концентрации хлорида кальция и натрия в жидкой фазе также не приведут существенному изменению коэффициента диффузии и растворимости

рассмотренных веществ в гелеобразном слое. Отсюда вытекает, что изолирующие свойства геля будут близкими к изолирующим свойствам такого же по толщине слоя воды.

На основании результатов работы [11] по моделированию изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам горючих жидкостей можно заключить, что увеличение изолирующих свойств гелевых слоёв можно осуществить следующими путями:

- увеличением толщины слоя;
- введением в состав композиции веществ уменьшающих растворимость токсичных органических веществ;
- повышением вязкости жидкой фазы геля;
- увеличением доли твёрдой фазы в составе геля.

**Выводы.** Гелеобразные слои уменьшают скорость испарения токсичных органических жидкостей. Наибольшие изолирующие свойства гелевые слои проявляют по отношению к веществам плохо растворимым в воде. По мере увеличения растворимости, изолирующие свойства геля уменьшаются. Для увеличения изолирующих свойств гелевых слоёв необходимо: увеличить их толщину, ввести в состав вещества понижающие растворимость и увеличивающие вязкость, увеличить содержание твёрдой фазы в составе геля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи. Довідник / За загальною редакцією Назарова О.О., Кулешова М.М. – Х.: АЦЗУ, 2006. – 376 с.
2. Аварії на радіаційно, хімічно та біологічно небезпечних об'єктах. Довідник / Грек А.М., Сакун О.В., Григорєв О.М. та ін. – Х.: ФВП НТУ «ХП», 2012. – 172 с.
3. Довідник рятувальника. / За загальною редакцією В.І. Балогі. – Львів: СПОЛОМ, 2012. – 712 с.
4. Бочаров В.В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». Галогенорганика с наилучшим сценарием развития для обитателей земли / В.В. Бочаров, М.В. Раевская // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – №10. – С. 75-82.
5. Безродный И.Ф. Экология пожаротушения – пока это только слова / И.Ф. Безродный // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22 – № 6. – С. 85-90.
6. Ivanković T. Surfactants in the environment / T. Ivanković, J. Hrenović // Arh. Hig. Rad. Toksikol. – 2010 – Vol. 61 – № 1. – P. 95-110.
7. Olkowska E. Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges / E. Olkowska, Ż. Polkowska, J. Namieśnik // Chem. Rev. – 2011. – Vol. 111 – № 9. – P. 5667-5700.
8. Пат. 2264242 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 62 С 5/033. Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П.Ф., Росоха В.Е.,

Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В.; заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины. – №2003237256/12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32.

9. Дадашов И.Ф. Выбор лёгкого силикатного носителя для гелевого огнетушащего слоя при пожаротушении / И.Ф. Дадашов, А.А. Киреев, Л.А. Михеенко // *Керамика: наука и жизнь*. – 2016. – № 2. – С. 44-51.

10. Кіреєв О.О. Вогнезахисті властивості силікатних гелеутворюючих систем / О.О. Кіреєв // *Науковий вісник будівництва*. – 2006. – Вип. 37. – С. 188-192.

11. Дадашов И.Ф. Моделирование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам горючих жидкостей / И.Ф. Дадашов, А.А. Киреев, А.Я Шаршанов, А.А. Чернуха // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2016. – Вып. 40. – С.78-83.

12. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии / Д.А. Фридрихсберг. – Л.: Химия, 1974. – 352 с.

*Получено редколлегией 13.03.2017*

І.Ф. Дадашов

**Експериментальне дослідження ізолювальних властивостей гелеподібного шару по відношенню до парів органічних токсичних рідин**

Проведено експериментальне дослідження ізолюючих властивостей гелеподібних шарів по відношенню до парів органічних токсичних рідин. Показано, що гелеподібний шар системи  $\text{CaCl}_2$  (10%) +  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$  (10%) товщиною (1,3-1,4) мм забезпечує уповільнення випаровування летючих рідин. Швидкість випаровування зменшується в 28-33 рази для нерозчинних у воді рідин і 2-3 рази для добре розчинних. Запропоновано гелеподібні шари використовувати при локалізації надзвичайних ситуацій з розливом токсичних і легкозаймистих рідин.

**Ключові слова:** надзвичайні ситуації, локалізація, гелеутворюючі системи, гелеподібні шари, ізолюючі властивості, пари токсичних і легкозаймистих рідин.

I.F. Dadashov

**Experimental investigation of the insulating properties of the gel layer on the relation to the steam of organic toxic liquids**

An experimental investigation of the insulating properties of gel-like layers with respect to vapors of organic toxic liquids has been carried out. It is shown that the gel-like layer of the system  $\text{CaCl}_2$  (10%) +  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$  (10%) thick (1.3-1.4) mm ensures the slowing down of evaporation of volatile liquids. The evaporation rate decreases by 28-33 times for water-insoluble liquids and 2-3 times for highly soluble. Gel-like layers are suggested to be used in the localization of emergencies with spills of toxic and flammable liquids.

**Key words:** emergency situations, localization, gelling systems, gel-like layers, insulating properties, vapors of toxic and flammable liquids.

*А.В. Елизаров, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ГОРЯЩЕМ ПОМЕЩЕНИИ**

(представлено д.н. А. Мизерски)

В статье представлен метод расчёта изменения концентрации токсичных газов в горящем помещении в начальной стадии развития пожара. Данная способ позволяет оценить опасность нахождения спасателей в здании и состояние пострадавших к моменту прибытия подразделений.

**Ключевые слова:** газовая фаза, продукты горения, концентрация токсичных веществ, безопасность людей на пожарах, анализ тушения пожара.

**Постановка проблемы.** В продуктах горения, выделяющихся на пожарах, содержится от 50 до 100 видов химических соединений, которые могут оказывать токсическое воздействие на человека.

Продукты сгорания, выделяемые при пожарах, можно разделить на три основные группы: твёрдые частицы; нерастворимые газы; газы, растворимые в воде.

Таким образом, одной из проблем при выполнении оперативных действий при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является определение времени нарастания концентрации токсичных газов в объёме помещения на определённой высоте.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В доступных источниках большое внимание уделяется изучению среды, где возникают чрезвычайные ситуации, безопасности работы спасателей. В [1] полученные соотношения позволяют без использования сложного программного обеспечения, на основании конечных формул оценивать концентрацию продуктов горения в помещении во время пожара, что является важным при разработке рациональной тактики действий при ликвидации пожаров, а также для разработки оперативных документов на объекты. В [2, 4] предложен способ определения концентраций опасных факторов дыма для «горячей» и «холодной» зоны. Недостатком исследований является то, что не определялась концентрация токсичных газов в объёме помещения на определённой высоте для оценки состояние людей в горящем помещении к моменту прибытия подразделений оперативно-спасательной службы.

**Постановка задачи и ее решение.** Цель работы – определение концентрации токсичных газов в объёме помещения на определённой высоте для оценки состояние людей в горящем помещении к моменту прибытия подразделений оперативно-спасательной службы.

Основными опасными факторами пожара, приводящими к гибели людей, являются:

- открытый огонь;
- повышенная температура воздуха;
- токсичные продукты горения;
- понижение концентрации кислорода;
- обрушение повреждённых зданий и сооружений;
- взрывы веществ и материалов;
- комбинированное воздействие различных факторов.

При пожарах в зданиях гибель людей из-за обрушения конструкций происходит редко, так как условия, представляющие опасность для жизни человека на пожаре, появляются намного раньше, чем наступает предел огнестойкости строительных конструкций. Контакт человека с открытым пламенем даже при очень кратком промежутке времени приводит к гибели. Однако таких случаев на пожарах очень мало. По данным американского учёного Кауфмана, человек может выдержать температуру 90–120 °С в течение нескольких минут. Автор работы [3] утверждает, что для физически здоровых людей в повседневной одежде допустимым пределом является период 10 минут при температуре 80–100 °С, а температура 49–54 °С является высшим пределом температур, которым могут подвергаться пожарные в специальной одежде и снаряжении. Последствием воздействия высоких температур на организм человека являются термические травмы различной степени тяжести.

Во время пожара в здании наибольшую опасность представляют токсичные газы – такие как окись углерода, двуокись углерода, хлористый водород, цианистый водород, альдегиды и акролеин, – а также сопутствующий недостаток кислорода.

Окись углерода (СО) – продукт неполного горения. Опасность этого газа заключается в том, что он в 250 раз прочнее соединяется с гемоглобином крови, чем кислород, образуя при этом карбоксигемоглобин. Гемоглобин крови не может легко освободиться от окиси углерода в отличие от молекул кислорода. Если человек продолжает вдыхать воздух, насыщенный этим газом, то молекулы окиси углерода связываются с оставшимися молекулами гемоглобина. Образовавшийся карбоксигемоглобин не способен переносить кислород к органам и тканям организма, в результате чего наступает кислородное голодание. Нарушаются функции мозга, сердца, координация и появляются судороги, в дальнейшем наступает остановка дыхания (табл. 1).

Опасной для человека считается степень насыщения окисью углерода 50 % гемоглобина крови, при ней наблюдается потеря сознания, и самостоятельная эвакуация человека из горящего помещения становится невозможной.

**Табл. 1. Воздействие окиси углерода на человека в зависимости от концентрации и продолжительности действия**

Концентрация CO, %	Продолжительность воздействия, мин	Содержание карбоксигемоглобина в крови, %	Эффект
0,005	480	10	Нет эффекта
0,01	480	20	Слабый эффект
0,02	120	60-70	Летальный исход
0,08	60-120		
0,10	60	40	Сильное отравление
0,16	30	60-70	Летальный исход
0,50	20		
1,0	10	80	

В условиях пожара нарастает недостаток кислорода в горящем помещении. Нахождение человека в среде с низкой концентрацией кислорода приводит к недостаточному снабжению кислородом головного мозга, его повреждению.

**Табл. 2. Влияние понижения концентрации кислорода в воздухе на человека**

Концентрация кислорода, %	Реакция организма на гипоксию
17	Ухудшение двигательной функции, нарушение координации, внимания, мышления
15	Затруднение дыхания, головокружение и головная боль, потеря мускульного контроля
12	Учащение пульса и числа вдохов, утомляемость, бессилие, необратимые процессы в мозге
10	Рвота, паралич движения, состояние опьянения
6	Нарушение сознания, повреждение центральной нервной системы, судороги, потеря сознания

Для определения времени нарастания концентрации токсичных газов в объёме помещения на определённой высоте необходимо произвести следующие расчёты:

1. Площадь пожара в характерные моменты времени в горящем здании.
2. Поверхность теплообмена в помещении, где происходит горение

$$S_{\text{то}} = S_{\text{пол}} + S_{\text{пер}} + S_{\text{стр}} + S_{\text{п}}, \quad (1)$$

где  $S_{\text{пол}}$ ,  $S_{\text{пер}}$ ,  $S_{\text{стр}}$ , соответственно, площадь пола, перекрытия и стен помещения, а  $S_{\text{п}}$  – площадь пожара в помещении,  $\text{м}^2$ .

3. Масса сгоревшей пожарной нагрузки на определённый момент времени развития пожара

$$M_{cm} = S_{п} \cdot \mathcal{G}_m \cdot \tau_{п}, \quad (2)$$

где  $\mathcal{G}_m$  – массовая скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/м<sup>2</sup>·ч;  $\tau_{п}$  – время от момента возникновения пожара до определённого момента времени его развития.

4. Параметр  $\Phi$ , характеризующий теплообмен в горящем помещении

$$\Phi = \frac{\eta \cdot M_{cm} \cdot Q_n^p}{C_{рн} \cdot T_n \cdot \rho_n \cdot W_{пом}}, \quad (3)$$

где  $\eta$  – коэффициент полноты сгорания пожарной нагрузки, равный 0,95-0,97;  $Q_n^p$  – низшая теплота сгорания пожарной нагрузки, кДж/кг;  $C_{рн}$  – теплоёмкость воздуха в помещении до пожара, кДж/кг;  $T_n$  – начальная температура воздуха в помещении до пожара, °К;  $\rho_n$  – начальная плотность воздуха в помещении до пожара, кг/м<sup>3</sup>;  $W_{пом}$  – объём помещения, в котором происходит горение, м<sup>3</sup>.

5. Удельная теплоёмкость тепловыделения в горящем помещении

$$Q_{уд}^{тв} = \frac{\eta \cdot M_{cm} \cdot Q_n^p}{S_{то} \cdot \tau_{п} \cdot 60}, \quad (4)$$

где  $Q_{уд}^{тв}$  – удельная теплоёмкость тепло - выделения в горящем помещении, кВт/м<sup>2</sup>;  $\tau_{п}$  – продолжительность пожара с момента его возникновения до определённого времени развития, мин.

6. Среднеобъёмная концентрация наиболее токсичного газа в горящем помещении на определённый момент времени

$$C_{т} = C_n + \frac{M_{co} \cdot M_{cm} \cdot \beta}{10^3 \cdot \rho_n \cdot W_{пом}}, \quad (5)$$

где  $C_n$  – начальная концентрация токсичного газа СО в помещении до пожара, г/м<sup>3</sup>;  $M_{co}$  – количество СО, выделяемое при горении в помещении, равное 0,015;  $\beta$  – коэффициент, который определяется по графику в зависимости от величины  $\Phi$  (рис. 1).

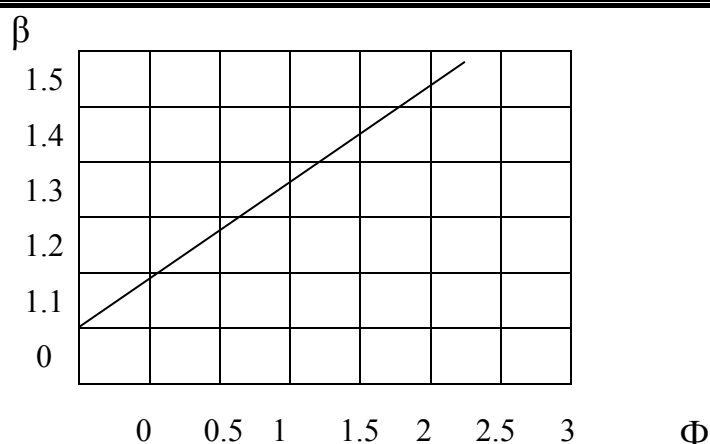


Рис. 1. Зависимость коэффициента  $\beta$  от величины  $\Phi$

7. Концентрация токсичного газа СО на уровне рабочей зоны спасателя, где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, которые определяются по формулам

$$C_y = C_T + \frac{1 + ab}{1 + ae^{-y(2-y)}}, \quad (6)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, которые определяются по формулам

$$a = \frac{18,76}{H_{\text{пом}}} \ln(Q_{\text{уд}}^{\text{ТВ}} + 1), \quad (7)$$

где  $H_{\text{пом}}$  – высота помещения, в котором происходит горение, м

$$b = \frac{H_{\text{пом}}}{2,16 Q_{\text{уд}}^{\text{ТВ}} + 17,27}. \quad (8)$$

8. Значение безразмерного параметра  $y$  определяется по формуле

$$y = \frac{H_{\text{рз}}}{1 + ae^{-y(2-y)}}, \quad (9)$$

где  $H_{\text{рз}}$  – высота рабочей зоны, равная 1,5-1,8 м.

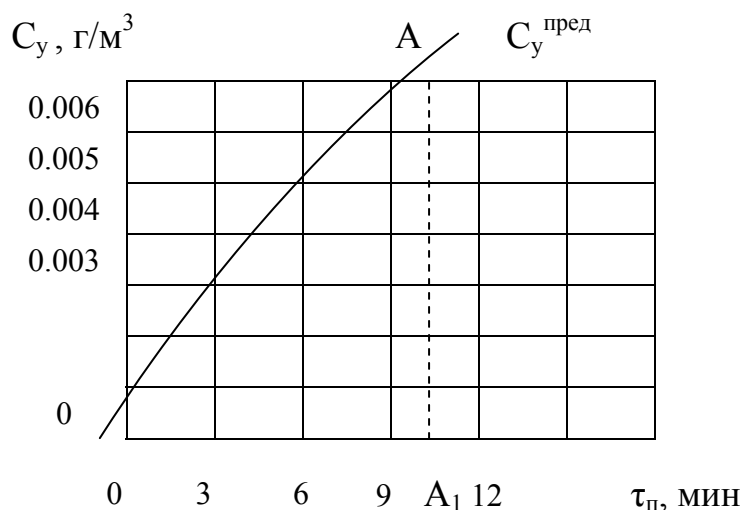
9. Средняя температура в горящем помещении определяется по формуле

$$T_{\text{ср}} = T_n \frac{1 + ab}{1 + ae^{-y(2-y)}}, \quad (10)$$

Так как опасность токсичных газов при возникновении пожара резко возрастает в течение первых 10 минут его развития, все расчёты необходимо проводить за этот промежуток времени. Целесообразно про-



вести расчёты по двум или трём токсичным газам, которые могут выделяться в горящем помещении. По результатам этих расчётов необходимо построить графики изменения концентрации токсичного газа в горящем помещении в начальной стадии развития пожара (рис. 2).



**Рис. 2.** Изменение концентрации окиси углерода (CO) в горящем помещении: A-A<sub>1</sub> – момент наступления смертельной концентрации окиси углерода в горящем помещении; C<sub>y</sub><sup>пред</sup> – предельная концентрация токсичного газа на уровне рабочей зоны спасателя

Из графика можно определить момент наступления опасной концентрации токсичного газа, когда надо обязательно защищать органы дыхания спасателей при тушении пожара в данном помещении.

Для определения темпа нарастания концентрации токсичного газа во времени необходимо провести не менее трёх расчётов по определению величины C<sub>y</sub>.

**Выводы.** Приведённый в статье метод определения концентрации токсичных газов во времени является одним из этапов анализа тушения пожара и даёт возможность оценить состояние людей в горящем помещении к моменту прибытия подразделений ГСЧС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Елизаров А.В. Учет химического состава горючего вещества при расчете распространения продуктов горения при пожаре в помещении [Электронный ресурс] / А.В. Елизаров // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 38. – Харьков: НУГЗУ. – 2015. – С. 69-72. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol38/Elizarov.pdf>.

2. Елизаров А.В. Оперативный способ определения степени опасности дыма и токсичных продуктов горения для жизни людей при пожаре в помещении большого объема [Текст] / А.В. Елизаров // Проблемы

пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 3. – Харьков: ХИПБ. – 1998. – С. 65-68.

3. Кузнецов Е.И. Определение границ переносимости тепловых нагрузок у человека / Е.И. Кузнецов // Космическая биология и авиакосмическая медицина. – 1968. – № 4. – С. 11-17.

4. Елизаров А.В. Оперативное определение основных характеристик образования и распространения дыма при пожаре в помещении: дис. канд. техн. наук: 21.06.02 / Елизаров Александр Викторович. – Х., 2001. – 129 с.

*Получено редколлегией 10.03.2017*

О.В. Єлізаров

**Метод визначення концентрацій токсичних речовин в палаючому приміщенні**

У статті представлений метод розрахунку зміни концентрації токсичних газів у палаючому приміщенні в початковій стадії розвитку пожежі. Дана методика дозволяє оцінити небезпеку знаходження рятувальників в будівлі і стан людей до моменту прибуття підрозділів.

**Ключові слова:** концентрація токсичних речовин, безпеку людей на пожежах, аналіз гасіння пожежі.

A.V. Elizarov

**Method for the determination of concentrations of toxic substances in the burning pomesheniya**

The article presents the method of calculation changes the concentration of toxic gases in the burning room in the early stages of fire development. This technique allows to assess the risk of a finding of rescuers in the building and the condition of the people by the time of arrival of units.

**Key words:** concentration of toxic substances, the safety of people in fires, analysis of fire extinguishing.

**УДК 681.3**

*О.В. Закора, к.т.н., доцент, ст. викладач, НУЦЗУ,  
Є.Є. Селесенко, викладач, НУЦЗУ,  
А.Б. Феценко, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **ІНФОРМАЦІЙНО-РОЗРАХУНКОВА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ У РАЙОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ**

(представлено д.філос. Б. Сцакал)

Обґрунтовано вимоги до практичної реалізації комп'ютерної розрахункової системи, яка дозволяє оперативно виявляти потенційно несумісні радіоелектронні засоби району надзвичайної ситуації та усувати завади сталому управлінню силами ліквідаторів.

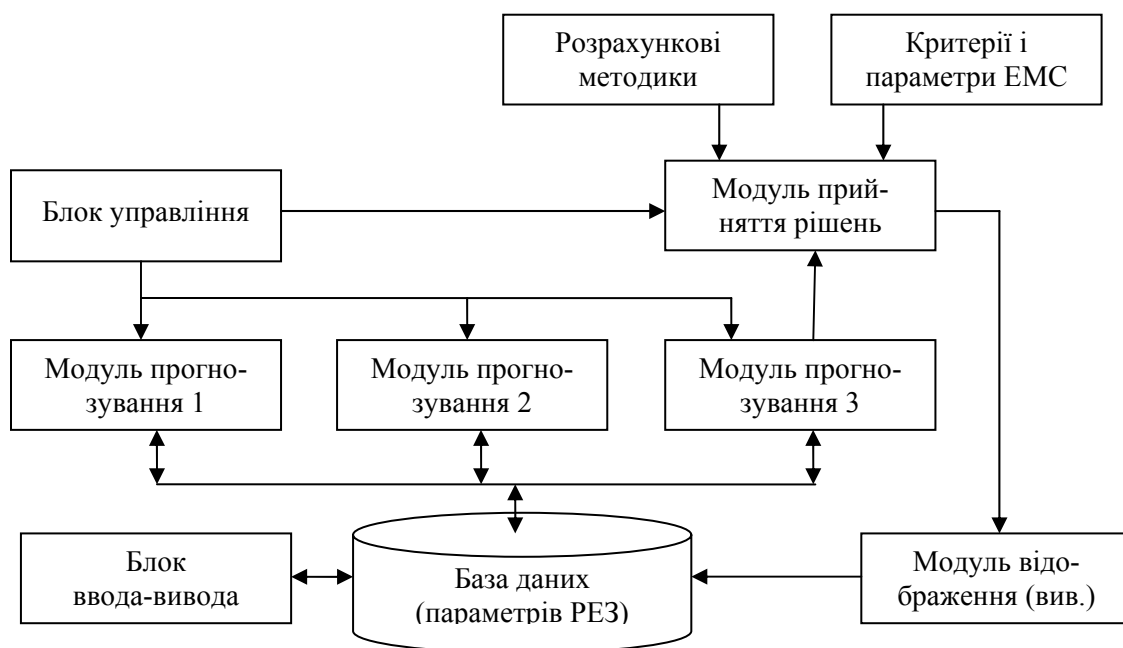
**Ключові слова:** електромагнітна сумісність, інформаційно-розрахункова система, несумісні радіоелектронні засоби.

**Постановка проблеми.** Сучасний бурхливий розвиток телекомунікаційних засобів, широке впровадження нових технологій передачі інформації та збільшення кількості радіовипромінюючих пристроїв призводить до проблем сумісного використання радіоелектронними засобами (РЕЗ) радіочастотного спектру. Особливо актуальною така проблема стає під час ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) у відповідному районі. Зосередження в одному районі великої кількості РЕЗ, що використовуються як системою управління ДСНС України, так і різноманітними користувачами радіочастотного ресурсу України, призведе до зростання загрози виникнення ненавмисних радіозавад, зривів передачі невідкладної інформації по радіоканалах зв'язку та управління, утруднень і навіть зривів управління підрозділами ліквідаторів.

Запобігання таких ситуацій має певні складності, оскільки ручні розрахунки рівнів завад та інших параметрів електромагнітної сумісності (ЕМС) є неефективними через велику складність і об'єми. Автоматизація цього процесу може дозволити збільшити ефективність виявлення потенційно несумісних РЕЗ, заходів щодо частотного та територіального рознесення РЕЗ, підвищити ефективності інформаційного забезпечення радіочастотного моніторингу у ДСНС України. Рішення даної проблеми вимагає комплексного підходу до питання оцінки стану і забезпечення ЕМС РЕЗ, зосереджених у районі ліквідації НС. Метою розробки інформаційно-розрахункової системи (ІРС) забезпечення ЕМС "Сумісність РЕЗ" є дослідження можливості прогнозування та усунення причин порушення стану ЕМС засобів радіозв'язку району НС, приведення РЕЗ у стан ЕМС шляхом підбору обладнання, параметрів експлуатації та режимів використання РЕЗ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [1] здійснено загально теоретичний аналіз методів забезпечення ЕМС РЕЗ, способів контролю ефективності відповідної системи. У роботі [2] обґрунтовано вплив якості математичного забезпечення на ефективність функціонування системи експлуатації. В роботі [3] досліджено склад та структуру система прогнозування стану ЕМС у районі ліквідації НС. У роботі [4] проведено дослідження доцільних математичного методів та розрахункових методик забезпечення задачі пошуку та виявлення потенційно несумісних РЕЗ району НС.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для прийняття обґрунтованих рішень щодо причини порушення стану ЕМС, вибору ефективних шляхів їх усунення необхідно проводити велику кількість розрахунків, враховувати низку умов виникнення тих або інших радіоавад. Метою створення ІРС є підвищення ефективності інформаційного забезпечення органів радіочастотного моніторингу ДСНС України, а також експериментальна оцінка можливості та ефективності практичної реалізації такої системи. При розробці ІРС "Сумісність РЕЗ" авторами враховано основні процедури, необхідні для аналізу та забезпечення ЕМС РЕЗ району НС, здійснено вибір основних елементів системи розрахункової системи, як то (рис. 1):



**Рис. 1. Структура ІРС "Сумісність РЕЗ"**

- бази даних параметрів РЕЗ, що належать підрозділам, та параметрів інших РЕЗ, що функціонують у відповідному регіоні;

- модулі прогнозування можливих комбінацій негативного взаємодії джерел і приймачів (рецепторів) перешкод, та прогнозування ситуацій проникнення перешкод у приймальний тракт потенційного рецептора;

- модулі прогнозування ситуацій виникнення перешкод від потенційних джерел внаслідок явищ інтермодуляції, блокування і перехресних спотворень та оцінки ступеня подавлення рецептора і наслідків перешкодового впливу (прийняття рішень).

ІРС "Сумісність РЕЗ" дозволяє:

- задавати параметри угруповання РЕЗ з відображенням основних характеристик на плані місцевості та панорамі частот (рис. 2);

- проводити розрахунок умов EMC району НС в автоматичному та напівавтоматичному режимі;

- проводити візуальний аналіз особливостей місцевості і локального угруповання у районі ліквідації НС (рис. 3);

- проводити візуальний аналіз особливостей рельєфу траси розповсюдження радіохвиль (РРХ) між РЕЗ району НС;

- здійснювати частотне або територіальне рознесення виявлених несумісних РЕЗ у ручному режимі;

- переглядати та корегувати параметри РЕЗ угруповання.

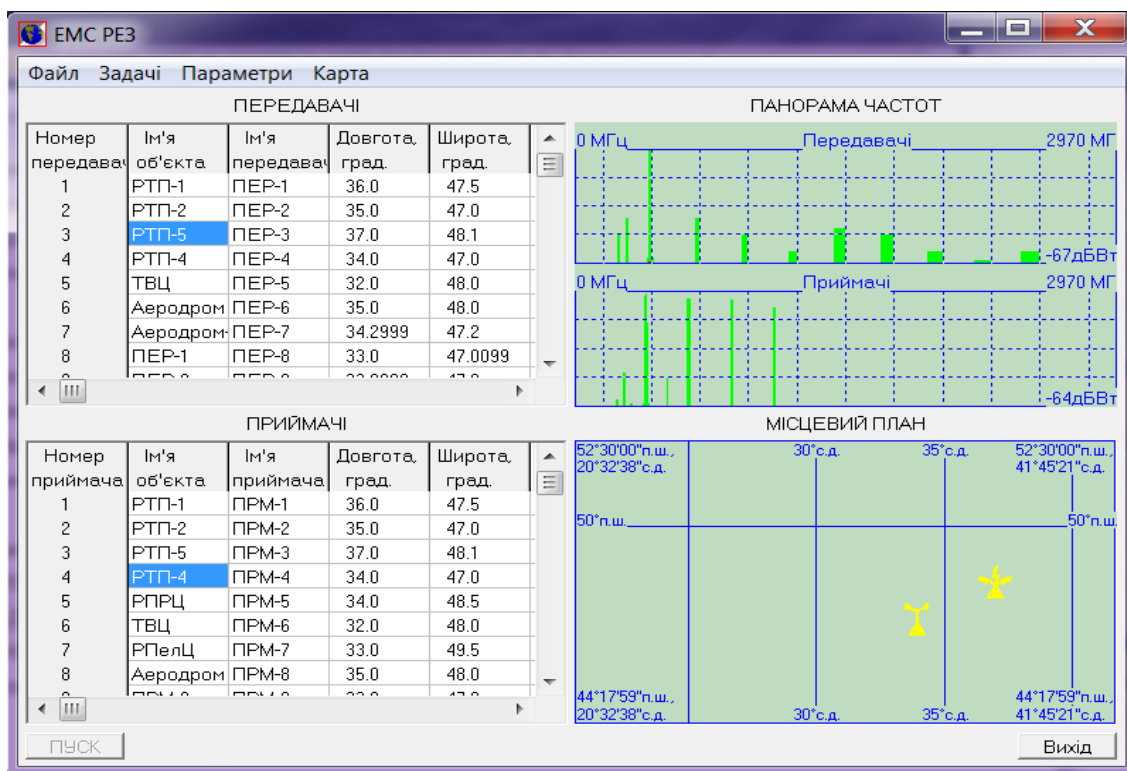


Рис. 2. Головне робоче вікно ІРС "Сумісність РЕЗ"

Такі операції звичайно дають можливість вирішити задачу пошуку потенційно несумісних РЕЗ та приведення угруповання РЕЗ району НС у стан електромагнітної сумісності.

ІРС враховує низку рекомендацій Міжнародного союзу електров'язку, методики розрахунку втрат РРХ у вільному просторі та у зоні тропосферного розповсюдження. Математичною основою розрахунку

параметрів завад є система рівнянь, яку складено на основі фізичних і математичних закономірностей функціонування РЕЗ та утворення заводових сигналів. Оцінка ЕМС здійснюється за енергетичним, часовим і частотним критеріями сумісності РЕЗ. Основу розрахункового алгоритму складають розрахунки рівнів потужності заводових сигналів на вході приймальних пристроїв і відношення „сигнал/завада” з урахуванням низки параметрів РЕЗ та тракту РРХ, які впливають на формування завади.

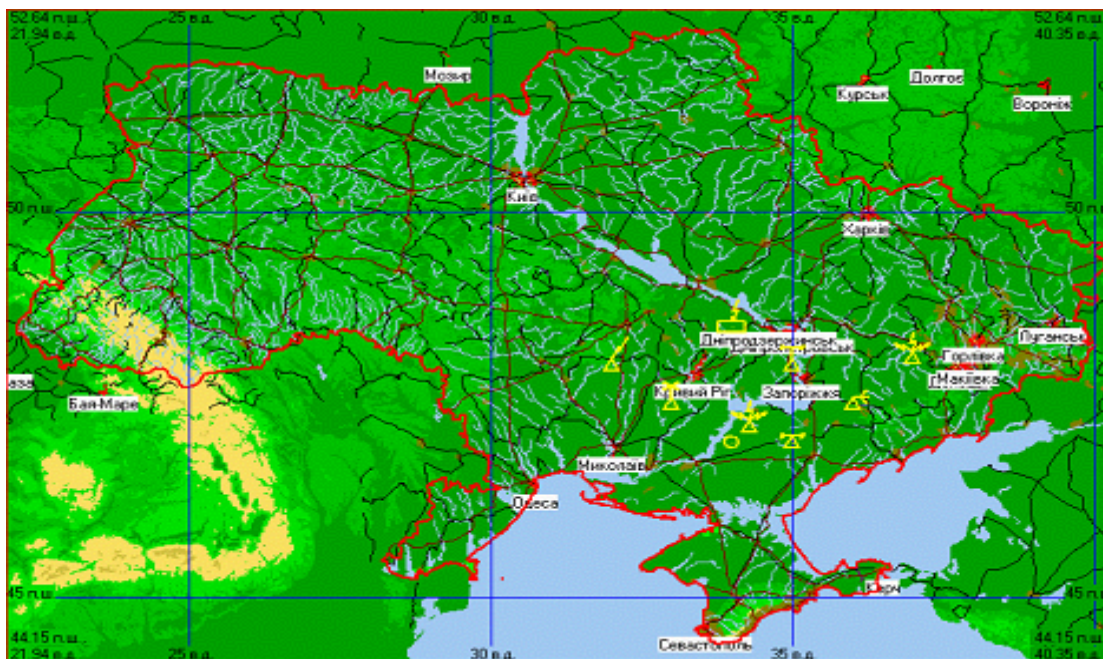


Рис. 3. Відображення угруповання РЕЗ району НС на карті місцевості

Особливістю електромагнітної обстановки району ліквідації надзвичайних ситуацій є можливість одночасного використання різноманітних РЕЗ різнорідними користувачами. При цьому локальна завантаженість окремих ділянок електромагнітного спектру може в рази перебільшувати завантаженість у звичайному режимі, що збільшує ймовірність виникнення перешкод у наслідок інтермодуляційних явищ та позасмугових випромінювань передавачів. Для врахування цих факторів у програмний алгоритм введено коефіцієнт частотної вибірковості приймача, який визначає частину потужності сигналу перешкоди у смузі пропускання приймача

$$K_{\text{чв}}(\Delta f) = 10 \cdot \log \frac{\int_0^{\infty} P(f) df}{\int_0^{\infty} P(f) \cdot |H(f + \Delta f)|^2 df}, \text{ dB}, \quad (1)$$

де  $P(f)$  – спектральна маска передавача;  $H(f)$  – частотна характеристика приймача;  $\Delta f$  – частотне розстроювання передавача та приймача.

Використання в ІРС електронних карт місцевості дозволяє проводити розрахунки параметрів ЕМС з урахуванням особливостей траси РРХ та місцевого рельєфу.

В випадку виявлення несумісних РЕЗ програма формує звіт, який дозволяє аналізувати причини порушення ЕМС району НС і виробляти пропозиції щодо їх усунення.

Для якісного складання прогнозів ЕМС повинна бути заздалегідь сформована база даних параметрів РЕЗ району надзвичайної ситуації, визначені критерії порушення стану ЕМС.

Як показали дослідження, час на проведення ІРС аналізу стану ЕМС РЕЗ району НС у дуельній ситуації не перевищує кількох мілісекунд, що дозволяє приймати необхідні рішення у реальному масштабі часу.

ІРС "Сумісність РЕЗ" розроблено в середовищі програмування "C++Builder". Для забезпечення її функціонування потрібна ПЕОМ типу ІВМ РС на основі процесору Pentium III з тактовою частотою від 1,5 ГГц, об'ємом ОЗУ – від 300 Мбайт; об'єм вільного простору на вінчестері - не менш 100 Мбайт (залежить від розміру бази даних РЕЗ), монітор SVGA з мінімальним розділенням – 800×600, маніпулятор „миша”.

**Висновки.** Приведення угруповання РЕЗ району НС у стан електромагнітної сумісності вимагає оперативного виявлення потенційно несумісних РЕЗ і визначення причин порушення умов їх експлуатації. ІРС "Сумісність РЕЗ" дає можливість виявити потенційно несумісні набори параметрів функціонування і взаємного розташування РЕЗ району НС, змодельовати зміну стану ЕМС на випадок зміни вихідних параметрів. Наявність такої інформації дозволяє вчасно прийняти рішення по приведенню угруповання РЕЗ району НС у стан електромагнітної сумісності, забезпечити стійке управління силами ліквідаторів.

Представляє інтерес розробка алгоритмів автоматичного пошуку шляхів усунення причин порушення стану ЕМС району НС та виробки відповідних рекомендацій користувачу системи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Феоклистов Ю.А. Теория и методы электромагнитной совместимости радиоэлектронных систем [Электронный ресурс]. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/993313>.

2. Абрамов Ю.А. Математическое обеспечение автономного метода объектовых испытаний тепловых пожарных извещателей [Электронный ресурс] / Ю.А. Абрамов, Я.Ю. Кальченко // Проблемы пожарной безопасности: сборник научных трудов. – Вып. 38. – Х.: НУГЗУ, 2015. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol38/AbramovKalchenko.pdf>.

3. Система прогнозирования состояния ЭМС РЭС в районе ликвидации чрезвычайной ситуации / Борисова Л.В., Загора О.В., Селеєн-

---

ко Є.Є., Фещенко А.Б. // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: міжнар. наук-практ. конф.: тези допов. – Х.: НУЦЗУ, 2014. – С. 84.

4. ЕМС засобів зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій / Загора О.В., Фещенко А.Б., Селеєнко Є.Є., Хрістич В.В. // Підсумковий звіт про НДР "Розробка алгоритмів та програмного забезпечення розрахунку умов ЕМС засобів радіозв'язку в умовах НС". – Х.: НУЦЗУ, 2015. – 112 с.

*Отримано редколегією 02.03.2017*

А.В. Загора, Е.Е. Селеєнко, А.Б. Фещенко

**Информационно-расчетная система обеспечения электромагнитной совместимости в районе чрезвычайной ситуации**

Обоснованы требования по практической реализации компьютерной расчетной системы, которая позволяет оперативно выявлять потенциально несовместимые радиоэлектронные средства района чрезвычайной ситуации и устранять помехи устойчивому управлению силами ликвидаторов.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, информационно-расчетная система, несовместимые радиоэлектронные средства.

O.V. Zakora, Y.Y. Seleenko, A.B. Feshchenko

**Information and settlement system to ensure electromagnetic compatibility in the area of emergency**

The requirements for the practical implementation of a computerized settlement system are substantiated, which allows to quickly identify potentially incompatible radioelectronic facilities in the emergency area and to remove interference to the sustainable management of the forces of the liquidators.

**Keywords:** electromagnetic compatibility, information system design, incompatible electronic means.



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

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ  
СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО  
ПОИСКА ПОСТРАДАВШИХ**  
(представлено д.т.н. Туркиным И.Б.)

Показано, что для решения задачи поиска и обнаружения людей в задымленных и горящих помещениях целесообразно использование дистанционных методов: радиолокационного зондирования с применением простых и сложных сигналов. Обоснована необходимость минимизации уровня шумов в спектре излучаемого сигнала. Проведены исследования спектров гармонических сигналов с целью определения оптимальных параметров программных синтезаторов сигналов, обеспечивающих уменьшение уровня искажений синтезируемых колебаний.

**Ключевые слова:** радиолокационное зондирование, гармонические сигналы, минимизация уровня шумов.

**Постановка проблемы.** Проблема эффективного поиска и обнаружения людей в задымленных и горящих помещениях, несмотря на оснащенность спасателей ГСЧС современными техническими средствами поиска, остается достаточно актуальной и в настоящее время. В задачу аварийно-спасательных подразделений входит детальное обследование всех помещений горящего сооружения для обнаружения и своевременного оказания помощи пострадавшим. Вместе с тем, наличие агрессивной среды – дыма и огня – существенно осложняет поиск: спасатели вынуждены передвигаться в условиях нулевой видимости; велика вероятность обрушения горящих конструкций здания; используемая поисковая аппаратура (тепловизоры, приборы ночного видения, инфракрасные камеры, виброфоны, ультразвуковые локаторы) имеет высокий уровень ложных тревог [1]. Таким образом, применение традиционных способов поиска пострадавших на пожаре малоэффективно и представляет существенную опасность для жизни и здоровья самих спасателей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Одним из перспективных направлений развития способов поиска и обнаружения людей в задымленных и горящих помещениях является применение дистанционных поисковых систем (ПС), базирующихся на применении малогабаритных радиолокационных станций (РЛС) [2, 3].

Важнейшей особенностью конструкции ПС для применения личным составом аварийно – спасательных сил является их компактность и малый вес. Поэтому наибольший интерес представляют ПС, реализующие

щие цифроаналоговый метод формирования сигналов. Причем, цифровая часть формирователей сигналов таких ПС должна быть реализована на основе устройств с гибкой логикой [2]. Применение различных видов простых и сложных сигналов обеспечивает необходимую вероятность правильного обнаружения и высокую разрешающую способность ПС (до единиц сантиметров) [2, 3, 4].

Вместе с тем, решение задачи поиска людей в задымленных и горящих помещениях имеет свою специфику: объекты малоподвижны, мало-размерны и обладают малой отражающей способностью, что обуславливает малую мощность отраженного (принимаемого) сигнала. Кроме того, неравномерность и неоднородность среды, окружающей объекты поиска, определяют высокий уровень искажений отраженного сигнала, что ухудшает эффективность применения радиолокационных методов при решении задачи обнаружения пострадавших на пожаре [2, 4]. Одним из способов уменьшения искажений отраженного сигнала является минимизация до допустимых значений уровня искажений в спектре излучаемого сигнала.

**Постановка задачи и её решение.** Необходимость использования в ПС, решающих задачу поиска и обнаружения людей в задымленных и горящих помещениях, простых (гармонических) сигналов, обуславливает ужесточение требований к уровню искажений синтезируемых колебаний [2]. Поэтому, ниже рассмотрим условия выбора оптимальных параметров программных синтезаторов для ПС, обеспечивающих минимальный уровень искажений в спектре синтезируемых гармонических сигналов.

Исследования проведем на основе анализа спектров сигналов, полученных в результате математического моделирования. В результате работы программного вычислителя кодов фаз формируются коды мгновенных значений фазы цифрового сигнала  $K_{\phi}(i)$

$$K_{\phi}(i) = K_{\phi}(i-1) + K_{\text{фн}}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{фн}}$  – код несущей частоты.

В соответствии с функциями синуса либо косинуса, при помощи тригонометрического преобразователя рассчитываются коды мгновенных значений напряжения  $K_u(i)$ . Моделирование квантованного сигнала осуществляется на основе соотношения

$$U(i) = K_u(i) / (2^{r-f} - 1), \quad (2)$$

где  $r-f$  – разрядность вычислителя кодов фаз.

Для нахождения реальной и мнимой части спектральной плотности сигнала  $S(i)$  воспользуемся выражением

$$\text{Re}(S(i)) = \sum_{i=1}^N \left( U(i) \cos \frac{2\pi m f_{\text{н}} i}{f_{\text{т}}} \right); \quad \text{Im}(S(i)) = \sum_{i=1}^N \left( U(i) \sin \frac{2\pi m f_{\text{н}} i}{f_{\text{т}}} \right). \quad (3)$$

Спектральную плотность мощности  $G(i)$  определим как квадрат модуля спектральной плотности

$$G(i) = |S(i)|^2 = \text{Re}(S(i))^2 + \text{Im}(S(i))^2. \quad (4)$$

Тогда, превышение уровня сигнала над уровнем спектральных составляющих искажений определяется из выражения

$$D(i) = 10 \cdot \lg \frac{G(k)}{G(i)}, \quad (5)$$

где  $G(k)$  – мощность полезного сигнала,  $G(i)$  – мощность  $i$ -й спектральной составляющей искажений.

В результате моделирования были выделены две группы спектров. Детальный анализ спектров обеих групп показал следующее:

- уровень и характер искажений обусловлены влиянием фазовых ошибок, которые являются следствием процессов дискретизации сигнала во времени, а также квантования фазы и напряжения;

- определяющее влияние процесса дискретизации или процесса квантования на суммарный уровень искажений зависит от ( $R_{sp}$ ) – соотношения между параметрами сигнала и параметрами формирователя. В частности, отношением начальной частоты к величине интервала разрешения по частоте ( $\Delta_{sp}$ )

$$R_{sp} = \frac{f_H}{\Delta_{sp}}, \quad (6)$$

где  $\Delta_{sp} = \frac{f_T}{n_c}$  – величина интервала разрешения.

Таким образом, для минимизации влияния фазовых ошибок, обусловленных дискретизацией сигнала по времени, на общий (суммарный) уровень искажений необходимо выполнение следующего условия

$$R_{sp} \in N, \quad (7)$$

где  $N$  – множество целых чисел.

Выполнения условия (7) достигается за счет коррекции значений  $f_H$ ,  $f_T$  или  $n_c$ . В качестве примера, проведем коррекцию частоты  $f_H$  при неизменных значениях  $f_T$  и  $n_c$ . Тогда скорректированное значение начальной частоты ( $f_{H \text{ кор}}$ ) будет рассчитывается из следующего выражения

$$f_{H \text{ кор}} = f_T \cdot \frac{\text{round}\left[ f_H \cdot \frac{n_c}{f_T} \right]}{n_c}. \quad (8)$$

**Выводы.** Таким образом, в результате проведенных исследований определены условия, обеспечивающие минимальный уровень искажений в спектре гармонических сигналов, синтезируемых программными цифроаналоговыми формирователями дистанционных поисковых систем, которые решают задачу поиска и обнаружения людей в задымленных и горящих помещениях.

В рассматриваемом случае, коррекция начальной частоты привела к уменьшению уровня искажений, обусловленных дискретизацией сигнала по времени, до 50 дБ, что позволяет существенно увеличить вероятность правильного обнаружения людей пострадавших на пожаре.

Однако, на практике не всегда имеется возможность изменять значения начальной частоты, поэтому приведение соотношения между параметрами сигнала и параметрами формирователя к условию (8) требует дальнейшего исследования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов В.А. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера [Текст] / В.А. Акимов, Ю.Л. Воробьев, М.И. Фадеев и др. – М.: Высш. шк., 2006. – 592 с.

2. Теория и техника генерирования, излучения и приема радиолокационных сигналов [Текст] / Под ред. Ю.Н. Седышева. – ВИРТА, 1986. – 650 с.

3. Щербаков Г.Н. Обнаружение скрытых объектов – для гуманитарного разминирования, криминалистики, археологии, строительства и борьбы с терроризмом [Текст] / Г.Н. Щербаков. – М.: Арбат-Информ, 2004. – 224 с.

4. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст] / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М.: Мир, 1991. – 848 с.

*Получено редколлегией 24.02.2017*

О.В. Загора, Є.Є. Селеєнко, А.Б. Фещенко

**Результати дослідження гармонічних сигналів у системах дистанційного пошуку постраждалих**

Показано, що для розв'язання задачі пошуку і виявлення людей у задимлених і гарячих приміщеннях доцільно використання дистанційних методів: радіолокаційного зондування з застосуванням простих і складних сигналів. Обґрунтовано необхідність мінімізації рівня шумів у спектрі випромінюваного сигналу. Проведені дослідження спектрів гармонійних сигналів з метою визначення оптимальних параметрів програмних синтезаторів сигналів, що забезпечують зменшення рівня спотворень синтезованих коливань.

**Ключові слова:** радіолокаційне зондування, гармонійні сигнали, мінімізація рівня шумів.

A.V. Zakora, Y.Y. Seleenko, A.B. Feshchenko

**The results of the study of harmonic signals in the systems of remote search for victims**

It is shown that for solving the problem of finding and tracking people in a smoky and burning the premises of the appropriate use of remote sensing techniques: radar sensing using simple and complex signals. The necessity of minimizing noise in the spectrum of the emitted signal. Investigations of the spectra of harmonic signals to determine the optimal parameters of the software synths signals that minimize the distortion of the synthesized vibrations.

**Keywords:** radar probing, harmonic signals, minimizing noise level.

*Г.В. Іванець, к.т.т., доцент, НУЦЗУ,  
В.В. Тютюник, д.т.н., с.н.с., НУЦЗУ,  
В.Д. Калугін, д.х.м., професор, НУЦЗУ,  
Б.Б. Поспєлов, д.т.н., професор, н.с., НУЦЗУ,  
Ю.В. Захарченко, студентка, НУЦЗУ*

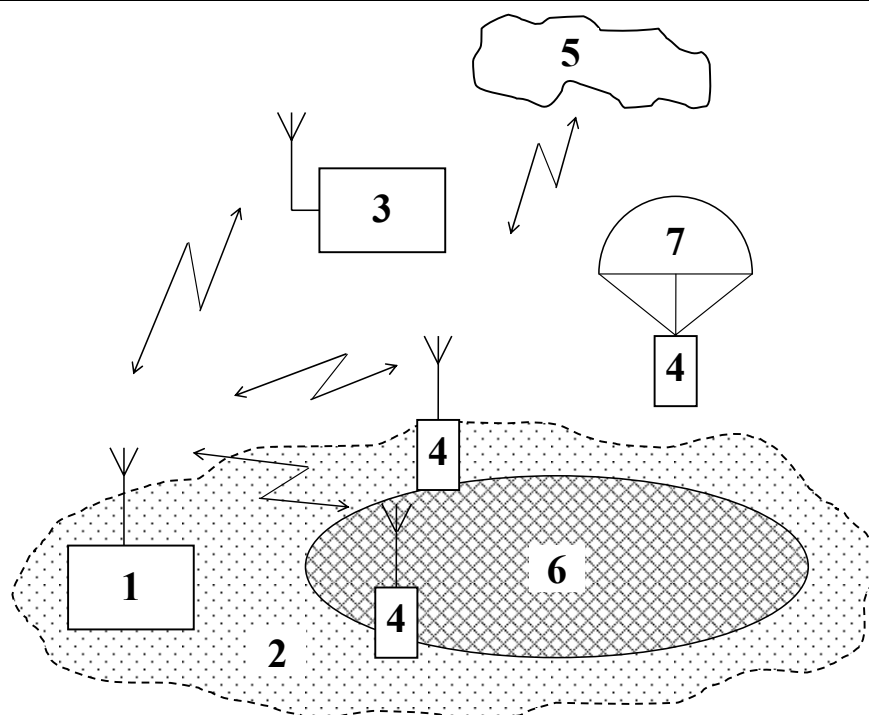
**АЛГОРИТМ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОКРИТТЯ  
ТЕРИТОРІЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ  
АВТОМАТИЗОВАНИМИ ПРИСТРОЯМИ КОНТРОЛЮ  
НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ПРИ ЇХ РОЗКИДАННІ З  
БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ В УМОВАХ  
НЕСТАБІЛЬНОСТЕЙ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА**

(представлено д.т.н. Чубом І.А.)

В статті запропоновано підхід щодо формування алгоритму оцінки ефективності покриття території надзвичайної ситуації за допомогою автоматизованих пристроїв контролю небезпечних факторів при їх розкиданні із безпілотного літального апарату в умовах впливу збурень повітряного середовища.

**Ключові слова:** територія надзвичайної ситуації, безпілотний літальний апарат, автоматизований пристрій контролю, ефективність покриття, нестабільність повітряного середовища.

**Постановка проблеми.** Одним із перспективних напрямів виявлення небезпечних чинників на етапі їх зародження та впливу на них з метою недопущення виникнення надзвичайних ситуацій (НС), а також контролю стану безпеки території при виникненні НС [1-4], є комплексне використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) і наземних засобів контролю чинників безпеки НС – рис. 1. В цьому випадку доставка наземних засобів контролю в зону НС здійснюється повітряними рухомими платформами [5-7]. Це дозволяє здійснювати безперервний та тривалий, в реальному масштабі часу, оперативний моніторинг за зоною НС за рахунок: а) сумісного об'єднання у систему моніторингу БПЛА та наземних пристроїв контролю факторів безпеки НС; б) оперативної доставки за допомогою БПЛА наземних мобільних пристроїв контролю у зону НС; в) створення в зоні НС та в її околиці тимчасової (на період ліквідації НС) контролюючої мережі з автоматизованих наземних мобільних пристроїв контролю; г) отримання й обробки інформації від наземних мобільних пристроїв контролю у диспетчерському пункті, який розміщується на наземній рухомій платформі (штабний автомобіль; пожежно-рятувальний автомобіль; автомобіль радіаційної, хімічної та біологічної розвідки; бронетранспортер; машина військової розвідки; тягач та інші).



**Рис. 1. Комплексна функціональна схема системи оперативного моніторингу за зміною меж зони НС, рівнем небезпеки в ній та прогнозування виникнення нових ризиків, з доставкою автоматизованих пристроїв контролю безпілотними літальними апаратами [5]: 1 – наземний рухомий центр моніторингу; 2 – територія, на якій виникла НС; 3 – БПЛА; 4 – наземні автоматизовані пристрої контролю небезпечних факторів НС; 5 – супутникові засоби GPS навігації; 6 – зона враження НС; 7 – парашути для спускання  $n$ -ї кількості пристроїв контролю**

Проблема цього дослідження полягає у підвищенні ефективності роботи представленої у [5] системи оперативного моніторингу, що неможливо без ретельного розрахунку впливу різних факторів на ефективність доставки, згідно запропонованій на рис. 1 загальній схемі функціонування системи, вимірювальних засобів у зону НС за допомогою БПЛА.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі корисні моделі використання БПЛА малого розміру для моніторингу територій пожеж, терористичних актів і техногенних катастроф, а також літаків для повітряного моніторингу стану довкілля [8, 9]. В цьому випадку при реалізації режиму безперервного одержання, в реальному масштабі часу, інформації про стан зони враження необхідне збільшення кількості літальних апаратів і засобів контролю, якими вони оснащені. Крім того, виникають труднощі при керуванні літальними апаратами в зонах поганої видимості (які виникають під впливом дій небезпечних факторів НС), у нічний час, у разі погіршення погодних умов, а також при необхідності проведення контролю небезпечних факторів НС біля поверхні Землі.

При використанні наземних мобільних засобів моніторингу зони НС [10, 11] неможливо охопити вимірюваннями потрібний обсяг точок контролю у зоні НС внаслідок їх недоступності для проведення вимірювання.

Більш ефективним способом оперативного контролю за зміною меж зони НС, рівня небезпеки в ній та прогнозування виникнення нових ризиків є об'єднане використання БПЛА та наземних пристроїв контролю факторів небезпеки НС, при якому доставка наземних пристроїв контролю в зону НС виконується повітряними рухомими платформами [5-7, 12]. В цьому випадку повнота моніторингу зони НС визначається ефективністю покриття території НС і створення в зоні НС та її околиці тимчасової мережі моніторингу з автоматизованих засобів контролю небезпечних факторів. Принцип оцінки ефективності покриття території НС автоматизованими засобами контролю небезпечних факторів, при умові їх доставки в зону небезпеки зависаючими на малій висоті, над точкою скидання БПЛА, і використанні способів поодинокого та касетного скидання вантажів запропоновано в роботі [12]. В ній розглядається випадок, коли розкидання автоматизованих засобів контролю небезпечних факторів здійснюється з БПЛА при умові, що він здатний зависати над розрахунковою точкою скидання на малій висоті, а відхилення від розрахункової точки скидання автоматизованих засобів контролю за рахунок впливу збурень факторів повітряного середовища не враховуються. Але в реальних умовах зміни метеорологічних умов та стану повітряного середовища суттєво впливають на точність попадання автоматизованих засобів контролю в розрахункові центри точок їх скидання.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою цієї роботи є розвиток уявлень щодо формування алгоритм оцінки ефективності покриття території НС автоматизованими пристроями контролю небезпечних факторів та створення в зоні і в околиці НС тимчасової мережі моніторингу з автоматизованих пристроїв контролю небезпечних факторів шляхом їх оперативної доставки за допомогою БПЛА з врахуванням дії збурених факторів повітряного середовища.

Основними причинами відхилення автоматизованих пристроїв контролю небезпечних факторів території НС при їх скиданні з БПЛА є: неточне визначення координат центру скидання; вплив метеорологічних факторів (вітер, зміна атмосферного тиску, вологість) і т.п. Зробимо допущення, що для моніторингу деякої території НС застосовуються автоматизовані пристрої контролю небезпечних факторів, які розкидаються з БПЛА. Кожний автоматизований пристрій, який доставлено у зону НС, контролює територію у вигляді круга з радіусом  $R_{\text{КОНТР}}$  [12]. Якщо кожну зону контролю апроксимувати вписаними квадратами зі стороною  $A_{\text{КОНТР}} = R_{\text{КОНТР}} \sqrt{2}$ , а територію НС – прямокутником зі сторонами  $A_{\text{НС}}$  і  $B_{\text{НС}}$  (рис. 2), тоді при скиданні автоматизованих пристроїв контролю небезпечних факторів в режимі зависання над центром точки скидання необхідна їх кількість для повного покриття всієї території НС [12] розраховується наступним чином

$$N = N_X N_Y = \frac{A_{НС} B_{НС}}{2R_{РОНТР}^2}, \quad (1)$$

де  $N_X = \frac{B_{НС}}{R_{РОНТР} \sqrt{2}}$  – необхідна кількість автоматизованих пристроїв контролю для покриття території НС за стовпцями (за координатою X);  
 $N_Y = \frac{A_{НС}}{R_{РОНТР} \sqrt{2}}$  – необхідна кількість автоматизованих пристроїв контролю для покриття території НС за рядками (за координатою Y).

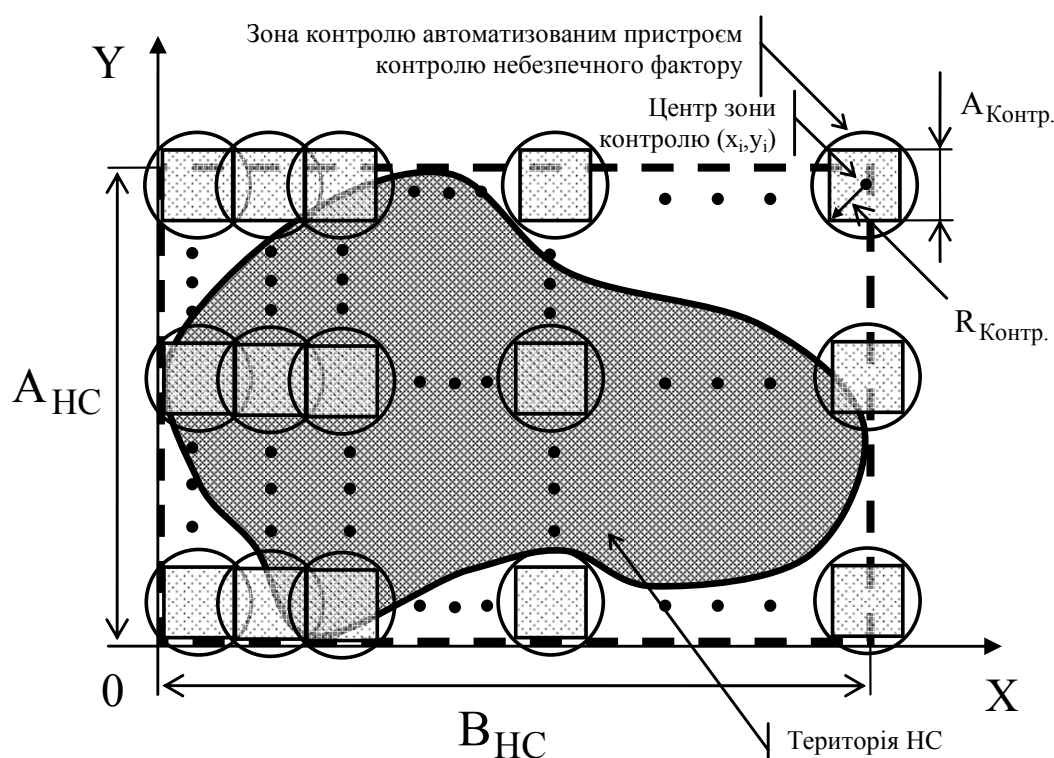


Рис. 2. Схема покриття території НС автоматизованими пристроями контролю небезпечних факторів при їх розкиданні з БПЛА

Якщо за допомогою БПЛА розкидано  $n$  пристроїв з врахуванням їх точного попадання в центр точки скидання, то ефективність покриття території дорівнює [12]

$$E_{КОНТР} = \frac{n}{N} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Оцінимо можливе зниження ефективності покриття території НС автоматизованими пристроями контролю при їх відхиленні від центрів точок скидання внаслідок збурюючих дестабілізуючих факторів повітряного середовища, які впливають на траєкторію польоту пристроїв контролю.



Будемо вважати, що пристрої контролю скидаються в розрахункову точку центру скидання з БПЛА, який летить горизонтально зі швидкістю  $v$  на висоті  $h$ . Оскільки в даному випадку початкова вертикальна швидкість пристрою контролю  $v_0$  дорівнює нулю, то шлях, який проходить падаючий пристрій контролю в безповітряному просторі в напрямку центру точки скидання дорівнює висоті  $h$  і обчислюється за формулою

$$h = \frac{gt_n^2}{2}, \quad (3)$$

де  $g$  – прискорення сили тяжіння;  $t_n$  – час падіння пристрою контролю.

Так як пристрій контролю скидається з БПЛА, який летить горизонтально зі швидкістю  $v$ , то горизонтальна початкова швидкість пристрою контролю також дорівнює  $v$ . Ця швидкість зберігається на протязі всього часу падіння пристрою контролю  $t_n$ . Тоді за час падіння  $t_n$  пристрій контролю буде зміщений від центру точки скидання в горизонтальній площині  $ХОУ$  на величину, яка дорівнює  $vt_n$ . Таким чином, пристрій контролю, який скидається з БПЛА, що рухається у горизонтальній площині, описує в безповітряному просторі криволінійну траєкторію, що уявляє собою параболу.

Найбільш важливими елементами [13], які характеризують траєкторію польоту пристроїв контролю, є: віднесення пристрою контролю (відхилення від центру точки скидання); кінцева швидкість пристрою контролю; кут падіння пристрою контролю.

Під віднесенням пристрою контролю  $A$  будемо розуміти шлях, який проходить пристрій контролю в горизонтальному напрямку при його падінні. В даному випадку, це відстань від центру точки скидання вздовж осі  $ОУ$ . Цей шлях дорівнює добутку швидкості БПЛА на час падіння пристрою контролю  $t_n$  і характеризує його відхилення від центру точки скидання

$$A = vt_n, \quad (4)$$

де  $t_n = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  – час падіння пристрою контролю на поверхню Землі в безповітряному просторі з висоти  $h$ .

Кінцева швидкість  $v_k$  пристрою контролю – це його швидкість в момент приземлення. При відсутності опору повітря горизонтальна швидкість пристрою контролю залишається незмінною, а вертикальна швидкість – збільшується за кожну секунду на величину  $g$ . В момент приземлення горизонтальна швидкість пристрою контролю дорівнює швидкості

БПЛА в момент скидання пристрою контролю  $v_r = v$ , а вертикальна швидкість дорівнює  $v_b = gt_n = g\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{2gh}$ . Вертикальна і горизонтальна швидкості пристрою контролю взаємно перпендикулярні, тоді кінцева його швидкість буде дорівнювати

$$v_k = \sqrt{v_r^2 + v_b^2}. \quad (5)$$

Враховуючи, що  $v_r = v$ ,  $v_b = \sqrt{2gh}$  одержимо

$$v_k = \sqrt{v^2 + 2gh}. \quad (6)$$

Кут падіння  $\beta_n$  – це кут, який складає вектор швидкості пристрою контролю  $\overline{v_k}$  з горизонтальною площиною в момент приземлення. Кут падіння пристрою контролю можна визначити за формулою

$$\operatorname{tg}\beta_n = \frac{v_b}{v_r} = \frac{\sqrt{2gh}}{v}. \quad (7)$$

При русі пристрою контролю в повітряному просторі виникають наступні явища: частинки повітря ударяють по пристрою контролю, створюючи при цьому силу тиску, яка направлена протилежно швидкості пристрою контролю; частинки повітря діють на бокову поверхню пристрою контролю, в результаті чого виникає сила тертя, яка також направлена протилежно швидкості пристрою контролю. Сила тиску і сила тертя разом створюють силу опору повітря, яка направлена протилежно швидкості руху пристрою контролю.

Сила опору повітря залежить від форми тіла і його положення відносно потоку повітря, що враховується безрозмірним коефіцієнтом  $k$ . В аеродинаміці силу опору повітря визначають за емпіричною формулою [13-17]

$$R = kS \frac{\rho v^2}{2}, \quad (8)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору;  $S$  – площа найбільшого поперечного розрізу пристрою контролю;  $\rho$  – щільність повітря;  $v$  – швидкість руху пристрою контролю.

Величину  $\frac{\rho v^2}{2}$  називають напором, або динамічним тиском, тобто тиском, який діяв би на площадку, що стоїть перпендикулярно напрямку потоку повітря.

Сила опору повітря  $R$  збільшується, якщо: збільшується коефіцієнт опору  $k$ ; збільшується площа поперечного розрізу пристрою контролю  $S$ ; збільшується швидкісний напір  $\frac{\rho v^2}{2}$ .

При наявності опору повітря на пристрій контролю, окрім сили тяжіння, буде діяти сила опору повітря. Сила опору повітря  $R$  направлена протилежно швидкості руху пристрою контролю. Силу опору повітря  $R$  можна розкласти у відповідності до рис. 3 на вертикальну  $R_B$  і горизонтальну  $R_r$  складові

$$R_B = R \cdot \sin \varphi, \quad (9)$$

$$R_r = R \cdot \cos \varphi, \quad (10)$$

де  $\varphi$  – кут між силою опору повітря  $R$  і площиною горизонту.

Вертикальна складова сили опору повітря направлена протилежно силі тяжіння, тому вертикальна швидкість пристрою контролю буде зростати повільніше, чим при відсутності опору повітря. В цьому випадку величина прискорення падіння пристрою контролю дорівнює

$$g_n = g - \frac{R_B}{m}, \quad (11)$$

а час падіння пристрою на поверхню земної кулі

$$t_n = \sqrt{\frac{2h}{g_n}} = \sqrt{\frac{2h}{g - \frac{R_B}{m}}} = \sqrt{\frac{2h}{\frac{mg - R_B}{m}}} = \sqrt{\frac{2hm}{mg - R_B}}. \quad (12)$$

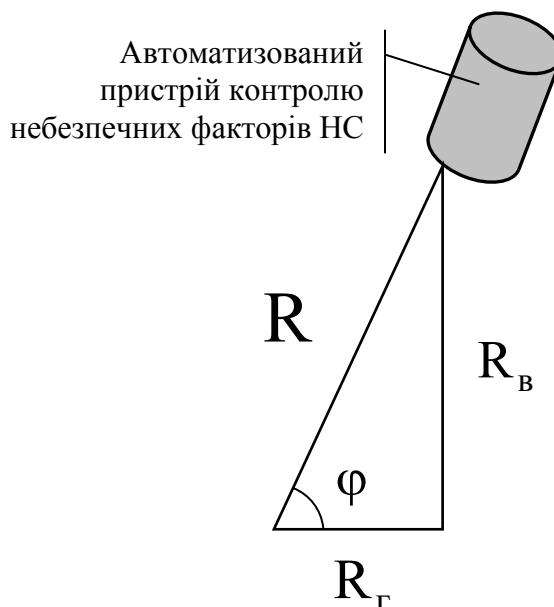


Рис. 3. Складові сили опору повітря, які діють на скинутий з БПЛА автоматизований пристрій контролю небезпечних факторів НС

Горизонтальна складова сили опору повітря направлена протилежно горизонтальній швидкості руху пристрою контролю, тому горизонтальна швидкість пристрою контролю буде безперервно зменшуватися і описується виразом

$$v_r = v - \frac{R_r}{m} t. \quad (13)$$

В цьому випадку відхилення пристрою контролю від центру точки скидання в площині горизонту, з використанням (4), дорівнює

$$A = vt_n - \frac{R_r}{m} t_n^2, \quad (14)$$

а кут падіння (7) пристрою контролю

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sqrt{2h \left( g - \frac{R_b}{m} \right)}}{v - \frac{R_r}{m} t_n}. \quad (15)$$

Таким чином, при наявності опору повітря відхилення пристрою контролю від центру точки скидання буде меншим, а кут падіння більшим, чим при відсутності опору повітря.

Тепер врахуємо вплив вітру на траєкторію польоту пристрою контролю. Відомо, що вектор вітру різний на різних висотах і змінюється з висотою [12]. Величина і характер змін траєкторії польоту пристрою контролю при наявності вітру відносно його траєкторії при відсутності вітру буде залежати від вектору вітру на висоті скидання пристрою контролю і зміни вектору вітру в шарі повітря від точки скидання пристрою контролю до точки його приземлення.

БПЛА скидає пристрої контролю на відносно невеликій висоті, тому можна вважати, що вектор вітру однаковий у всьому шарі повітря від точки скидання пристрою контролю до точки його приземлення і відповідає вектору вітру на висоті скидання пристроїв контролю.

При наявності вітру пристрій контролю одержить додаткове переміщення в площині вітру, яке дорівнює добутку швидкості вітру  $u$  на час падіння пристрою контролю  $t_n$ .

Орієнтація вектору швидкості вітру визначається значеннями кута  $\theta_n$

$$\theta_n = \beta_0 - \beta_u, \quad (16)$$

де  $\beta_0$  – азимут скидання пристрою контролю;  $\beta_u$  – азимут горизонтального вітру.

В цьому випадку горизонтальна швидкість руху пристрою контролю буде визначатися виразом

$$v_r = \sqrt{v^2 + u^2 - 2vu \cos \theta_n} - \frac{R_r}{m} t. \quad (17)$$

Відхилення пристрою контролю від центру точки скидання із врахуванням часу падіння, сили опору повітря і швидкості вітру в площині горизонту дорівнює

$$A = v_r t_n = \sqrt{v^2 + u^2 - 2vu \cos \theta_n} t_n - \frac{R_r}{m} t_n^2. \quad (18)$$

Враховуючи (9), (10) і (12), кінцевий вираз для оцінки відхилення пристрою контролю від центру точки скидання в площині горизонту при дії вітру  $\Delta$  має вигляд

$$\Delta = A = \sqrt{v^2 + u^2 - 2vu \cos \theta_n} \cdot \sqrt{\frac{2hm}{mg - R \sin \varphi}} - \frac{2Rh \cos \varphi}{mg - R \sin \varphi}. \quad (19)$$

Ефективність покриття однієї зони контролю в цьому випадку складе

$$E_{\text{зони}} = \frac{2R_{\text{КОНТР}}^2 - \Delta \cdot R_{\text{КОНТР}} \sqrt{2}}{2R_{\text{КОНТР}}^2} = 1 - \frac{\Delta}{\sqrt{2}R_{\text{КОНТР}}}. \quad (20)$$

Якщо за допомогою БПЛА розкидано  $n$  пристроїв контролю, то ефективність покриття території НС (2) автоматизованими пристроями контролю складе

$$E_{\text{КОНТР}} = \frac{n}{N} \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{\sqrt{2}R_{\text{КОНТР}}}\right) \cdot 100\%. \quad (21)$$

Таким чином, ефективність покриття території НС автоматизованими пристроями контролю із врахуванням їх відхилення від центрів точок скидання внаслідок опору повітря та швидкості вітру в порівнянні з точним попаданням в центр точки скидання зменшується в  $\left(1 - \frac{\Delta}{\sqrt{2}R_{\text{КОНТР}}}\right)$  раз.

**Висновки.** Розроблені науково-технічні основи створення комплексної функціональної схеми системи моніторингу за зміною меж зони

НС, рівнем небезпеки в ній та прогнозування виникнення нових ризиків, яка характеризується тим, що для підвищення оперативності моніторингу та прогнозування виникнення нових ризиків сумісно застосовуються БПЛА та наземні пристрої контролю небезпечних факторів НС.

Розроблена система моніторингу дозволяє проводити доставку в зону НС наземних автоматизованих пристроїв контролю БПЛА (безпілотний літак або вертоліт). Запропонована система моніторингу передбачає розташування диспетчерського пункту отримання й обробки інформації та обладнання для старту БПЛА на наземній рухомій платформі (штабний автомобіль; пожежно-рятувальний автомобіль; автомобіль радіаційної, хімічної та біологічної розвідки; бронетранспортер; машина військової розвідки; тягач та ін.).

Представлено підхід і принцип формування алгоритму оцінки ефективності покриття території НС автоматизованими пристроями контролю небезпечних факторів, за умов їх доставки в зону небезпеки завислими, над точкою скидання, БПЛА, а також запропоновано методику розрахунку ефективності покриття території НС автоматизованими пристроями контролю при поодинокому їх розкиданні з БПЛА в умовах дії сили опору повітря і повітряної швидкості.

Аналіз змінення алгоритму в залежності від параметрів навколишнього середовища показує, як змінюється ефективність покриття території НС пристроями контролю знижується в результаті впливу сили опору повітря та повітряної швидкості, що призводить до відхилення точок падіння автоматизованих пристроїв контролю від розрахункових центрів точок скидання.

Алгоритм оцінки ефективності покриття території НС пристроями контролю виконано тільки узагальненому вигляді. Тому, одержано співвідношення для розрахунку відхилення автоматизованих пристроїв контролю від центру точки скидання внаслідок збурюючих дестабілізуючих факторів повітряного середовища, які впливають на траєкторію польоту пристроїв контролю.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тютюник В.В. Основні принципи інтегральної системи безпеки при надзвичайних ситуаціях / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2008 – Вип. 3 (18). – С. 179 – 180.

2. 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. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204 – 216.

3. Дослідження умов раннього моніторингу та попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру: звіт про НДР / керівник роботи: В.В. Тютюник; виконавці: В.Д. Калугін, Б.Б. Поспелов, Р.І. Шевченко, М.В. Кустов, С.С. Говаленков. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2014. – 266 с.

4. Тютюник В.В. Створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в регіонах України / В.В. Тютюник // Автореф. ... доктора технічних наук за спец. 21.02.03 – Цивільний захист. – Київ: НАН України. ДП «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». – 2015. – 42 с.

5. Тютюник В.В. Розробка науково-технічних основ системи моніторингу зони надзвичайної ситуації, яка включає доставку автоматизованих пристроїв контролю повітряними безпілотними засобами / В.В. Тютюник, В.Д. Калугін, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2014. – № 3(16). – С. 41-44.

6. Пат. 105339 Україна, МПК(2016.01) B64D1/08 (2006.01), G08B19/00, G08B25/00, G08B26/00. Пристрій для скидання автоматизованих засобів контролю факторів небезпеки та вантажів для постраждалих з безпілотного літального апарату / Андронов В.А., Калугін В.Д., Тютюник В.В., Тютюник Ю.В.; Власник патенту: Національний університет цивільного захисту України. – № u201510075; заявл. 15.10.2015; опубл. 10.03.2016, бюл. № 5.

7. Пат. 114393 Україна, МПК(2017.01) B64D1/02 (2006.01), G08B19/00, G08B17/00, G08B21/00. Пристрій для скидання автоматизованих засобів контролю небезпечних факторів надзвичайних ситуацій з безпілотного літального апарату / Андронов В.А., Калугін В.Д., Левтеров О.А., Тютюник В.В., Тютюник Ю.В.; Власник патенту: Національний університет цивільного захисту України. – № u201608736; заявл. 11.08.2016; опубл. 10.03.2017, бюл. № 5.

8. Пат. 105884 Российская Федерация, МПК B64C39/02. Малоразмерный беспилотный летательный аппарат для мониторинга территорий пожаров, террористических актов и техногенных катастроф / Басаргин О.С., Звонов А.А.; Патентообладатель: Венес А.В., Емельянов К.Л., Каптуров С.Ю., Кожбахтеев Э.Х., Муниципальное образовательное учреждение «Основная общеобразовательная школа-интернат 3», Щербакова Н.С. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catiz.tverlib.ru/105884>.

9. Пат. 92848 Российская Федерация, МПК B64C. Самолет для воздушного мониторинга состояния окружающей среды / Волков А.М., Мухина М.Б. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bankpatentov.ru/node/32506>.

10. Бабушкин Ю.Н. Применение спутниковой навигации при действиях в экстремальных условиях / Ю.Н. Бабушкин // Информост. – 2001. – № 3. – С. 74–85.

11. Пат. 49115 Україна, МПК(2009) G08C19/00, G08B19/00, G08B21/00. Система раннього виявлення надзвичайних ситуацій / Йо-ра А.П., Сидоров С.М. – № u201002449; заявл. 04.03.2010; опубл. 12.04.2010, бюл. № 7.

12. Тютюник В.В. Оцінка ефективності покриття території надзвичайної ситуації за допомогою автоматизованих пристроїв контролю небезпечних факторів при їх розкиданні із зависаючого над точкою скидання безпілотного літального апарату / В.В. Тютюник, В.Д. Калугін, Г.В. Іванець, М.Г. Іванець, Ю.В. Захарченко // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – Київ: Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», 2016. – Вип. 10. – С. 34-43.

13. Кириллов В.И Бомбометание / В.И. Кириллов. – М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1960. – 376 с.

14. Гурский Б.Г. Основы теории систем управления высокоточных ракетных комплексов Сухопутных войск / Б.Г. Гурский, М.А. Лющанов, Э.П. Спиринов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 328 с.

15. Разорёнов Г.Н. Системы управления летательными аппаратами (баллистическими ракетами и их головными частями) / Г.Н. Разорёнов, Э.А. Бахрамов, Ю.Ф. Титов. – М.: Машиностроение, 2003. – 584 с.

16. Балаганский И.А. Действие средств поражения и боеприпасов / И.А. Балаганский, Л.А. Мерзневский. – Н.: НГТУ, 2004. – 408 с.

17. Бабкин А.В. Средства поражения и боеприпасы / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.

*Отримано редколегією 22.02.2017*

Г.В. Іванець, В.В. Тютюник, В.Д. Калугін, Б.Б. Поспелов, Ю.В. Захарченко

**Алгоритм оценки эффективности покрытия территории чрезвычайной ситуации автоматизированными устройствами контроля опасных факторов при их разбрасывании с беспилотного летательного аппарата в условиях нестабильностей воздушной среды**

В статье предложен подход для формирования алгоритма оценки эффективности покрытия территории чрезвычайной ситуации с помощью автоматизированных устройств контроля опасных факторов при их разбрасывании с беспилотного летательного аппарата в условиях воздействия возмущений воздушной среды.

**Ключевые слова:** территория чрезвычайной ситуации, беспилотный летательный аппарат, автоматизированное устройство контроля, эффективность покрытия, нестабильность воздушной среды.

G.V. Ivanets, V.V. Tiutiunyk, V.D. Kalugin, B.B. Pospelov, Yu.V. Zakharchenko

**Algorithm for assessing the effectiveness of coatings emergency situation territory by the automated control units of dangerous factors at their scattering from the unmanned aerial vehicle in the conditions of the astable air**

In article approach is proposed for the formation of an algorithm for assessing the effectiveness of covering emergency situation territory by the automated control units of dangerous factors at their scattering from the unmanned aerial vehicle in the conditions of impact disturbances of the air has been offered.

**Keywords:** the territory of emergency situation, the unmanned aerial vehicle, the automated control unit, effectiveness of a covering, astable air.



Ю.П. Ключка, д.т.н., с.н.с., нач. каф., НУЦЗУ,  
О.М. Григоренко, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
В.О. Липовий, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ

## АНАЛІЗ СТАНУ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ УКРАЇНИ З РОЗРАХУНКУ СОЦІАЛЬНОГО РИЗИКУ ТА ВПЛИВ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ НА ВЕЛИЧИНУ РИЗИКУ

В результаті проведеної роботи проаналізовано порогові значення соціального ризику, кількості загиблих, значення коефіцієнту  $k$  в країнах Європи та Україні. На основі статистичних даних проведена оцінка зміни величини соціального ризику від значення коефіцієнту  $k$ , в результаті чого встановлено, що при зміні  $k$  від 1 до 2, ризик збільшується на 65 %.

**Ключові слова:** Ризик-орієнтований підхід, соціальний ризик, імовірність, F-N діаграма.

**Постановка проблеми.** Підписання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом вимагає від України ряд реформ з метою імплементації європейських стандартів у національні нормативні документи. При запровадженні європейських стандартів загальноприйнятним є використання ризик-орієнтованого підходу у сфері безпеки [1-5].

Передбачається, що при оцінці суб'єктів господарювання, величина індивідуального ризику буде основним критерієм за яким вони будуть класифікуватися. Окрім цього, одним з показників, що характеризує можливі наслідки від надзвичайних ситуацій є величина соціального ризику.

На сьогоднішній день соціальний ризик регламентується лише «Методикою визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» [4]. Не дивлячись на наявність останнього документу, проблемою є те, що в Україні відсутня нормативна база для розрахунку соціальних ризиків, і, як наслідок, можливість обізнаності суспільства про небезпеку тих чи інших об'єктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відповідно до [4] соціальний ризик – імовірність загибелі людей понад певну кількість (або очікувана кількість загиблих) у даному регіоні протягом року від можливих джерел небезпеки об'єкта підвищеної небезпеки, з урахуванням імовірності їх перебування в зоні ураження. Найбільш просту залежність по розрахунку соціального ризику можна представити у вигляді

$$R = P(N) \cdot N, \quad (1)$$

де  $P(N)$  – імовірність загибелі  $N$  осіб;  $N$  – кількість загиблих.

У тому випадку коли на об'єкті можливі різні надзвичайні ситуації з імовірністю  $P(N_i)$ , величину соціального ризику можна представити у вигляді

$$R = \sum_{i=1}^m P(N_i) \cdot N_i, \quad (2)$$

де  $P(N_i)$  – імовірність загибелі  $N_i$  осіб при  $i$ -ій НС;  $N_i$  – кількість загиблих при  $i$ -ій НС;  $m$  – кількість сценаріїв НС.

Графічно, соціальний ризик представляють у вигляді F-N діаграм (рис. 1), відповідно до наступного виразу

$$\bar{F}(y) = \begin{cases} 1, & y = 0, \\ \sum_{i=1}^k P_i = 1 - P_0, & 0 < y \leq y_1, \\ \dots & \dots \\ \sum_{i=s}^k P_i, & y_{s-1} < y \leq y_s, \\ \dots & \dots \\ P_k, & y_{k-1} < y \leq y_k, \\ 0, & y_k < y < \infty, \end{cases} \quad (3)$$

де  $y_i$  – кількість загиблих при  $i$ -ій НС;  $P_i$  – імовірність загибелі  $y_i$  осіб.

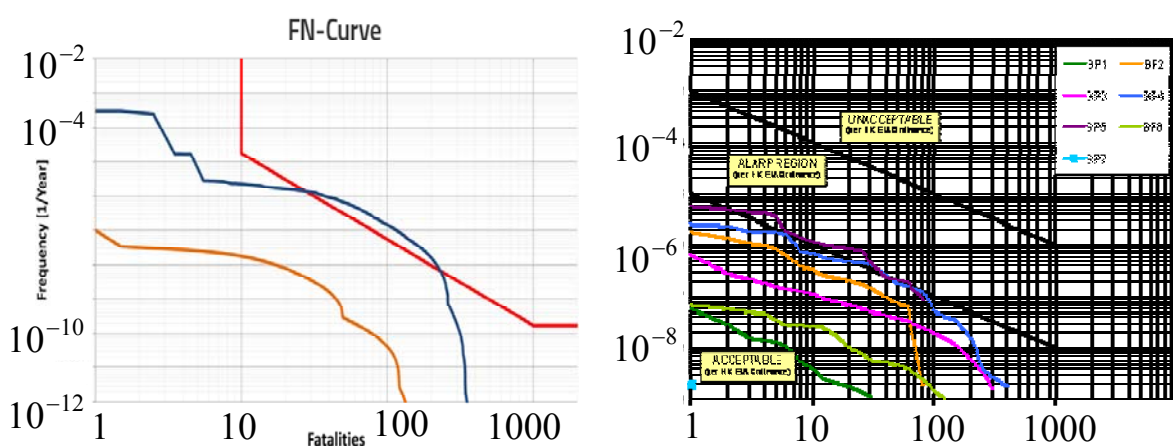


Рис. 1. Приклади F–N діаграм

Нахил кривої F-N (верхньої та нижньої границі) є мірою «неприйняття ризиків» суспільством, а саме наскільки негативно сприймаються аварії з великою кількістю смертельних випадків. Нахил – 1 вказує на те,

що суспільство розглядає кілька нещасних випадків летальності аналогічно по відношенню до числа загиблих. На рис. 2 наведені порогові значення соціального ризику в різних країнах [6].

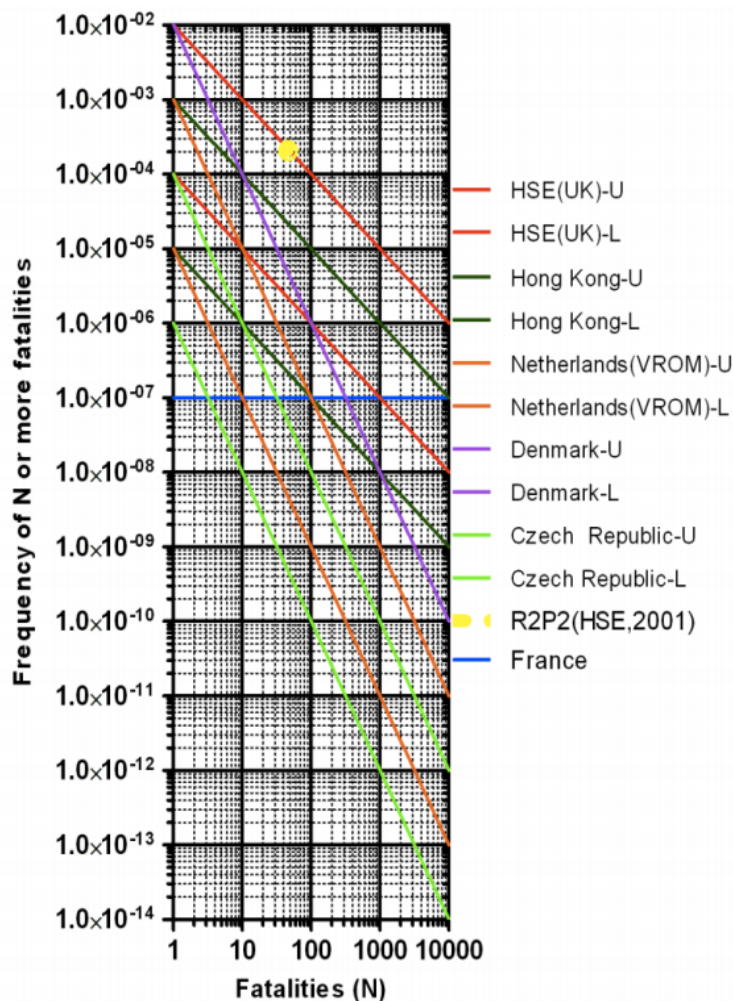


Рис. 2. Порогові значення соціального ризику в різних країнах

Аналіз літератури та рисунку показує, що є тенденція зміни нахилу границь від -1 до -2, або ж від 1 до 2 якщо проводити розрахунки відповідно до виразу

$$R = \sum_{i=1}^m P(N_i) \cdot N_i^k \tag{3}$$

Аналіз літератури показує, що граничні значення соціального ризику можуть мати не лише різні значення коефіцієнту k але й відрізнятися граничними значеннями кількості загиблих та величиною імовірності в цих точках.

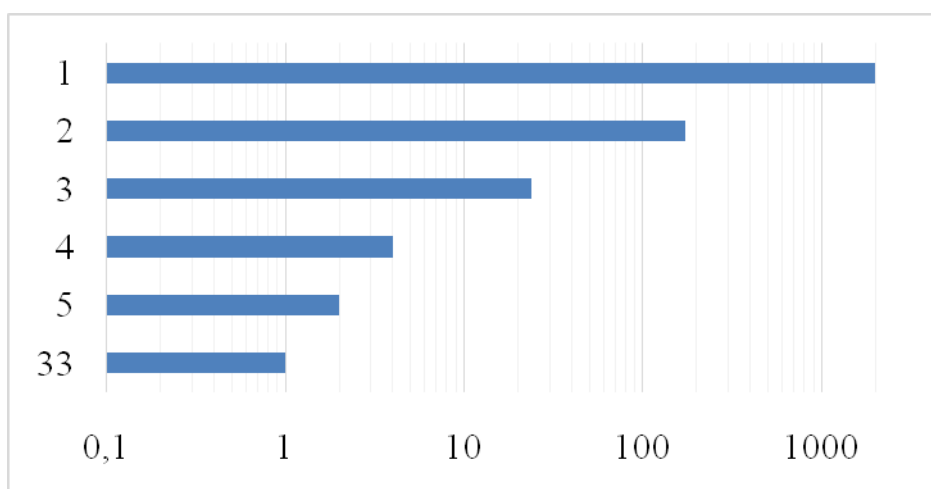
Таким чином можна констатувати, що в Україні не регламентовані:

- значення коефіцієнту k;

- порогові значеннями кількості загиблих;
- порогові значення соціального ризику від сфери діяльності об'єкта.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є дослідження впливу значення коефіцієнту  $k$  та порогових значень кількості загиблих на величину соціального ризику на території України на основі статистичних даних.

Щороку в Україні виникає від 60 до 80 тисяч пожеж на яких гине близько 2000 осіб. На рис. 3 наведена статистика пожеж, в яких загинули люди.



**Рис. 3.** Діаграма залежності кількості пожеж зі смертельними випадками (2014 рік)

Аналіз рисунку свідчить, що понад 90% загиблих на пожежах припадає на ті пожежі, де загинуло від 1 до 5 осіб. Окрім того, як при пожежах на об'єктах промисловості так і в цивільному будівництві, відсутні випадки загиблих понад 500 чи 1000 осіб, що здебільшого є граничним значенням [6].

Проаналізувавши наслідки пожеж в 2014 році, проведемо оцінку  $\xi$  – співвідношення між соціальним ризиком (наслідком пожеж, рис. 4) при коефіцієнті  $k$  відмінному від 1 до значення з коефіцієнтом  $k=1$ , відповідно до виразу

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^m P(N_i) \cdot N_i^k}{\sum_{i=1}^m P(N_i) \cdot N_i}. \quad (4)$$

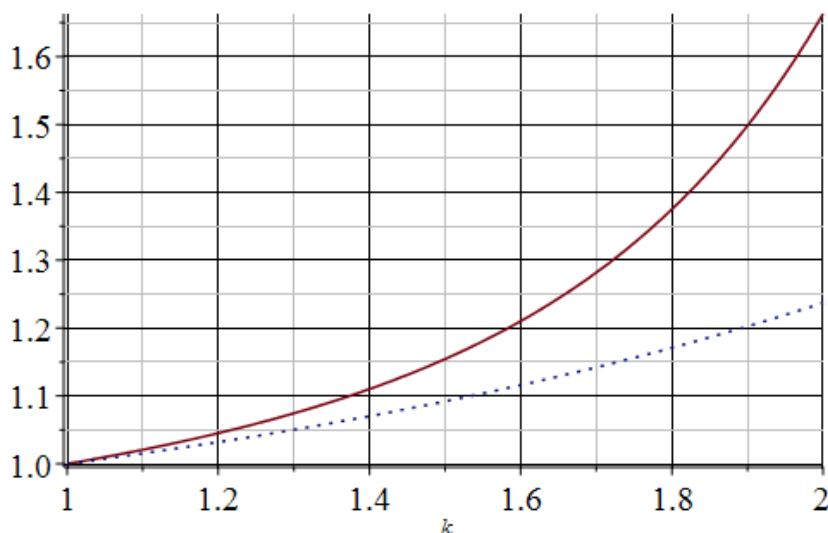


Рис. 4. Залежність  $\xi$  від  $k$  (пунктирна крива – без врахування пожежі з кількістю загиблих 33)

Аналіз рисунку показує, що при збільшенні коефіцієнту  $k$  до 2, соціальний ризик від пожеж збільшується в 1,65 раз. Однак, без врахування пожежі з кількістю загиблих 33, що відбулася в м. Одеса в «будинку профсоюзів», збільшення відбувається лише на 25%.

Таким чином, на основі проведеного аналізу закордонного досвіду, тенденцій в змінах по розрахунку ризиків та статистичних даних можна зробити висновок, що при розрахунку соціального ризику від пожеж коефіцієнт  $k$  доцільно прийняти в діапазоні (1,5-2), що дозволить встановити відповідні вимоги до об'єктів на яких може відбутися пожежа з метою мінімізації людських втрат.

**Висновки.** В результаті проведеної роботи проаналізовано порогові значення соціального ризику, кількості загиблих, значення коефіцієнту  $k$  в країнах Європи та Україні. На основі статистичних даних проведена оцінка зміни величини соціального ризику від значення коефіцієнту  $k$ , в результаті чого встановлено, що при зміні  $k$  від 1 до 2, ризик збільшується на 65 %.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ризик-орієнтований підхід як нова парадигма системи управління техногенно-екологічною безпекою. – Режим доступу: [http://www.nas.gov.ua/text/pdfNews/Hrechaninov\\_radiointerview\\_HolosKyieva.pdf](http://www.nas.gov.ua/text/pdfNews/Hrechaninov_radiointerview_HolosKyieva.pdf).
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22 січня 2014 р. № 37-р «Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» (Офіційний вісник України, 2014 р. – № 10, ст. 333).
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 29 лютого 2012 р. № 306 «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність

здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки” (Офіційний вісник України, 2012 р. – № 30, ст. 1115).

4. Ключка Ю. П. Оцінка результатів надзвичайної ситуації з врахуванням ризик-орієнтованого підходу / Ю. П. Ключка, О. П. Михайлюк // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2016. – Вип. 24. – С. 72-76. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol24/klyuchka.pdf>.

5. Наказ Міністерства праці та соціальної політики України № 637 від 04.12.2002 р. «Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки». – Режим доступу: <http://www.uazakon.com/document/spart03/inx03146.htm>.

6. Mona K. Global Risk Assessment of Natural Disasters: new perspectives / Mona Khaleghy Rad. – Canada, 2014. – 208 P.

*Отримано редколегією 06.03.2017*

Ю.П. Ключка, А.Н. Григоренко, В.А. Липовой

**Анализ нормативной базы Украины по расчету социального риска и влияние его параметров на величину риска**

В результате проведенной работы проанализированы пороговые значения социального риска, количества погибших, значение коэффициента  $k$  в странах Европы и Украины. На основе статистических данных проведена оценка изменения величины социального риска от значения коэффициента  $k$ , в результате чего установлено, что при изменении  $k$  от 1 до 2, риск увеличивается на 65 %.

**Ключевые слова:** Риск-ориентированный подход, риск, вероятность, F-N диаграмма.

Yu.P. Klyuchka, O.M. Hryhorenko, V.A. Lipovoj

**Analysis of the regulatory Ukraine on the basis of social risk and its impact on the value of risk parameters**

As a result of analysis of social risk thresholds, the number of deaths, the value of the coefficient  $k$  in Europe and Ukraine. Based on statistical data evaluated changes in the value of social risk factor value  $k$ , resulting in a set that changing  $k$  from 1 to 2, the risk increases by 65 %.

**Keywords:** The risk-based approach, social risk, probability, F-N diagram.

*М.В. Малярів, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
В.В. Христинч, к.т.н., заст. нач. каф., НУЦЗУ*

## **РІЗНИЦЕВИЙ АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ МОНІТОРИНГУ**

(представлено д.т.н. Басмановим О.Є.)

Запропоновано при вирішенні задач моніторингу змін природних територій використовувати алгоритм формування різницевого зображення, між еталонними та отриманими при проведенні моніторингу. Для поліпшення якості отриманих різницевого знімок проходить обробку фільтрами «ковзаючого» вікна.

**Ключові слова:** повітряна зйомка, пікселі, різницеве зображення, «ковзаюче» вікно, моніторинг територій.

**Постановка проблеми.** Моніторинг знімків земної поверхні може бути представлений як завдання визначення змін у навколишньому середовищі, їх класифікації та з'ясування масштабів змін на території, що контролюється. Зазвичай територія, яка контролюється, має досить великі розміри та періодично піддається антропогенному або техногенному впливу. Відповідно, обробка результатів таких зображень вимагає багато часу та, завдяки відсутності формалізованого опису змін, що відбулися, накладає обмеження на використання автоматичних системи, що приводить до того, що вирішення завдань моніторингу стає досить трудо-, часо- і ресурсомістким. Це призводить до збільшення вартості процесу моніторингу традиційними засобами, але в той же час не забезпечує його ефективності.

В той же час, якщо прийняти, що завданням моніторингу буде визначення тільки факту зміни (зміни є або нема) або їх координат без визначення її характеристик, то такі задачі можуть бути автоматизовані з використанням більш простих алгоритмів та реалізовані за допомогою існуючих програмних продуктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для автоматизації завдань моніторингу треба знайти деякі формалізовані змінні або інші відповідні величини для опису властивостей й особливостей зображень земної поверхні, а також для виявлення змін у їх структурі. Зазвичай моніторинг земної поверхні проводиться по виявленню негативних процесів (підтоплень, зсувів тощо) по прямим ознакам на зображеннях [1], що обмежує застосування цього методу для організації моніторингу великих територій, за умови що місце локалізації змін заздалегідь невідомо. В [2] запропоновано проводити моніторинг на основі побудови різницевої діаграми двох знімків, що отримані різною апаратурою та у різний час. Пікселі, що не зазнали змін, будуть тяжіти до деякої «центральної лінії», яка йде приблизно по діагоналі діаграми. Пікселі, що відповідають значно зміненим ділянкам території будуть розташовуватися на деякому віддаленні від «центральної лінії». Ця відстань буде тим більшим, ніж більше змінився коефіцієнт відбиття ділянки території. Такий метод дозволяє одержати «сигнальну» інформацію про наявність змін, але не локалізує координати цієї зміни.

Оскільки розміщення елементів на зображенні є складним й хаотичним в [3, 4] 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, а у якості критерію виявлення для вирішення задач моніторингу зображень земної поверхні пропонується використовувати зміну фрактальної розмірності  $\Delta D_f$ . Цей метод вимагає специфічних алгоритмів обробки інформації і теж не локалізує координати зміни.

**Постановка завдання та його вирішення.** Виходячи з цього, метою публікації є запропонування таких алгоритмів виявлення змін, які спираються на типові методи обробки зображень (наведені наприклад в [5]), можуть локалізувати координати місця виникнення змін та не потребують спеціалізованого програмного забезпечення і можуть бути реалізовані за допомогою сучасних графічних редакторів або інших пакетів.

Найпростішим методом для пошуку змін на зображенні є віднімання зображень для формування різницевого знімку. Різниця двох зображень  $F(x, y)$  і  $H(x, y)$  виражається формулою

$$G(x, y) = F(x, y) - H(x, y) \quad (1)$$

та являє собою різницю між парами значень всіх відповідних пікселів зображень  $F$  і  $H$ .

Головною складністю цього методу є необхідність наявності еталонного знімку або знімку, отриманого раніше. Якщо вважати, що моніторинг територій відбувається періодично та регулярно, то у якості еталонного може виступати знімок отриманий раніше, який підходить по основним параметрам спостереження (час доби, умови спостереження, характеристика апаратури).

Але, так як при практичній реалізації цього методу неможливо отримати ідеального суміщення знімків, при формуванні різницевого знімку на ньому будуть створюватися артефактні області, які будуть формуватися на границях об'єктів з різними значеннями яскравості. Загальною характеристикою цих артефактних областей є їх мала лінійна протяжність (не більше пари пікселів). При цьому протяжність областей, що зазнали змін, на різницевому знімку буде набагато більша. Спираючись на ці відмінності, для виключення артефактних областей пропонується скористатися фільтром «ковзного вікна».

Фільтр «ковзного вікна» при перетворенні пікселів зображення розглядає інформацію про сусідні пікселі. Для формування «ковзного вікна» виділимо на зображенні вікно розміром  $N$  на  $M$ , де обидва числа непарні. Тоді значення центрального пікселю вікна є деякою функцією  $G$  елементів цього вікна

$$F_{N,M}^{new} = G(F_{n+i,m+j}), \quad (2)$$

де  $i = -(N-1)/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, (N-1)/2$ ,  $j = -(M-1)/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, (M-1)/2$ . Тобто для перетворення пікселів зображення використовується інформація тільки з навколишніх пікселів, які входять до складу «ковзного вікна».



Так як головними відмінностями змін на зображенні та артефактними областями є їх лінійні розміри, то у якості функції  $G$  елементів «ковзного вікна» можна вибрати усереднюючі фільтри подавлення шумів котрі описані в [5, 6], коли значення центрального пікселя точки замінюється середньою величиною, обчисленою по всіх пікселях «ковзного вікна»

$$F_{N,M}^{new} = \frac{1}{NM} \sum_{i,j} F_{n+i,m+j} \quad (3)$$

Алгоритм роботи наступний. Послідовно вимірюємо яскравість всіх сусідніх пікселів зображення. Якщо яскравість даного елемента перевищує середню яскравість групи найближчих елементів на деяку порогову величину  $\varepsilon$ , яскравість елемента замінюється на середню яскравість.

$$\text{Якщо } \left| F_{0,0} - \frac{1}{NM} \sum_{i,j} F_{n+i,m+j} \right| > \varepsilon, \text{ то } F_{0,0} = \frac{1}{NM} \sum_{i,j} F_{n+i,m+j} \quad (4)$$

У якості ще одного фільтру, що усереднює, можливо скористатися медіанним фільтром, що являє собою «ковзне» вікно, яке охоплює непарне число пікселів зображення. Центральний елемент замінюється медіаною всіх елементів зображення у вікні. Медіанною дискретної послідовності для непарного  $N$  є той її елемент, для якого існує  $(N-1)/2$  елементів, менших або рівних йому за величиною, та  $(N-1)/2$  елементів, більших або рівних йому за величиною.

У випадку коли моніторингу підлягає поверхня, що є однорідною по своїй структурі (ліси, поля, водна поверхня тощо), то еталонне зображення можливо спробувати створити, використовуючи метод найменших квадратів для вихідного зображення, або використовувати метод локального обчислення фону, який оцінює величину фону середнім значенням по вікну досить великого розміру

$$F_{N,M}^{new} = F_{N,M} - \frac{1}{MN} \sum F_{N+i,M+j} + \text{const}, \quad (5)$$

де  $\text{const}$  вибирається так, що результат був невід'ємним. Зазвичай це значення дорівнює половині максимального значення пікселя.

Також потрібно відмітити, що недолік фінансування міністерств та відомств, на які покладене завдання охорони навколишнього середовища або окремих її компонентів спричиняє відсутність регулярних обстежень території, наслідком чого може бути несвоєчасність оновлення еталонних зображень. Позначений вище комплекс проблем має загальну основу, пов'язану з відсутністю достатньої кількості інформації про стан і зміну навколишнього середовища. Рішенням проблеми є методи цифрового картографування, що інтенсивно розвиваються останнім часом, та які можуть надати значну допомогу в забезпеченні універсальних картографічних матеріалів, що містять інформацію про незмінену місцевість

для формування еталонних зображень.

**Висновки.** Розглянути вище різницеві алгоритми обробки прості в застосуванні й можуть бути легко використані в сучасних графічних редакторах для створення автоматизованих системах, що працюють без участі людини. Це дозволить, за умови рішення проблеми доступності матеріалів еталонних зображень в цифровій формі, досить скромними засобами організувати діючу систему моніторингу змін території в інтересах населення, органів державної влади, промислових підприємств і інших суб'єктів господарської діяльності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ревзон А.Л. Картографирование состояний геотехнических систем / А.Л. Ревзон – Надра, 1992. – 223 с.
2. Методы создания цифровых карт динамики природной среды на основе данных космической съемки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agiks.ru/data/articles/ddzzsite/book/article1.htm> – Назва з титулу екрану.
3. Маляров М.В. Алгоритм пошуку малорозмірних об'єктів на морський поверхні з використанням її фрактальних властивостей / Маляров М.В., Щербак Г.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2008. – Вип. 8. – С.124-129. – Режим доступу: <http://edumns.org.ua/nmc/109/pns08.pdf#page=124>.
4. 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/>.
5. Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р. – М: Техносфера, 2005. – 1072 с.
6. Прэтт У. Цифровая обработка изображений [В 2-х книгах] / Прэтт У. – М.: Мир, – 1982.

*Отримано редколегією 10.03.2017*

М.В. Маляров, В.В. Христинч

### **Разностный алгоритм обработки изображений при проведении задач мониторинга**

Предложено при решении задач мониторинга изменений природных территорий воспользоваться алгоритмом формированием разностных изображений, между эталонными и полученными при проведении мониторинга. Для улучшения качества изображения полученный разностный снимок проходит обработку фильтрами «скользящего» окна.

**Ключевые слова:** воздушная съемка, пиксели, разностное изображение, «скользящее» окно, мониторинг территорий.

M.V. Malyarov, V.V. Hristich

### **Using the difference algorithm for image processing for monitoring objectives**

It is proposed for solving natural areas change monitoring applications to take advantage of the formation of difference images between the reference and received during the monitoring. To improve the image quality of the resulting difference picture is processed filters "sliding" window.

**Keywords:** aerial photography, pixels, a difference image, "sliding" window, monitoring of territories.

**UDC 614.84**

*R.G. Meleschenko, Ph.D., Associate Professor of Department, NUCPU,  
V.K. Muntyan, Ph.D., Head of Department, NUCPU,  
A.A. Tarasenko, DSc, Senior Research, NUCPU*

## **JUSTIFICATION OF THE APPROACH FOR CALCULATING THE PARAMETERS OF AVIATION EMERGENCY AND RESCUE OPERATIONS WHEN USING VISUAL SEARCH**

The proposed approach for substantiation of the parameters of visual search-and-rescue aircraft that associates features of a search object, altitude of the observer and bandwidth monitoring.

**Keywords:** visual search, search-rateline aircraft, search options.

**Problem statement.** One of the components of rescue operations is finding people who have experienced disasters, or so-called search objects (OS). With the uncertainty of the city accident/disaster or the whereabouts of the victims area of search can reach a considerable value (the search of the wreckage of aircraft or vessels, damaged pipelines, rescue boats with shipwrecked the like) and therefore the search operation is advantageously carried out with search-and-rescue aircraft (SRA). Search in some cases is carried out using electronic methods, but often by direct visual inspection by the crew SRA zone observations or analysis of the images transmitted from unmanned aerial vehicles.

The procedure for conducting the visual search with the help of SRA is regulated by normative documents [1-3], which proposed several schemes: sector search; the square that is expanded; with the survey track line; parallel inspection (comb); a wavy line (parallel galsan); contour search around the mountains.

A visual search of the aircraft, it is recommended to exercise at an altitude of 500-600 m, the helicopter is at an altitude of 200-300 m above the surface.

These documents contain certain recommendations regarding the parameters of the search, namely, requirement, 25% overlap of swath, although the band width is determined quite arbitrarily, since it is clear that its value depends on many factors.

Thus, the normative documents do not contain the values of the parameters of visual search by using search-and-rescue aircraft, their reliance on search terms and search parameters of objects and their scientific justification remains open.

**Analysis of recent researches and publications.** A search of the scientific literature on the organization of visual search using the SRA demonstrated the lack of sources on this subject.

Application of mathematical calculations in the organization and conduct of search operations, namely, to assess the likelihood of success when conducting a search in one or another way used in the models [4-6]. These models are General and do not allow to consider the change of search parameters, and especially to justify the parameters of aviation emergency and rescue operations in the application of visual search.

**Statement of the problem and its solution.** The aim of this work is justification of approach for calculation of aviation emergency and rescue operations in the application of visual search.

The probability  $P$  of finding a real estate search on flat terrain (surface water) depends on a sufficiently large number of objective and subjective factors:

- the area  $\Omega$  of the zone of survey;
- visible size  $\theta$  (magnitude of the solid angle under which the visible OS), which in turn depends on the size  $S$  of the search object (provided that the longitudinal and transverse dimensions of OS not significantly different) and the height  $h$  of flight of SRA;
- the depth of the search (the width  $L$  of the span in case of single span SRA, which is associated with a range of monitoring  $r$ , which, in turn, is connected with an optical resolution  $\lambda$  of auxiliary optical devices or visual acuity of the observer, the light conditions  $\vartheta$  (related to weather condition, time of day and season of the year, as well as the use of lighting devices) and "visibility" of the OS, which is limited by the contrast  $\omega$  of the search object against the background color of the environment, tall size OS compared to the roughness  $\mu$  of the environment (height of vegetation, waves));
- speed  $v$  of movement of SRA (which affects the time of fixing the OS in the field of view of the observer);
- the time  $t$  of observation, which affects the fatigue of the observer;
- experience  $\eta$  of the observer (the weighting factor).

Thus

$$P = f(\Omega, \theta(S, h), L(r(\lambda, \vartheta), \omega, \mu), v, t, \eta). \quad (1)$$

The clarification of the dependence of (1) would find and, therefore, in the future to maximize the probability of finding OS.

Assuming that the probability  $P$  of finding OS is directly proportional to the visual size

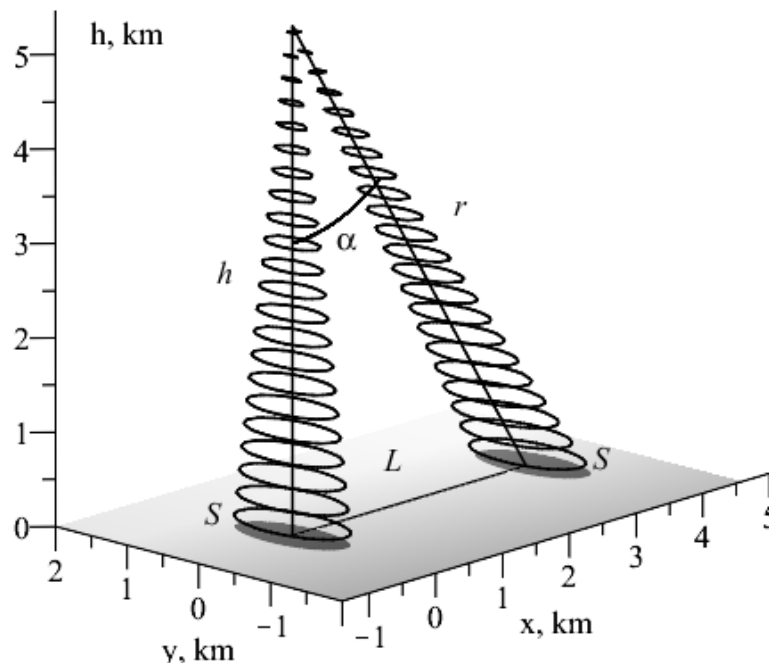
$$P \sim \theta(S, h) \cdot f(\Omega, L(r(\lambda, \vartheta), \omega, \mu), v, t, \eta)$$

it is necessary to investigate how the value  $\theta$  from the search parameters.

Search-and-rescue aircraft performs flight at an altitude  $h$  above the earth's surface (water). A small element of OS denoted as  $ds$ . In this case, the entire OS will be seen by the crew of SRA under a solid angle

$$\theta = \int_S \frac{\cos \alpha}{r^2} ds, \tag{2}$$

where  $\alpha$  – the angle of view on OS, measured from the normal to the surface (Nadir) and  $r$  – distance from SRA to the OS,  $S$  – the square of OS (Fig. 1).



**Fig. 1. Finding the solid angle under which the visible search object**

In the case when the largest dimension OS will be much less than the height  $h$

$$r = \frac{h}{\cos \alpha}$$

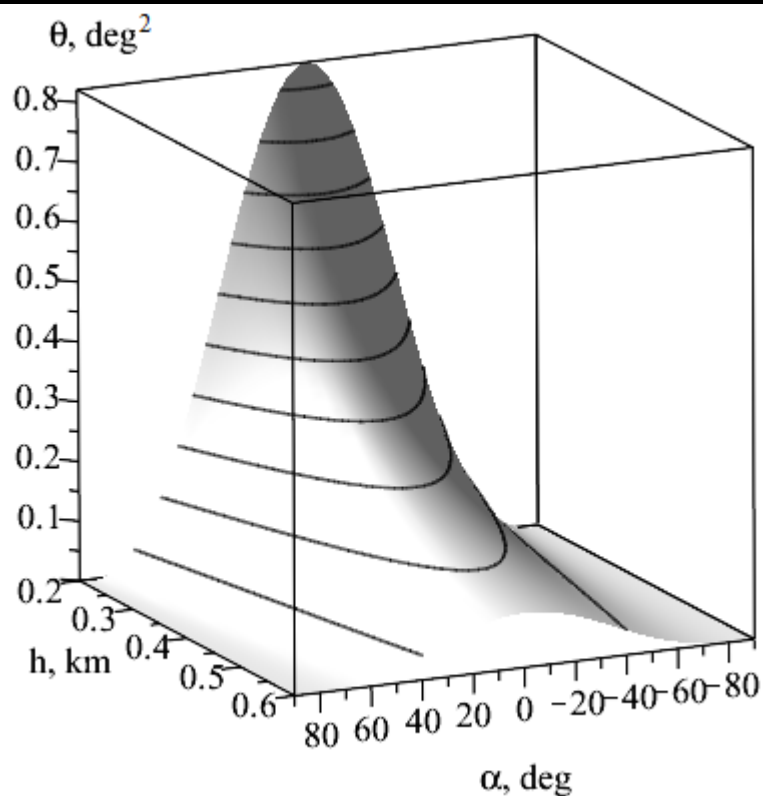
and the expression (2) can be written as

$$\theta = \frac{\cos^3 \alpha \cdot S}{h^2}. \tag{3}$$

In Fig. 2 shows the graph of (2) square  $S = 10 \text{ m}^2$  (area rescue boat).

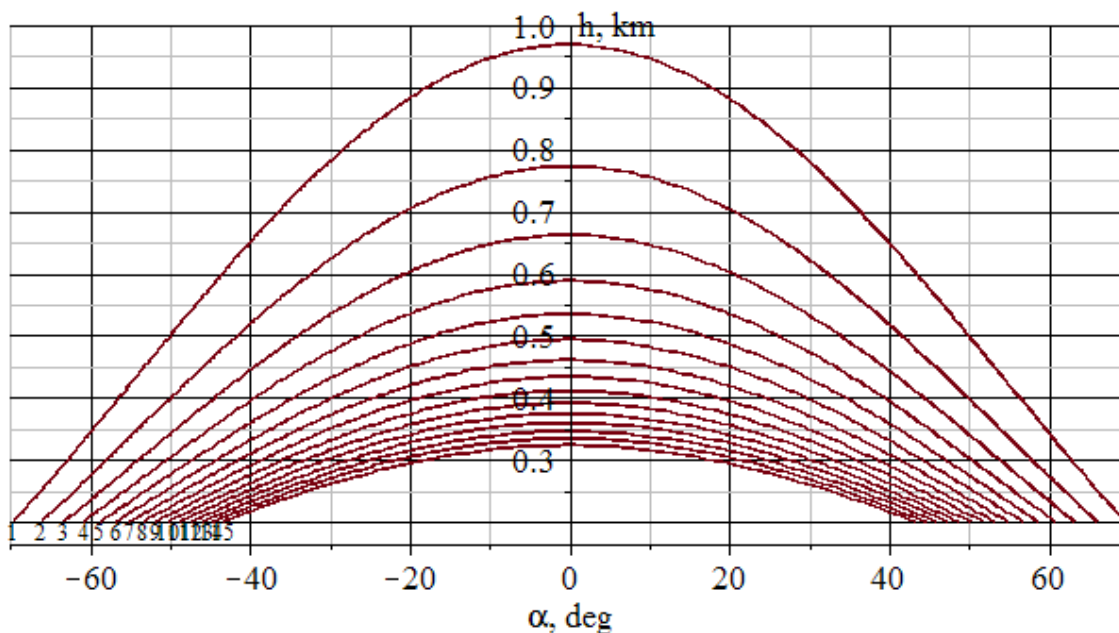
The figure shows that the magnitude of the solid angle decreases rapidly with increase in the altitude of SRA, and with increasing angle of view.

Since the likelihood of being OS in a single span of a search of the vessel depends on the magnitude of the solid angle under which the visible ow from the aircraft, the value of this angle cannot be arbitrarily small. Setting restrictions on its value (requires additional research, since it depends on other factors), it is possible to find the relation between aircraft altitude and angle. Latest and limits the bandwidth of the observation with a single span of SRA.



**Fig. 2.** The graph of the solid angle  $\theta(h, \alpha)$  under which OS is seen, the height of SRA and the angle of view

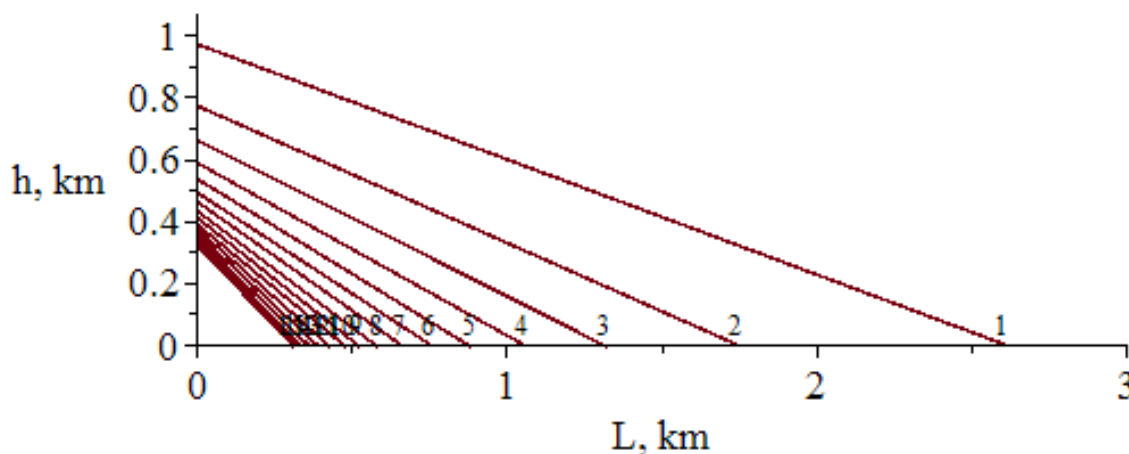
In Fig. 3 shows the histogram obtained on the basis of the graph dependencies  $\theta(h, \alpha)$ .



**Fig. 3.** Histogram to determine the ratio of the height of SRA, and the limiting value of the angle depending on the apparent size OS ( $\theta = 0.015 + 0.02 \cdot i \text{ deg}^2$ ,  $i = 1 \dots 15$ )

For example, if the characteristics of the object, the environment and separate optical power of the optical devices allow to identify OS with visible size not less than the height  $0.095 \text{ deg}^2$  of a search may not exceed 600 m, and the angle of view  $60^\circ$ .

Maximum height  $h$  and observation bandwidth  $L$  for the different apparent sizes are illustrated in Fig. 4.



**Fig. 4. The graph of the maximum height  $h$  and observation bandwidth  $L$  for the different apparent sizes**

Thus the bandwidth of the observation (in each direction) also may not exceed 1040 m.

**Conclusions.** First, the proposed approach for calculating the parameters of aviation emergency and rescue operations in the application of visual search persons in distress, or objects of search.

## REFERENCES

1. Postanova Kabinetu Ministriv Ukraini vid 14 listopada 2012 r. № 1037 «Porjadok zaluchennja poshukovo-rjatuval'nih sil i zasobiv do provedennja robit z poshuku i rjatuvannja, vidshkoduвання vitrat, pov'jazanih z jih provedennjam» [Elektron. resurs] / Rezhim dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/en>.
2. Nakaz Ministerstva vnutrishnih sprav Ukraini «Pro zatverdzhennja Pravil aviacijnogo poshuku i rjatuvannja v Ukraini» [Elektron. resurs] / Rezhim dostupu: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z0364-15>.
3. Napol'skih M.L. Poiskovo-spatatel'nye raboty v prirodnoj srede / M.L. Napol'skih. – Arhangel'sk: Gosakvaspas, 2012. – 194 s.
4. MAMPS – Rukovodstvo po mezhdunarodnomu aviacionnomu i morskomu poisku i spasaniju /London-Monreal': IMO-ICAO, 2010. – 478 s.
5. Cooper D.C. The Application of Search Theory to Land Search: Adjustment of Probability of Area / D.C.Cooper //AdjPOA.doc – 3/20/2000. – 26 p.

---

6. International aeronautical and maritime search and rescue manual. Volume II. Mission co-ordination / Hamburg: IAMSAR, 2007. – 411 p.

*Received by editorial Board 26.02.2017*

Р.Г. Мелешенко, В.К. Мунтян, О.А. Тарасенко

**Обґрунтування підходу для розрахунку параметрів авіаційних аварійно-рятувальних операцій при застосуванні візуального пошуку**

Запропоновано підхід для обґрунтування параметрів проведення візуального пошуку з пошуково-рятувальних повітряних суден, що пов'язує між собою характеристики об'єкту пошуку, висоту польоту спостерігача та ширину смуги спостереження.

**Ключові слова:** візуальний пошук, пошуково-рятувальне повітряне судно, параметри пошуку.

Р. Г. Мелешенко, В.К. Мунтян, А.А. Тарасенко

**Обоснование подхода для расчета параметров авиационных аварийно-спасательных операций при применении визуального поиска**

Предложен подход для обоснования параметров проведения визуального поиска с поисково-спасательных воздушных судов, который связывает между собой характеристики объекта поиска, высоту полета наблюдателя и ширину полосы наблюдения.

**Ключевые слова:** визуальный поиск, поисково-спасательное воздушное судно, параметры поиска.



*І.М. Неклонський, к.військ.н., доцент, НУЦЗУ,  
О.М. Смирнов, викладач, НУЦЗУ*

## **РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ КАПСУЛЬНИХ ВТУЛОК ДО АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПОСТРІЛІВ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБІТ**

(представлено д.т.н. Соловйом В.В.)

З метою впровадження нових високоефективних технологій утилізації боєприпасів і їх елементів розроблена технологія розрядження капсульних втулок способом імітації механічного спуску ударника гармати, яка дозволяє раціонально вилучати всі необхідні матеріали. Запропонована методика оптимального розподілу працівників по робочим місцям з урахуванням ризику виникнення аварії.

**Ключові слова:** утилізація, боєприпаси, технологія утилізації, система масового обслуговування.

**Постановка проблеми.** В Україні непридатні для подальшого використання і зберігання боєприпаси представляють постійну загрозу несанкціонованих вибухів і пожеж, що може привести до катастрофічних наслідків, пов'язаних із загибеллю людей і непоправним збитком природі. Темп старіння боєприпасів перевищує темп утилізації. Для розв'язання проблеми утилізації ракет, боєприпасів та вибухових речовин не придатних для подальшого використання і зберігання на арсеналах, базах, складах Збройних Сил та інших військових формувань прийнята спеціальна Державна програма [1].

Мета Програми полягає в забезпеченні комплексної утилізації боєприпасів, зокрема шляхом концентрації необхідних для цього фінансових і матеріально-технічних ресурсів, виробничого та науково-технічного потенціалу, а також зосередженні зусиль центральних органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій, що належать до сфери їх управління. Виконання Програми дає змогу у визначені строки забезпечити проведення утилізації близько 474,2 тис. тонн боєприпасів.

Відповідно [2] утилізація боєприпасів – це проведення підготовчих, організаційних, наукових, технічних, виробничих та інших робіт, спрямованих на безпечну та екологічно чисту зміну їх якісних, фізичних, хімічних та інших властивостей для унеможливлення використання за призначенням, результатом яких є отримання виробів спецхімії, вибухопожежобезпечних елементів, у тому числі металобрухту, вторинної сировини, що можуть бути використані в національній економіці.

Процедура утилізації передбачає певні заходи, що здійснюються відповідними органами ДСНС України, а саме: контроль заходів з утилі-

зації, погодження нормативних документів з питань утилізації та відповідних державних контрактів [2]. Для визначення найбільш ефективних методів утилізації потрібен належний механізм експертизи утилізації боєприпасів і вибухівки, ідентифікації небезпек і підвищення рівня безпеки необхідних процедур.

Враховуючи досвід утилізації озброєнь, військової техніки та боєприпасів необхідно зазначити, що з багатьох технологій стосовно знищення та утилізації озброєння і боєприпасів з економічних міркувань не завжди вибирають найефективніші процедури. У багатьох випадках процедури стосовно підвищення рівня безпеки збільшували вартість утилізації. Це є приводом для застосування простіших методів утилізації, що ускладнює отримання в процесі утилізації не тільки виробів спецхімії та вибухопожежобезпечних елементів, а й металобрухту і вторинної сировини. Особливо це стосується капсульних втулок (КВ), вибухників та інших засобів ініціювання вибуху. Крім того, технологічна політика утилізації боєприпасів насамперед має забезпечити техногенну та екологічну безпеку під час організації і виконання всіх необхідних робіт.

Виходячи з цього, виникає необхідність впровадження нових високо-ефективних технологій утилізації боєприпасів, наприклад розрядження КВ, та розгляду методичних аспектів оптимального розподілу особового складу та засобів по робочим місцям з урахуванням ризику виникнення аварії.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Удосконаленню національної системи утилізації боєприпасів в Україні присвячені роботи [3, 4], в яких автори торкаються багатьох методологічних аспектів, що мають вирішальне значення для розроблення ефективних організаційних процедур. Але питання технології утилізації автори розглядають в контексті технологічної політики утилізації боєприпасів.

Утилізація боєприпасів здійснюється з урахуванням положень [3, 5, 6] і передбачає знищення КВ способом спалювання або випалювання запалювального складу з КВ у бронепечах.

Підривання може бути рекомендоване як спосіб знищення боєприпасів, що не підлягають демонтажу, зважаючи на небезпеку. Використання даного способу достатньо безпечно при дотриманні нескладних правил поведінки з вибуховими матеріалами. В той же час підриви на відкритій місцевості можуть створити велике навантаження на навколишнє середовище, привести до забруднення повітря, води, загибелі природних екосистем.

Як основний спосіб утилізації розглядається розрядження КВ шляхом їх випалювання в спеціальних бронепечах. Технологічний процес розрядження КВ потребує розроблення і забезпечення спеціальним устаткуванням (бронепечами). Розрядження боєприпасів припускає видалення з корпусу КВ запалювального складу, шляхом їх випалювання. Це приводить до безповоротних втрат цінних, дефіцитних матеріалів і забруднення навколишнього середовища.

В даний час практично немає універсальної технології розрядження боєприпасів, яка б дозволяла раціонально вилучати всі необхідні матеріали і одночасно забезпечувала б техногенну та екологічну безпеку під час виконанні всіх необхідних робіт.

**Постановка завдання та його вирішення.** З метою впровадження нових високоефективних технологій утилізації боєприпасів і їх елементів доцільно розробити технологію розрядження КВ, яка б дозволяла раціонально вилучати всі необхідні матеріали та запропонувати методику оптимального розподілу особового складу по робочим місцям з урахуванням ризику виникнення аварії.

Розроблення технологій розрядження боєприпасів має певну специфіку, яку слід обов'язково враховувати при проведенні робіт. Утилізація боєприпасів є роботою з підвищеною небезпекою, вимагає наявності висококваліфікованих фахівців, специфічного технологічного устаткування, виробничих і складських приміщень, що відповідають умовам вибухопожежобезпеки.

Практика показала, що максимальна економічна ефективність програм утилізації боєприпасів може бути досягнута тільки більш досконалою переробкою матеріалів і сировини одержаних при утилізації в продукцію і реалізації їх на комерційній основі, у тому числі і за кордоном.

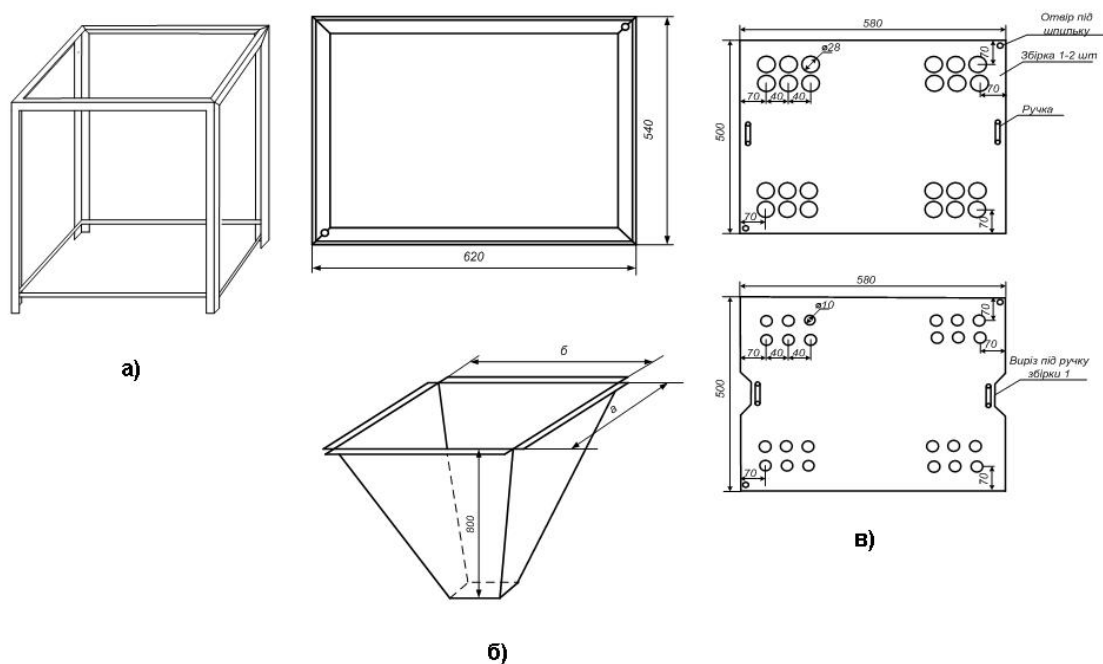
З огляду на це пропонуємо технологію розрядження КВ способом імітації механічного спуску ударника гармати. З економічної точки зору КВ, що застосовуються у артилерійських пострілах (табл. 1), недоцільно утилізувати способами підриву або випалювання в спеціальних бронепечах.

**Табл. 1. КВ, що застосовуються у артилерійських пострілах**

№ з/п	Найменування	Індекс КВ	Вага КВ із запально-валним складом (гр.)	Вага запально-вального складу		Вага корпусу (гр.)	
				марка	(гр.)	латунь ЛС-60	сталь Ст35-Н-8 або Ст.15
1	КВ-2У	К-011	12,04	ДРП-2	0,228	10,23	1,192
2	КВ-2	К-011	12,25	ДРП-2,3	0,32	10	1,54
3	КВ-4	54-К-001	67	ДРП-3	6,1	4,17	58
4	КВ-5	54-К-001	91	ДРП-3	1,3	8,6	69,12
5	КВ-5У	мех-м УД	91	ДРП-3	1,3	8,6	69,12
6	КВ-13 латунь	54-К-001	77,41	ДРП-2	2,7	73,98	–
7	КВ-13 сталь	54-К-001	77,41	ДРП-2	2,7	7,88	66,1
8	КВ-13У сталь	К-011	80	ДРП-2	2,9	5,71	71
9	КВ-13У латунь	К-011	80	ДРП-2	2,9	76,71	–
10	ГУВ-7 (4В2) – електрозапал вагою 0,32 г.	54-К-001	87,53	ДРП-3	1,56	28,916	56
11	КВ-17 (4В3)	К-011	90,9	ДРП-3	1,4	29,81	59,3

Пропонується розрядження КВ за допомогою спеціального пробійника, застосування якого дозволяє зімітувати механічний спуск ударника гармати, і тим самим, привести до спрацювання КВ.

Перш за все необхідно розглянути заходи щодо обладнання та забезпечення безпеки місця роботи. Перед початком роботи місце по розрядженню КВ повинно бути оснащено справним інструментом, засобами пожежогашіння й індивідуального захисту. Для розрядження КВ, що застосовуються у артилерійських пострілах (див. табл. 1), розроблена спеціальна установка, модель якої представлена на рис. 1. Установка монтується біля цеху на рівному відкритому майданчику з твердим покриттям.



**Рис. 1. Установка розрядження КВ: а) стійка з рамою (виготовляються зі сталевого кута 50x50 мм, спосіб з'єднання – зварювання); б) захисний конус (призначений для захисту працівника від уламків та палаючих компонентів); в) збірка для вкладання КВ (нижній лист завтовшки 8-10 мм з отворами  $\varnothing$  28 мм та верхній лист завтовшки 3-4 мм з отворами  $\varnothing$  10 мм)**

Устаткування й оснащення, що використовуються в роботі, має бути справними і налаштованим на конкретну номенклатуру КВ, що розряджаються. Висота установки столів, конвеєрів і рольгангів у зоні робочих місць не повинна перевищувати 0,8 м. Столи повинні мати борти висотою не менше 50 мм. Усі матеріали, які застосовуються при роботі з КВ мають пройти вхідний контроль відповідно до ДСТУ ISO 9001:2009 [7]. Матеріали на робочих місцях повинні знаходитися в типових, пристосованих ємностях.

Приміщення цеху, в якому проводяться роботи з боєприпасами, повинні бути не нижче I ступеня вогнестійкості. Роботу цеху планувати таким чином, щоб було неможливе одночасне знаходження на робочому місці, де відбувається розрядження КВ: більше 120 шт. капсульних вту-

лок КВ-4, КВ-5(У), КВ-13(У), КВ-17, ГУВ-7; більше 450 шт. капсульних втулок КВ-2(У); більше 5 кг по масі пороху (запалювального заряду).

Інструктаж працівників повинен проводитися за інструкціями і спеціальною програмою, затвердженими керівником об'єкта та погодженими з інженером з охорони праці, з урахуванням конкретних умов роботи і професії працівника, якого інструктують.

Загальне керівництво і відповідальність за правильну організацію навчання й інструктаж працівників з заходів безпеки покладаються на начальника цеху. Безпосереднє здійснення контролю за своєчасним проведенням навчання й інструктажу працівників з заходів безпеки покладається на інженера з охорони праці.

Подачу ящиків з КВ до пункту розряджання необхідно здійснювати автомобільним транспортом.

Роботи з утилізації КВ шляхом їх розрядження доцільно виконувати в наступній послідовності:

1. При цьому необхідно зняти ящики з КВ з автомобіля і укласти їх в металеву шафу на пункті робіт.

2. Ящик з КВ подати до місця відкривання ящиків та виконати заходи: розрізати ножицями по металу ошиновочну стрічку і зняти її з ящика; вилучити із замків стопорні вилки і укласти їх в збірки; зняти пломби; відкрити замки і кришку ящика; вилучити КВ з ящиків та передати їх на технологічний стіл. Звірити з обліковими документами марку партію, рік виготовлення. Візуально визначити ступінь небезпечності КВ (пошкодження) на розряджання.

3. В кожне гніздо збірки (сталевий лист завтовшки 8-10 мм з отворами  $\varnothing$  28 мм, для КВ-2У –  $\varnothing$  8 мм) вкласти рівно і без перекосів по одній КВ обов'язково капсулем вгору. Взяти збірку з вкладеними в неї КВ та покласти її на станину спеціального станка, призначеного для розряджання КВ.

4. Зверху на капсульні втулки наложити захисний щит завтовшки 3-4 мм з отворами  $\varnothing$  10 мм. Захисний щит міцно фіксується двома напрямляючими штифтами.

5. Операцію виконувати на спеціальній установці для розряджання КВ вручну за допомогою молотка і спеціального пробійника.

6. Перевірити надійність кріплення захисного щита.

7. Пробійник вставити в отвір захисного щита і ударом молотка по пробійнику почергово проводити розрядку КВ, які закладені в збірку. Операцію необхідно виконувати в засобах захисту (респіратор, окуляри – зі скла, яке не б'ється, навушники та рукавиці).

8. Після розряджання закладених в збірку КВ, її з захисним щитом вилучити зі станка, перевернути і візуально перевірити капсульні втулки на зворотній стороні на повноту спрацювання. КВ які неспрацювали (дали осічку) підлягають повторному розряджання.

9. Взяти збірку з розрядженими КВ за ручки і перенести до місця вилучення.

10. Вилучити КВ зі збірки та подати до місця закупування.

11. Здійснити пакування холостих (розряджених) КВ: поставити підготовлений порожній ящик на технологічний стіл; очистити КВ від золи, розсортувати його по вигляду і перевірити на безпеку і повноту згорання запалювального складу; скласти у підготовлене закупування розрядженні КВ (однакової кількості) не більше 30 кг; провести контрольний огляд укладання КВ у ящик та покласти пакувальний лист де вказано – марка КВ, кількість (вага), підпис пакувальника; закрити кришку ящика з КВ і закріпити замками; установити стопорні вилки на замки; опломбувати ящик з КВ; нанесення маркування на дерев'яний ящик; ящики з КВ складати у стопку (у стопці має бути не більше 4-6 ящиків); за допомогою тачки-медведки (Т-0,5) відвозити ящики з холостими КВ до місць тимчасового зберігання.

Не спрацьовані КВ після повторного наколу підлягають пакуванню в окремі ящики для послідуного знищення шляхом випалювання.

12. Видача холостих КВ до місць постійного зберігання.

Таким чином, утилізація КВ способом імітації механічного спуску ударника гармати представляє собою процес послідовного виконання наступних операцій: приймання ящиків з КВ; контроль КВ на допустимість до розрядження; підготовка до розрядження КВ; розрядження КВ за допомогою спеціального пробійника; вилучення КВ; пакування холостих КВ; видача холостих КВ. До числа відповідальних операцій відносяться: контроль КВ на допустимість до розрядження; розрядження за допомогою спеціального пробійника.

Ефективність і безпека даного процесу буде залежати від розподілу особового складу та засобів по робочим місцям таким чином, щоб забезпечити проведення технологічних операцій на робочих місцях у випадкові періоди часу і, водночас, не допускати перевантаження окремих ділянок вибухонебезпечними предметами, що збільшує ризик виникнення аварії. Таким чином виникає задача оптимального розподілу особового складу та засобів по робочим місцям. Така задача може бути вирішена з використанням методів дослідження операцій [8].

Процес утилізації можна представити у вигляді системи масового обслуговування [8]. Для математичного аналізу проведемо формалізацію задачі.

Нехай є множина КВ  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ , які потребують утилізації. Є перелік робіт (операцій)  $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ , які необхідно виконати для утилізації. Задані технології виконання робіт, які визначають порядок проходження КВ по робочим місцям під час утилізації  $L = \{o_1 - o_2 - \dots - o_n\}$ . Введемо наступні позначення:  $t_j$  – час виконання роботи  $o_j$ .

Утилізацію КВ можна представити як комплекс послідовних систем масового обслуговування в яких КВ поступають на чергове робоче місце тільки після того, як будуть виконані всі роботи на попередньому робочому місці. Даний процес схематично представлений на рис. 2.

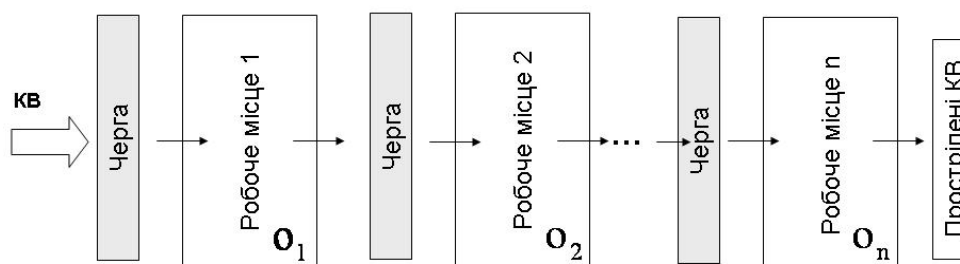


Рис. 2. Схема формалізованого процесу утилізації КВ

На кожному робочому місці кожний номер обслуги може одночасно обслуговувати лише один комплект КВ. Якщо у момент потрапляння чергового комплекту є вільний працівник, то він одразу приступає до роботи, якщо всі зайняті, то комплект КВ чекає, поки хтось звільниться. Отже, якщо число комплектів КВ, які потребують утилізації на кожному робочому місці, перевищить кількість працівників, то утвориться скупчення КВ – «черга».

Потік КВ, які необхідно утилізувати обмежений, тобто одночасно у системі обслуговування не може знаходитися більше  $m$  вимог, де  $m$  – кінцеве число. У якості критерію, який характеризує ефективність процесу утилізації КВ можна обрати відношення середньої довжини черги до  $m$  – найбільшій кількості КВ, що знаходяться одночасно на підготовці. Це відношення є коефіцієнтом простою КВ, що утилізуються. У якості другого критерію візьмемо відношення середнього числа незайнятих працівників до їх загальної кількості. Назвемо це відношення коефіцієнтом простою працівників. Перший критерій характеризує втрати часу за рахунок очікування початку обслуговування, другий – показує повноту завантаження обслуговуючої системи.

Оскільки у системі обслуговування одночасно не може знаходитися більше  $m$  КВ, то внаслідок цього вона може знаходитись у момент часу  $t$  не більше ніж у  $(m + 1)$  різних станах. Ці стани будуть визначатися числом вимог, що знаходяться на обслуговуванні та очікують у черзі. Очевидно, що черга може виникнути лише за умови, що число працівників  $n < m$ .

Імовірність того, що зайнято  $k$  працівників буде визначатись за формулою

$$P_k = \frac{m!}{k!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k P_0, \quad (1 \leq k \leq n), \quad (1)$$

де  $\lambda$  – частота поступлення КВ на утилізацію;  $\frac{1}{\nu}$  – середній час утилізації однієї КВ;  $m$  – найбільше можливе число КВ, які знаходяться на утилізації одночасно.

Імовірність того, що у системі знаходиться  $k$  КВ, для випадку, коли їх кількість більша кількості працівників, буде визначатись за формулою

$$P_k = \frac{m!}{n^{k-n} n!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k P_0, \quad (n < k \leq m), \quad (2)$$

де  $n$  – кількість працівників.

Імовірність того, що усі обслуговуючі апарати вільні буде визначатись по наступній залежності

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^n \frac{m!}{k!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k + \sum_{k=n+1}^m \frac{m!}{n^{k-n} n!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k \right]^{-1}. \quad (3)$$

Основні показники критеріїв, що характеризують ефективність процесу утилізації будуть визначатись за наступними рівняннями.

Середня кількість КВ, які знаходяться у обслуговуючій системі

$$M_1 = \sum_{k=n+1}^m \frac{(k-n)m!}{n^{k-n} n!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k P_0. \quad (4)$$

Коефіцієнт простою КВ, що утилізуються

$$R_{KB} = \frac{M_1}{m} = \frac{(m-1)!}{n!} \sum_{k=n+1}^m \frac{k-n}{n^{k-n} n!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k P_0. \quad (5)$$

Середня кількість КВ, що знаходяться на підготовці

$$M_2 = \left[ \sum_{k=1}^n \frac{m!}{(k-1)!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k + \sum_{k=n+1}^m \frac{k \cdot m!}{n^{k-n} n!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k \right] P_0. \quad (6)$$

Середня кількість працівників, що обслуговують КВ

$$M_3 = \sum_{k=1}^n (n-k) p_k + \sum_{k=n+1}^m \frac{(n-k) \cdot m!}{k!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k P_0. \quad (7)$$

Коефіцієнт простою працівників, що обслуговують КВ

$$R_{np.} = \frac{M_3}{n} = \sum_{k=0}^{n-1} p_k = 1 - \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} k p_k. \quad (8)$$



Очевидно, що для зменшення часу перебування КВ в черзі на обслуговування необхідно, щоб інтенсивність проведення робіт  $v_j = \frac{1}{t_j}$  на кожному робочому місці дорівнювала інтенсивності надходження КВ на обслуговування  $\lambda$

$$\lambda = \frac{N}{T_{\text{заг.}} - T_1}, \quad (9)$$

де  $N$  – загальна кількість КВ, яку необхідно підготувати;  $T_{\text{заг.}}$  – потрібний час підготовки загальної кількості КВ;  $T_1$  – час підготовки одного зразка КВ за умов відсутності черги.

Тобто

$$\frac{1}{t_j} = \frac{N}{T_{\text{заг.}} - T_1}. \quad (10)$$

Значення  $t_j$  на кожному робочому місці є різним тому виконання вимоги (10) можливе тільки у випадку збільшення значення  $v_j$ , якого можна досягти за рахунок введення додаткової кількості –  $(k_j - 1)$  працівників, які виконують роботу на кожному  $j$ -му робочому місці (мається на увазі, що на кожне робоче місце перед початком робіт розподілено по одному номеру обслуги). Таким чином значення інтенсивності обслуговування КВ на кожному робочому місці буде дорівнювати

$$v'_j = \frac{k_j}{t_j}, \quad (11)$$

де  $k_j$  – кількість працівників на кожному робочому місці.

Під час аналізу процесу утилізації КВ (рис. 2) його необхідно розглядати як функціонування конвеєру послідовності декількох  $k_j$ – канальних систем масового обслуговування. При цьому значення інтенсивності обслуговування КВ на  $(j-1)$ -му робочому місці буде дорівнювати інтенсивності надходження КВ на обслуговування на  $j$ -те робоче місце

$$v'_{j-1} = \lambda_j. \quad (12)$$

Для мінімізації втрати від несвоєчасного обслуговування КВ внаслідок перебування в чергах та простоїв працівників необхідно забезпечити виконання вимоги (12) тобто

$$|v'_{j-1} - \lambda_j| \rightarrow \min, j = \overline{1, n}. \quad (13)$$

Це дозволить зменшити значення коефіцієнтів (5) та (8).

Виходячи з розглянутої задачі оптимального розподілу працівників по робочим місцям можна сформулювати у наступному вигляді

$$- \text{мінімізувати } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_i - \lambda_j|, i \neq j, \text{ при обмеженнях } \sum_{j=1}^n k_j = K;$$

$k_j \geq 1$ ;  $k_j$  – ціле число.

Для визначення  $k_j$  пропонується використовувати наступну методику.

1 етап. Визначити середні тривалості виконання робіт на кожному робочому місці –  $t_j$ .

2 етап. Проранжувати робочі місця у порядку зменшення часу виконання робіт  $t_j$ .

3 етап. Розподілити на кожне робоче місце по одній особі з числа працівників.

4 етап. Визначити кількість працівників  $(K - j)$ , що залишались не розподіленими.

5 етап. Призначити на перше робоче місце, визначене на 2 етапі додаткову кількість працівників  $(K - j)$ .

$$6 \text{ етап. Визначити значення } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_i - \lambda_j|, i \neq j.$$

7 етап. Зменшити на одну особу кількість працівників на першому робочому місці, визначеному на 2 етапі, яку додати до наступного з місць, визначених на 2 етапі.

$$8 \text{ етап. Визначити значення } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_i - \lambda_j|, i \neq j.$$

9 етап. У випадку зменшення визначеного значення

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_i - \lambda_j|, i \neq j \text{ у порівнянні з попереднім значенням виконують 7 та 8}$$

етапи, до тих пір доки відбуватиметься зменшення значення

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_i - \lambda_j|, i \neq j. \text{ У протилежному випадку розподіл працівників по}$$

робочих місцях вважається оптимальним.

Таким чином, з метою впровадження нових високоефективних технологій утилізації боєприпасів і їх елементів розроблена технологія розрядження КВ способом імітації механічного спуску ударника гармати, яка дозволяє раціонально вилучати всі необхідні матеріали. Запропонована

методика оптимального розподілу особового складу по робочим місцям з урахуванням ризику виникнення аварії.

Такий підхід може бути реалізований відповідними органами ДСНС України в процесі проведення експертизи утилізації боєприпасів і вибухівки під час здійснення заходів контороллю, погодження нормативних та інших документів з питань утилізації.

Крім того, при використанні відповідної технології орієнтовна продуктивність розрядження КВ буде складати 2800-3000 шт. у зміну. Наприклад, при вихолощенні 100000 шт. КВ-13У або КВ-13 (33 робочих дні) це дасть змогу додатково отримати металобрухту: 6,61 т при утилізації КВ-13, корпус сталевий (Ст35-Н-8); 7,398 т при утилізації КВ-13, корпус латунний (ЛС-60); 7,1 т при утилізації КВ-13У, корпус сталевий (Ст35-Н-8); 7,674 т при утилізації КВ-13У, корпус латунний (ЛС-60).

Економічна ефективність запропонованої технології може бути доведена після моніторингу вартості металобрухту на ринках вторинної сировини.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Державної цільової оборонної програми утилізації звичайних видів боєприпасів, не придатних для подальшого використання і зберігання, на 2008–2017 роки [Текст]: постанова Кабінету Міністрів України від 22 жовтня 2008 р. № 940 // Офіційний вісник України. – 2008. – № 82. – 07 листопада. – С. 156.

2. Про затвердження Порядку утилізації ракет, боєприпасів і вибухових речовин [Текст]: постанова Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006 р. № 812 // Офіційний вісник України. – 2006. – № 24. – 29 червня. – С. 23.

3. Україна: Стратегічні пріоритети. Аналітичні оцінки – 2006: Монографія [Електронний ресурс] / За ред. О.С. Власюка. – К.: НІСД, 2006. – Режим доступу: [http://old.niss.gov.ua/book/Vlasyuk\\_mon/07-5.pdf](http://old.niss.gov.ua/book/Vlasyuk_mon/07-5.pdf).

4. Буравльов Є.П. Формування національної системи утилізації боєприпасів [Електронний ресурс] / Є.П. Буравльов, В.В. Гетьман // Стратегічна панорама: щоквартальний науково-практичний журнал. – Національний інститут стратегічних досліджень, 2005. – №3. – Режим доступу: [http://www.niss.gov.ua/vydanna/panorama/2005\\_3.php](http://www.niss.gov.ua/vydanna/panorama/2005_3.php).

5. Инструкция по разрядке и уничтожению боеприпасов на арсеналах, базах и окружных складах [Текст]. – М.: Воениздат, 1986. – 80 с.

6. НПАОП 29.6-1.01-07. Правила безпеки під час утилізації боєприпасів [Текст]. – Введ. 12-03-2007. – К.: Держгірпромнагляд, 2007. – 32 с.

7. ДСТУ ISO 9001:2009. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2008, IDT) [Текст]: – Чинний від 2009-09-01. – К.: Держстандарт України, 2009. – 26 с. – (Національний стандарт України).

---

8. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 208 с.

*Отримано редколлегією 23.02.2017*

И.М. Неклонский, О.Н. Смирнов

**Разработка технологии утилизации капсульных втулок к артиллерийским выстрелам с учетом риска возникновения аварии и экономической эффективности работ**

С целью внедрения новых высокоэффективных технологий утилизации боеприпасов и их элементов разработана технология разрядки капсульных втулок способом имитации механического спуска ударника пушки, которая позволяет рационально извлекать все необходимые материалы. Предложена методика оптимального распределения работников по рабочим местам с учетом риска возникновения аварии.

**Ключевые слова:** утилизация, боеприпасы, технология утилизации, система массового обслуживания.

I.M. Neklonskyi, O.N. Smyrnov

**Technology development for recycling capsule bushings to artillery shots with considering the risk of accident and economic efficiency of work**

With a view to the introduction of new high-performance technologies disposal of ammunition and their components designed discharge technology capsule sleeves manner simulating mechanical shutter striker gun. The technology allows you to efficiently extract all the necessary materials. The method of optimal allocation of workers for jobs, with considering the risk of an accident.

**Keywords:** recycling, ammunition, disposal technology, queuing system.

*Б.Б. Поспелов, д.т.н., профессор, н.с., НУГЗУ,  
В.А. Андронов, д.т.н., профессор, проректор, НУГЗУ,  
Е.А. Рыбка, к.т.н., зам. нач. центра – нач. отдела, НУГЗУ*

## **АЛГОРИТМЫ И УСТРОЙСТВА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОБНАРУЖЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СЛУЧАЕ НЕИЗВЕСТНЫХ ФУНКЦИЙ ПОТЕРЬ**

Рассмотрен неклассический подход к синтезу алгоритмов и устройств оптимального прогнозирования и обнаружения опасных состояний объектов по наблюдаемым данным в случае невозможности точного задания функций потерь. Основным отличием полученных алгоритмов и устройств оптимального прогнозирования и обнаружения является то, что разделяющая функция определяется функциями потерь, зависящих от наблюдаемых данных, восстанавливаемого составного вектора параметров и априорной информации о наблюдаемых опасных состояниях объектов.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, алгоритм оптимального прогнозирования, устройство оптимального обнаружения, состояние, опасный объект.

**Постановка проблемы.** Общая тенденция роста частоты и интенсивности чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также материальных убытков от них свидетельствуют о неэффективности средств обнаружения ЧС и мероприятий по их ликвидации, а также несовершенству реагирования на опасности [1]. Поэтому в последнее время в теории и практике защиты населения и территорий от различных опасностей акцент смещается от традиционного факта обнаружения ЧС в сторону обнаружения опасных состояний объектов различной сферы, которые способны приводить к появлению ЧС – прогнозированию с совместным обнаружением ЧС. В этой связи одной из актуальных остается проблема определения алгоритмов и устройств оптимального прогнозирования и обнаружения ЧС по наблюдаемым данным.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Несмотря на достаточное развитие и широкое освещение в литературе статистической методологии, ее использование в практике защиты населения и территорий от различных опасностей в настоящее время оказывается недостаточным. Классическая статистическая методология, впервые рассматриваемая В.А. Котельниковым, используя байесовский подход, базируется помимо критериев на использовании большого объема априорной информации о наблюдаемых данных (данных мониторинга). Однако большинство реальных задач защиты населения и территорий характеризуется либо отсутствием такой информации об опасностях, либо отсутствием достаточной уверенности в том, что наблюдаемые

данные являются достоверными. Это служит главным ограничением на пути прямого использования классической методологии при решении реальных задач гражданской защиты от ЧС. Попытки применения классической статистической методологии для решения реальных частных задач гражданской защиты от ЧС рассматривались в работах [2, 3]. Полученные в них результаты основывались на достаточно полной априорной информации об оцениваемых событиях, характерных для разомкнутых систем.

Реальные потенциально опасные объекты мониторинга, по сути, представляют замкнутые системы, неприводимые к разомкнутым системам. Поэтому недостаток априорной информации об опасности объекта вынуждает прибегать к совмещению процессов изучения такого объекта и управления им. Впервые возможности такого оптимального управления (дуального управления) на основе теории статистических решений рассматривались в А.А. Фельдбаумом и Я.З. Цыпкиным. К сожалению, большинство известных в литературе результатов в этой области касается радиотехнических приложений. Однако формализация общих результатов позволяет распространить их на другие приложения. В частности это касается одной из проблемных задач гражданской защиты от ЧС, связанной с оптимальным прогнозированием и обнаружением ЧС по данным мониторинга в случае невозможности точного задания функций потерь.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью настоящей работы является рассмотрение неклассического подхода, развиваемого Я.З. Цыпкиным, к решению проблемной задачи определения алгоритмов и устройств оптимального прогнозирования и обнаружения ЧС на объектах технической и природной сферы по данным мониторинга при отсутствии информации о функциях потерь.

В общем случае задачу прогнозирования ЧС можно представить в виде некоторой задачи обнаружения (классификации) трех гипотез (состояний объекта). При этом задача обнаружения ЧС будет представлять частный случай указанной задачи прогнозирования при числе гипотез (состояний объекта), равном двум. В этой связи вначале рассмотрим задачу прогнозирования, а затем на ее основе задачу обнаружения ЧС.

Динамику функционирования большинства существующих опасных объектов (ОО) с учетом прогнозирования их состояний можно рассматривать в виде некоторого ситуационного процесса с тремя возможными состояниями. Первое из них связано с ситуацией  $X_1^0$ , когда состояние ОО полностью соответствует заданным условиям его функционирования и в принципе появление опасности, приводящей к ЧС маловероятно. Второе связано с ситуацией  $X_2^0$ , когда состояние ОО не соответствует заданным условиям его функционирования и может привести к

ЧС, но пока не требуется применение активных мер по ликвидации этого состояния. Третье состояние связано с ситуацией  $X_3^0$ , когда состояние ОО приводит к появлению ЧС, требующей применение активных воздействий по ее прекращению и ликвидации последствий. При этом в реальных условиях каждая из упомянутых ситуаций ОО является событием случайным.

Обозначим через  $X$  пространство рассматриваемых выше ситуаций ОО. Данное пространство разобьем на три непересекающиеся области  $X_k$ , где  $k=1,2,3$ . Тогда для синтеза оптимального алгоритма прогнозирования (решающего правила) необходимо сформулировать критерий качества прогнозирования состояний ОО, т. е. обнаружения ситуаций  $X_k^0$ ,  $k=1,2,3$ . При этом оптимальный алгоритм должен быть таким, чтобы сформулированный критерий достигал некоторого экстремума. При этом задача синтеза алгоритма оптимального прогнозирования и обнаружения состояний ОО сводится к отысканию алгоритма, который, в смысле заданного критерия, реализует наилучшее разбиение пространства ситуаций  $X$  на области  $X_k$ ,  $k=1,2,3$ .

С целью конкретизации понятия «наилучшего разбиения» в условиях отсутствия априорной информации будем рассматривать матрицу произвольных функций потерь прогноза  $F_{km}(x, c)$  для значений  $k, m=1,2,3$ . В рассматриваемом случае функции потерь имеют произвольный вид, который определяется с точностью до составного вектора параметров  $c = [c_1 \ c_2 \ c_3]$  и зависит от наблюдаемых данных. Пусть функции  $F_{km}(x, c)$ ,  $k, m=1,2,3$  характеризуют риски прогноза ЧС, связанные с отнесением ситуации  $X_k^0$  к классу ситуаций  $X_m^0$  или попаданием ситуации  $X_k^0$  в область  $X_m$ . Тогда на главной диагонали матрицы потерь будут расположены риски при правильном прогнозировании состояний ОО, а по обеим сторонам от главной диагонали будут располагаться риски (потери) при ошибочном прогнозировании состояний ОО. Будем полагать, что для всех  $k=1,2,3$  функции потерь прогноза  $F_{kk}(x, c) < 0$ . При этом такие отрицательные риски можно рассматривать как некие выигрыши при правильном прогнозировании рассматриваемых состояний ОО.

Пусть ситуация для каждого класса  $X_k^0$  из пространства  $X$  характеризуется условной плотностью распределения  $p(x/k) = p_k(x)$  и заданной априорной вероятностью  $P_k$  этих ситуаций. Тогда, вводя для указанных выше данных вектор  $P(x) = [p_1(x)P_1 \ p_2(x)P_2 \ p_3(x)P_3]^T$ , средний риск прогнозирования состояний ОО будет представлять собой некий

функционал, зависящий от границ  $\Lambda_{km}$  между соответствующими областями  $X_k$  и  $X_m$  для всех  $k, m = 1, 2, 3$  и составного вектора с функций потерь. В случае фиксированного составного вектора с прогнозируемые состояния ОО будут разделяться по соответствующим границам  $\Lambda_{km}$ .

С целью отыскания оптимального, в смысле минимума рассматриваемого среднего риска прогнозирования состояний ОО, алгоритма определения границ и составного вектора, воспользуемся характеристическими функциями  $\Theta_m(x, c) = \begin{cases} 1, & \text{если } X \in X_m \\ 0, & \text{если } X \notin X_m \end{cases}$ ,  $m = 1, 2, 3$ , которые для

удобства представим в виде некоторого вектора  $\Theta(x, c) = [\Theta_1(x, c) \quad \Theta_2(x, c) \quad \Theta_3(x, c)]^T$  характеристических функций решений. С учетом этого величину среднего риска прогнозирования и обнаружения рассматриваемых состояний ОО удобно представить в виде соответствующего интегрального векторно-матричного уравнения следующего вида

$$R(c) = \int_X \Theta^T(x, c) F^T(x, c) P(x) dx. \quad (1)$$

В представлении (1) средний риск прогнозирования и обнаружения состояний ОО не зависит от границ между областями в пространстве  $X$ . Это означает, что условие минимума среднего риска (1) будет определяться равенством нулю градиента  $\nabla_c R(c)$  по составному вектору  $c$ , т. е.

$$\nabla_c R(c) = \int_X \nabla_c \Theta^T(x, c) F^T(x, c) P(x) dx + \int_X \Theta^T(x, c) \nabla_c F^T(x, c) P(x) dx = 0. \quad (2)$$

В выражении (2) матрица  $\nabla_c F(x, c)$  характеризует чувствительность соответствующих функции потерь прогноза по вектору  $c$ , а вектор  $\nabla_c \Theta(x, c)$  – чувствительность характеристических функций по указанному вектору.

Полагая, что характеристические функции  $\Theta_m(x, c)$  для всех  $m = 1, 2, 3$ , определяют при каждом фиксированном векторе  $c$  границы  $\Lambda_{km}$  между областями  $X_k$  и  $X_m$  в пространстве наблюдений  $X$ , доставляющие минимум среднему риску (1), вектор чувствительности  $\nabla_c \Theta(x, c)$  должен быть нулевым. С учетом этого первый интеграл в выражении (2) должен равняться нулю, т. е.

$$\int_X \nabla_c \Theta^T(x, c) F^T(x, c) P(x) dx = 0.$$

Это означает, что и второй интеграл в (2)  $\int_X \Theta^T(x, c) \nabla_c F^T(x, c) P(x) dx = 0$ .



Градиент  $\nabla_c \Theta(x, c)$  представляет собой вектор многомерных  $\delta$  – функций, которые за исключением точек, принадлежащих границам  $\Lambda_{km}$  между областями  $X_k$  и  $X_m$  для всех  $k, m = 1, 2, 3$ , равны нулю. Это означает, что для границы  $\Lambda_{sm}$  между областями  $X_s$  и  $X_m$  в пространстве  $X$  градиент  $\nabla_c R(c) = \int_{\Lambda_{sm}} \Delta_{sm}(x, c)^T P(x) dx = \int_{\Lambda_{sm}} f_{sm}(x, c) dx = 0$ . При этом вектор  $\Delta_{sm}(x, c) = F_s(x, c) - F_m(x, c)$  представляет собой вектор разности векторов потерь прогнозирования (обнаружения)  $F_s(x, c) = [F_{1s}(x, c) \ F_{2s}(x, c) \ F_{3s}(x, c)]^T$  и  $F_m(x, c) = [F_{1m}(x, c) \ F_{2m}(x, c) \ F_{3m}(x, c)]^T$  для соответствующих областей  $X_s$  и  $X_m$ . Функция  $f_{sm}(x, c) = \Delta_{sm}(x, c)^T P(x)$  представляет собой разделяющую функцию прогнозирования (обнаружения) состояний ОО, знак которой является признаком принимаемого решения о прогнозе (обнаружении) рассматриваемых состояний ОО. В этом случае уравнение

$$f_{sm}(x, c) = \Delta_{sm}(x, c)^T P(x) = 0, \quad (3)$$

будет определять поверхность, оптимально разделяющую области  $X_s$  и  $X_m$ .

Условие (3) означает, что общий алгоритм оптимального прогнозирования и обнаружения рассматриваемых состояний ОО можно сформулировать в следующей форме:

наблюдаемые данные  $x$  (данные мониторинга) о состояниях ОО соответствуют состоянию  $X_k$ ,  $k = 1, 2, 3$ , т. е.  $x \in X_k$  или они относятся к классу  $X_k^0$ , если величина  $\Delta_{km}(x, c)^T P(x) < 0$ , для всех  $m = 1, 2, 3$  при условии  $m \neq k$ .

При этом вектор  $c$  в представлении  $\Delta_{km}(x, c)$  определяется из условия равенства нулю второго интеграла в (2).

На основании общего алгоритма оптимального прогнозирования и обнаружения можно записать частный алгоритм оптимального прогнозирования ЧС (обнаружение состояния  $X_2$ ) по данным  $x$  мониторинга состояний ОО в следующей форме:

наблюдаемые данные  $x$  соответствуют прогнозу состояния  $X_2$ , т. е.  $x \in X_2$  или они относятся к классу  $X_2^0$ , если величина  $\Delta_{2m}(x, c)^T P(x) < 0$ , для всех  $m = 1, 2, 3$  при условии, что  $m \neq 2$ .

Из общего алгоритма оптимального прогнозирования и обнаружения можно записать также частный алгоритм оптимального обнаружения ЧС (обнаружение состояния  $X_3$ ) по данным  $x$  мониторинга состояний ОО в следующей форме:

наблюдаемые данные  $x$  соответствуют обнаружению состояния  $X_3$ , т. е.  $x \in X_3$  или они относятся к классу  $X_3^0$ , если величина  $\Delta_{3m}(x, c)^T P(x) < 0$ , для всех  $m = 1, 2, 3$  при условии, что  $m \neq 3$ .

Представим скалярное произведение  $\Delta_{km}(x, c)^T P(x)$  в следующем виде

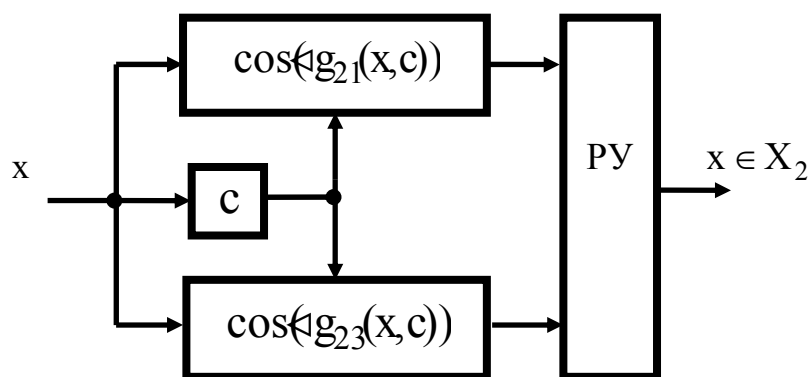
$$\Delta_{km}(x, c)^T P(x) = \|\Delta_{km}(x, c)\| \|P(x)\| \cos(\angle g_{km}(x, c)), \quad (4)$$

где  $\|*\|$  – означает норму для соответствующего вектора, а  $\angle g_{km}(x, c)$  – угол между векторами  $\Delta_{km}(x, c)$  и  $P(x)$ . Поскольку нормы соответствующих векторов в (4) положительные, то общий алгоритм оптимального прогнозирования и обнаружения можно представить в иной форме: наблюдаемые данные  $x$  (данные мониторинга) о состояниях ОО соответствуют состоянию  $X_k$ ,  $k = 1, 2, 3$ , т. е.  $x \in X_k$  или они относятся к классу  $X_k^0$ , если величина  $\cos(\angle g_{km}(x, c))$  для всех  $m = 1, 2, 3$  при условии, что  $m \neq k$ .

С учетом этого алгоритм оптимального прогнозирования ЧС может быть представлен в виде

наблюдаемые данные  $x \in X_2$ , если  $\cos(\angle g_{2m}(x, c)) < 0$  для всех  $m = 1, 3$ . (5)

Алгоритм (5) оптимального прогнозирования ЧС может быть реализован в виде устройства, структурная схема которого приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Структурная схема устройства оптимального прогнозирования ЧС при отсутствии информации о функциях потерь**

В схеме на рис. 1 решающее устройство (РУ) формирует на своем выходе сигнал только в случае отрицательных значений сигналов на его входах, действующих на выходах соответствующих функциональных преобразователей данных наблюдения. Наличие сигнала на выходе РУ означает, что наблюдаемые данные соответствуют ситуации  $X_2^0$ , при

которой состояние ОО не соответствует заданным условиям его функционирования, и наблюдаемая ситуация может привести к появлению ЧС. Во всех остальных случаях сигнал на выходе РУ отсутствует, и устройство продолжает наблюдение за входными данными  $x$ .

Алгоритм оптимального обнаружения ЧС в этом случае может быть записан в виде

$$\text{наблюдаемые данные } x \in X_3, \text{ если } \cos(\angle g_{3m}(x, c)) < 0 \text{ для всех } m = 1, 2. \quad (6)$$

Данный алгоритм оптимального обнаружения ЧС (6) может быть реализован в виде устройства, структурная схема которого аналогична рис. 1. При этом схема оптимального обнаружителя ЧС будет отличаться используемыми функциональными преобразователями, которые должны будут выполнять в этом случае вычисление  $\cos(\angle g_{31}(x, c))$  и  $\cos(\angle g_{32}(x, c))$  соответственно.

В случае алгоритма совместного оптимального прогнозирования и обнаружения ЧС по наблюдаемым данным необходимо объединить алгоритмы (5) и (6). При этом структурная схема устройства совместного прогнозирования и обнаружения ЧС по наблюдаемым данным может быть представлена на рис. 2.

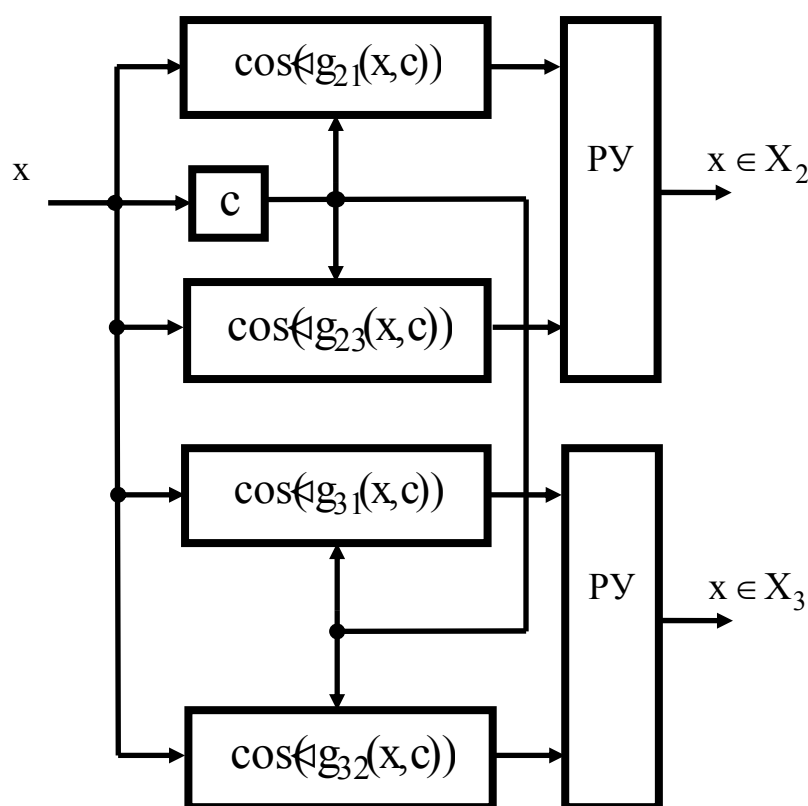


Рис. 2. Структурная схема устройства совместного оптимального прогнозирования и обнаружения ЧС при отсутствии информации о функциях потерь

Схема устройства, представленного на рис. 2, состоит из двух независимых каналов обработки данных (верхний – канал прогноза) и нижний канал (канал – обнаружения). Указанные каналы объединены общим сигналом, определяемым составным вектором, вычисляемым из условия равенства нулю второго интеграла в выражении (2) и зависящим от наблюдаемых данных. Каналы прогноза и обнаружения ЧС функционируют параллельно и независимо. Сигналы на выходе РУ этих каналов позволяют различать состояния ОО, связанные с опасными ситуациями – предвестниками ЧС и ситуациями наличия самих ЧС, требующими активных действий для их ликвидации.

Полученные оптимальные алгоритмы и устройства отличаются от обычных алгоритмов, полученных на основе классической теории решений тем, что в них фигурируют не фиксированные функции потерь, а функции потерь, заданные с точностью до восстанавливаемого составного вектора параметров.

Таким образом, рассмотрен неклассический подход к решению задач синтеза алгоритмов и устройств оптимального прогнозирования и обнаружения состояний ОО по наблюдаемым данным (данным мониторинга) в случае невозможности точного определения функций потерь. Основным отличием полученных алгоритмов оптимального прогнозирования и обнаружения ЧС на ОО является то, что разделяющая функция определяется произвольным видом функций потерь с точностью до восстанавливаемого по наблюдаемым данным составного вектора параметров и априорной информацией об опасных состояниях. Сформулирован оптимальный в смысле минимума среднего риска алгоритм и предложено устройство оптимального совместного прогнозирования и обнаружения ЧС в случае невозможности точного определения функций потерь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2015 рік. – К.: Укр. НДІЦЗ ДСНС України, 2016. – 356 с.

2. Поспелов Б.Б. Выбор показателей качества и критерии оптимизации современных систем раннего обнаружения чрезвычайных ситуаций / Б.Б. Поспелов, Р.И. Шевченко, Е.А. Басманов, А.А. Федцов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ. – 2012. – Вип. 15. – С. 122-131. – [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol15/Pospelov.pdf>.

3. Поспелов Б.Б. Гарантированное оценивание состояний потенциально опасных объектов в условиях неопределенности / Б.Б. Поспелов, В.А. Андронов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ. – 2016. –

Вип. 24. – С.87-92. – [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol24/pospelov.pdf>.

*Получено редколлегией 06.03.2017*

Б.Б. Поспелов, В.А. Андронов, Є.А. Рибка

**Алгоритми і пристрої оптимального прогнозування та виявлення надзвичайних ситуацій в разі невідомих функцій втрат**

Розглянуто неklasичний підхід до синтезу алгоритмів і пристроїв оптимального прогнозування і виявлення небезпечних станів об'єктів по спостережуваних даних в разі неможливості точного завдання функцій втрат. Основною відмінністю отриманих алгоритмів і пристроїв оптимального прогнозування і виявлення є те, що розділяє функція визначається функціями втрат, що залежать від спостережуваних даних, відновлюваного складеного вектора параметрів і апіорної інформації про спостережувані небезпечних станах об'єктів.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, алгоритм оптимального прогнозування, пристрій оптимального виявлення, стан, небезпечний об'єкт.

B.B. Pospelov, V.A. Andronov, E.A. Ribka

**Algorithms and devices of optimum forecasting and detection of extreme situations in the case of unknown functions of losses**

Considered non-classical approach to the synthesis of algorithms and devices for optimal prediction and detection of dangerous states of objects from the observed data in the case of impossibility of exact specification of loss functions is considered. The main difference between the obtained algorithms and devices for optimal prediction and detection is that the separating function is determined by loss functions that depend on the observed data, the reconstructed composite parameter vector, and a priori information about the observed dangerous states of objects.

**Keywords:** emergency situation, optimal prediction algorithm, optimal detection device, state, dangerous object.

*С.Ю. Рагімов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
Ю.М. Сенчихін, к.т.н., професор, НУЦЗУ,  
Н.В. Долгополова, к.т.н., с.н.с., ІПМаш НАН України*

## **РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАХИСНОГО ШОЛОМУ РЯТУВАЛЬНИКА**

(представлено д.т.н. Тарасенком О.А.)

Проаналізовано важливість підвищення захисних якостей забрала шолому-каска від теплової дії. Запропоновано метод розв'язання стаціонарної задачі теплопровідності багатопарового захисного забрала каски при впливі температурних полів.

**Ключові слова:** безпека, захисні каски і забрала, теплопровідність, багатопарове оскління, оболонка.

**Постановка проблеми.** Питання про захист рятувальників, що працюють в умовах підвищеного ризику вирішується спеціальним екіпіруванням, де одним з невід'ємних елементів є ударно-захисний шолом-каска, що захищає найбільш вразливу і життєво важливу частину тіла людини – голову. Варто підкреслити, що для безпечної роботи рятувальників, необхідно мати ефективний і надійний захист, перш за все, обличчя, шиї та органів зору від механічного, променевого та теплових впливів, що виникають при пожежах. Тому важливим є вдосконалення захисту рятувальників від небажаних дій, а саме теплового випромінювання, здебільшого на обличчя та органи зору [1].

Однією із проблем є відсутність достатньо обґрунтованих методів розрахунку параметрів теплового стану елементів захисного шолому рятувальника, що не дає можливості аналізувати та надавати необхідні пропозиції для роботи рятувальників в умовах теплової дії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При вивченні досліджень захисних заходів на предмет теплової дії на пожежних рятувальників майже не знайдено робіт щодо забрала касок. Велика частина робіт в цьому напрямку присвячена дослідженню теплозахисних костюмів рятувальників та безпеки захисту касок від механічного впливу [2, 3]. Але в роботі [4] детально розглянуті питання моделювання теплового впливу на пожежний шолом. Для того, щоб краще зрозуміти явища теплопередачі, що мали місце в експериментах в даній роботі, було розроблено дві різні моделі теплопередачі. Обидві моделі є одновимірними. Перша модель була базується на основі постійного падаючого теплового потоку на зовнішню поверхню оболонки шолома-каска. Друга модель, більш точно відображає фактичні експериментальні променисті умови теплопередачі.

У статті [5] запропоновано альтернативний варіант методу граничних елементів до розв'язання задач згину пластин, які перебувають у температурному полі. Для розв'язання задач термопружного згину багат шарових оболонок, як правило, застосовуються чисельні методи, такі, як методи скінченних різниць та скінченних елементів [6-8].

Таким чином, розробка ефективних методів, що дозволяють представити розв'язок задачі в аналітичному або чисельно-аналітичному вигляді, залишається актуальною задачею.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є розробка методу розрахунку параметрів теплового стану елементів захисного шолому рятувальника з підвищеними параметрами термосилового навантаження при впливі температурних полів, що трапляються при виникненні НС.

Розглянемо елемент захисного забрала, як незамкнену багат шарову циліндричну оболонку, яка складається з  $I$  шарів та отримаємо розв'язок задачі теплопровідності. Циліндрична оболонка розглядується в декартовій системі координат, яка прив'язується до внутрішньої поверхні забрала (рис. 1).

На координатній площині пластина займає область  $\Omega$ , що обмежена контуром прямокутника. На зовнішніх  $S_0$ ,  $S_I$  і бічній  $S_L = \sum_{i=1}^I S_L^i$ , поверхнях оболонки відбувається конвективний теплообмін.

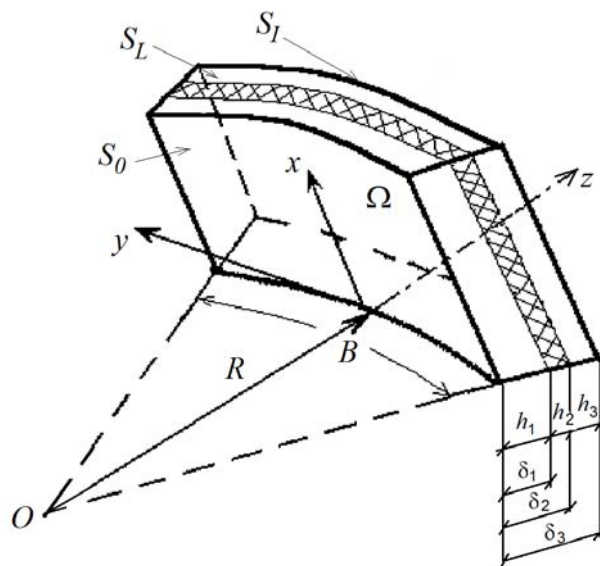


Рис. 1. Геометрія елемента захисного забрала

Нестационарний перенос тепла теплопровідністю описується рівнянням

$$\rho_i c_i \frac{\partial T^i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_i \frac{\partial T^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_i \frac{\partial T^i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_i \frac{\partial T^i}{\partial z} \right) + Q_i(x, y, z, t). \quad (1)$$

Рівняння теплопровідності і граничні умови для багатошарової оболонки одержують із варіаційного рівняння теплового балансу [6].

Розподіл температури в шарах пластини визначається за допомогою рівнянь

$$-\frac{\rho_i c_i}{k_i} \dot{T}^i + \Delta_R T^i = -\frac{Q^i}{k_i}; \Delta_R = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{1}{RR_z} \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}; R_z = 1 + \frac{z}{R};$$

$$(x, y) \in \Omega; \delta_{i-1} \leq z \leq \delta_i; i = \overline{1, I}, \quad (2)$$

де  $i$  – номер шару;  $\delta_i = \sum_{j=1}^i h_j$ ,  $h_j$  – товщина  $j$ -го шару;  $T^i$  – температура  $i$ -го шару;  $Q^i$  – внутрішнє джерело тепла  $i$ -го шару;  $\rho_i$  – щільність матеріалу  $i$ -го шару;  $c_i$  – теплоємність матеріалу  $i$ -го шару;  $k_i$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу  $i$ -го шару;  $R$  – радіус кривизни поверхні  $\Omega$ .

Та граничних умов на бічних поверхнях

$$\frac{\partial T^i}{\partial n} + \frac{H_L^i}{k_i} (T^i - T_L^i) = 0; (x, y, z) \in S_L^i; i = \overline{1, I}, \quad (3)$$

де  $T_L^i$  – температура на бічній поверхні  $i$ -го шару;  $H_L^i$  – коефіцієнт конвективного теплообміну на бічній поверхні  $i$ -го шару, яка визначається умовами конвективного теплообміну на верхній і нижній поверхнях оболонки

$$\frac{\partial T^1}{\partial z} + \frac{H_1}{k_1} (T^1 - T_\infty^1) = 0; z = 0$$

$$\frac{\partial T^1}{\partial z} + \frac{H_I}{k_1} (T^1 - T_\infty^I) = 0; z = \delta_I, \quad (4)$$

де  $T_\infty^1$  та  $T_\infty^I$  – температура середовища на границях з першим та  $I$ -м шаром,  $H_1$  та  $H_I$  – коефіцієнти конвективного теплообміну на внутрішній і зовнішній поверхнях пакету відповідно.

А також, початковими умовами

$$T^i = T_0^i, t = 0. \quad (5)$$

Умови рівності потоків тепла і температур на границях контакту сусідніх шарів з урахуванням можливих теплових впливів на поверхнях шарів запишемо як



$$k_i \frac{\partial T^i}{\partial z} + k_{i+1} \frac{\partial T^{i+1}}{\partial z} = 0; \quad T^i = T^{i+1}; \quad z = \delta_i. \quad (6)$$

Похідні невідомої функції по поперечній координаті  $z$ , що входять в рівняння (2), а також умови (4) та (6), замінимо їх кінцево-різницеvim представленням. Для цього будемо використовувати симетричні різності [9].

$$\frac{\partial T_r^i}{\partial z} = \frac{T_{r+1}^i - T_{r-1}^i}{2\Delta_{hi}}, \quad \frac{\partial^2 T_r^i}{\partial z^2} = \frac{T_{r+1}^i - 2T_r^i + T_{r-1}^i}{\Delta_{hi}^2}, \quad (7)$$

де  $\Delta_{hi} = \frac{h_i}{r_i}$  – шаг сітки,  $r_i + 1$  – кількість вузлів в  $i$ -тому шарі;  $T_r^i$  – значення шуканої функції в  $r$ -му вузлі  $i$ -го шару.

В результаті система рівнянь (1) приймає вигляд

$$\begin{aligned} -\Delta_{hi}^2 \frac{\rho_i c_i}{k_i} \dot{T}^i + \left(1 - \frac{\Delta_{hi}}{2RR_r^i}\right) T_{r-1}^i - \left(2 + \Delta_{hi}^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{1}{(R_r^i)^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right) T_r^i + \\ + \left(1 - \frac{\Delta_{hi}}{2RR_r^i}\right) T_{r+1}^i = -\frac{\Delta_{hi}^2}{k_i} Q_r^i, \quad R_r^i = 1 + \frac{\delta_{i-1} + r\Delta_{hi}}{R}. \end{aligned} \quad (8)$$

Умови конвективного теплообміну на верхній і нижній поверхнях оболонки (4) і умови на кордоні контакту сусідніх шарів (6) має вигляд:

$$\begin{aligned} -\left(\frac{T_1^1 - T_{-1}^1}{2\Delta_{h1}}\right) + \frac{H_1}{k_1} (T_0^1 - T_\infty^1) = 0, \quad z = 0; \\ \left(\frac{T_{r_1+1}^1 - T_{r_1-1}^1}{2\Delta_{h1}}\right) + \frac{H_1}{k_1} (T_{r_1}^1 - T_\infty^1) = 0, \quad z = \delta_1, \end{aligned} \quad (9)$$

$$k_i \left(\frac{T_{r_i+1}^1 - T_{r_i-1}^1}{2\Delta_{hi}}\right) + k_{i+1} \left(\frac{T_1^{i+1} - T_{-1}^{i+1}}{2\Delta_{hi+1}}\right) = 0, \quad T^i = T^{i+1}, \quad z = \delta_i. \quad (10)$$

Рівняння (9) та (10) дають можливість виключити з системи (8) значення функцій, які треба знайти в вузлових точках з номерами  $r=-1$  та  $r=r_i+1$  в  $i$ -му шарі ( $i = 1, I$ ), а також з номерами  $r=0$  (в усіх шарах, окрім 1-го).

В результаті отримаємо систему рівнянь, що має вигляд

$$[A]T = B + [C]Q. \quad (11)$$

Звідси отримуємо систему рівнянь теплопровідності і систему граничних умов на бічній поверхні оболонки.

**Висновки.** Проведено аналіз літературних джерел, що дозволяє зробити висновки про доцільність вивчення впливу тепла на захисні каски-шоломи та окремо забрала, що захищає обличчя рятувальників від шкідливої дії тепла.

Запропоновано метод розв'язання задачі стаціонарної теплопровідності в тривимірній постановці для багат шарових циліндричних захисних щитків шолома рятувальника, який дозволяє достовірно описувати тепловий стан багат шарових елементів, зібраних з шарів з різними механічними характеристиками.

Отримані системи рівнянь дають можливість провести розрахункове проектування захисних елементів шолому-каска та запропонувати нові напрямки вдосконалення теплового захисту обличчя рятувальників.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Засоби індивідуального захисту голови. Каски пожежні (EN 443:1997, IDT): ДСТУ EN 443:2006. – [Чинний від 2007-01-10].

2. Обеспечение безопасности головы работающего на объектах стройиндустрии в экстремальных условиях / А. С. Беликов, О. А. Сабитова, Н. В. Долгополова, А.С. Чаплыгин // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – Вып. 83. – С. 23-29.

3. Комплексные исследования влияния динамической нагрузки, параметров толщины панели и радиуса кривизны на НДС лицевого щитка пожарного шлема / А. С. Беликов, О. А. Сабитова, Н. В. Долгополова, Е. В. Рабич // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – Вып. 83. – С. 23-29.

4. Barnett David L., Evaluation of fire-fighting helmet surface technology for high radiant heat applications [Електронний ресурс]: University of Kentucky Master's Theses. – 2003. Paper 305. – 102 p. – Режим доступу: [http://uknowledge.uky.edu/gradschool\\_theses/305](http://uknowledge.uky.edu/gradschool_theses/305).

5. Туровцев Г.В. Итерационный метод граничных интегральных уравнений для исследования изгиба температурного изгиба пластин / Г.В. Туровцев, А.Т. Шадманов // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Численное моделирование физико-механических процессов. – Н. Новгород, 1991. – С. 35-39.

6. Федик И.И. Температурные поля и термонапряжения / И.И. Федик, В.С. Колесов, В.Н. Михайлов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.

7. Теплопроводность и термоупругость в многослойных конструкциях / В.А. Кудинов, Б.В. Аверин, Е.В. Стефанюк, С.А. Назаренко. – Самара: Самар. ГТУ, 2006. – 304 с.

8. Метод конечных элементов в механике твердых тел / [Сахаров А.С., Альтенбах И., Кислокий В.Н. и др.]. – Киев: Вища шк., 1980. – 480 с.

9. Бахвалов Н.С. Численные методы / Бахвалов Н.С. – М.: Наука, 1975. – 632 с.

*Отримано редколегією 13.03.2017*

С.Ю. Рагимов, Ю.Н. Сенчихин, Н.В. Долгополова

**Разработка метода расчета параметров теплового состояния элементов защитной каски спасателя**

Проанализирована важность повышения защитных качеств забрала шлема-каска от теплового воздействия. Предложен метод решения стационарной задачи теплопроводности многослойного защитного забрала каски при воздействии температурных полей.

**Ключевые слова:** безопасность, защитные каски и забрала, теплопроводность, многослойное остекление, оболочка.

S.U. Ragimov, J.N. Senchykhin, N.V. Dolgopolova

**Development of a method for calculating the parameters of the thermal state of the elements of the protective helmet of the rescuer**

The importance of increasing the protective qualities of helmet-helmet visor against heat exposure is analyzed. A method is proposed for solving the stationary problem of thermal conductivity of a multilayer protective visor of a helmet under the influence of temperature fields.

**Keywords:** safety, protective helmets and visor, thermal conductivity, multilayer glazing, shell.

*А.С. Рогозін, к.т.н., доцент, ХНУМГ,  
О.В. Пирогов, к.т.н., викладач, НУЦЗУ,  
Є.А. Яровий, викладач, НУЦЗУ*

## **РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ВИНИКНЕННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ЯК ВИПАДКОВОГО МАРКІВСЬКОГО ПРОЦЕСУ**

(представлено д.т.н. Комяк В.М.)

В статті представлено результати розрахунків ймовірнісних характеристик виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій, отримані на підставі розгляду виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій, як випадкового марківського процесу.

**Ключові слова:** марківський процес, ймовірність, постійна часу, надзвичайна ситуація, виникнення, ліквідація.

**Постановка проблеми.** Встановлення об'єктивних закономірностей реалізації загроз різного характеру по території України, є необхідною умовою ефективної реалізації функції цивільного захисту [1]. У зв'язку з цим важливою проблемою в рамках забезпечення ефективності заходів цивільного захисту є отримання кількісних характеристик процесу виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) по регіонах України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розгляд виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій на території України, як випадкових величин розглянуто у роботах [2-3]. Обґрунтування можливості розглядати виникнення та ліквідацію НС, як випадковий марківський процес представлено в роботі [4]. Результати аналізу виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій, як випадкового марківського процесу опубліковано не було.

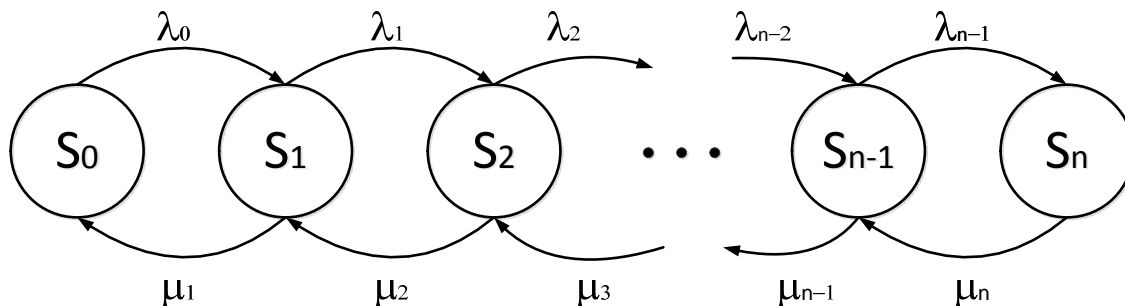
**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є представлення результатів дослідження процесу виникнення та ліквідації НС, як випадкового марківського процесу. Виникнення НС на території регіону можна розглядати як дискретний випадковий процес, з постійною інтенсивністю виникнення НС [5]. Враховуючи що випадкова величина «кількість НС, яка виникає на інтервалі часу» для регіонів України можна вважати розподілену за законом Пуассона [2-3], процес виникнення НС на території регіонів можна розглядати як марківський ланцюг. Випадковий процес виникнення та ліквідації НС в цьому випадку характеризується послідовністю станів

$$S_0, S_1, S_2, \dots, S_n, \quad (1)$$

де  $S_0$  – стан, коли на території регіону сили та засоби цивільного захисту

не залучені до ліквідації жодної НС;  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – стан, коли на території регіону сили та засоби цивільного захисту залучені до ліквідації одної, двох та  $n$  НС відповідно.

В силу постійності інтенсивності переходів системи із стану в стан процес є однорідним. Зображення, графа процесу виникнення та ліквідації НС на території регіону, для загального випадку, представлено на рис. 1.



**Рис. 1.** Граф станів процесу виникнення надзвичайних ситуацій на території регіону на рисунку прийняті наступні позначення:  $\lambda_i$  - інтенсивність переходів системи від стану  $i$  до стану  $i+1$ ;  $\mu_i$  - інтенсивність переходів системи від стану  $i$  до стану  $i-1$

Для випадку коли система має кінцеву кількість станів  $s_i$  знаходження ймовірності  $p_i(t)$  перебування системи у  $i$ -ому стані здійснюється за допомогою рівнянь Колмогорова

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \mu_{ij} p_j(t) - p_i(t) \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \tag{2}$$

Враховуючи нормуючу умову  $p_1(t) + p_2(t) + \dots + p_n(t) = 1$ , для процесу, граф якого представлено на рис.1, рівняння (2) можна записати наступним чином

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = \mu_1 p_1(t) - \lambda_0 p_0(t) \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = 2\mu_2 p_2(t) - \lambda_1 p_1(t) \\ \dots \\ \frac{dp_{n-1}(t)}{dt} = n\mu_n \left( 1 - \sum_{i=1}^{n-1} p_i(t) \right) - \lambda_{n-1} p_{n-1}(t) \end{cases} \tag{3}$$

Система рівнянь (3) дозволяє задаючись початковими умовами, визначити ймовірності можливих станів процесу виникнення та ліквідації НС.

При  $t \rightarrow \infty$ ,  $dp_i(t)/dt \rightarrow 0$ , ймовірності стану процесу виникнення та ліквідації НС отримуються в результаті рішення системи алгебраїчних рівнянь та мають наступний вид

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \frac{\lambda_0}{\mu_1} p_0; \quad p_2 = \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1}{\mu_1 \cdot 2\mu_2} p_0; \\
 p_n &= \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1}}{\mu_1 \cdot 2\mu_2 \cdot \dots \cdot n\mu_n} p_0 = \frac{\lambda^n}{\mu^n n!} p_0; \\
 p_0 &= \left( 1 + \frac{\lambda_0}{\mu_1} + \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1}{\mu_1 \cdot \mu_2} + \dots + \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1}}{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n} \right)^{-1} = \\
 &= \left[ 1 + \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} \right]^{-1}.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Адекватне використання ймовірностей станів отриманих за (4) з метою прогнозування, моніторингу, прийняття рішень в рамках функцій регулювання та координації потребує також мати оцінку постійної часу перехідного процесу їх встановлення.

Аналітичне рішення рівнянь (3) вже для чотирьох станів неможливо привести в умовах обмеження об'єму статті, але треба відзначити факт того, що встановлення ймовірностей відбувається в процесі коливального характеру.

В табл. 1 представлено результати обчислень ймовірностей станів, математичне очікування знаходження територій регіонів в стані ліквідації НС та постійні часу перехідного процесу встановлення ймовірностей.

**Табл. 1. Результати аналізу процесу виникнення та ліквідації НС по регіонам України**

1	Область				
	2	3	4	5	6
Показник	АР Крим	Винницька	Волинська	Дніпропетровська	Донецька
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,04223	0,02381	0,01349	0,04127	0,092063
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,153618	0,158567	0,15596	0,12357	0,16275
Математичне очікування ліквідації НС	0,268651	0,150156	0,086508	0,333989	0,570559

## Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	6,706684	7,400915	8,131885	7,812123	5,073569	
Ймовірн. одно-часн. ліквідації n НС	n=0	0.764409	0.860573	0.9171286	0.71606152	0.601028004
	n=1	0.205359	0.129220	0.0793385	0.23915681	0.305991620
	n=2	0.027585	0.009702	0.0034317	0.03993789	0.0778922705
	n=3	0.002470	0.000485	0.0000989	0.00444627	0.0132186752
	n=4	0.000165	0.000018	0.0000021	0.00037125	0.0016824523
Область						
Показник	Житомирська	Закарпатська	Запорізька	Ів. Франківська	Київська	
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,0246	0,02024	0,0385	0,01746	0,0492	
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,35429	0,11067	0,18097	0,444	0,26216	
Математичне очікування ліквідації НС	0,069444	0,1829	0,212742	0,033336	0,186185	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	3,658995	10,2118	6,041035	2,95937	4,294904	
Ймовірн. одно-часн. ліквідації n НС	n=0	0,932912	0,8329	0,8083644	0,9433352380	0,830119787
	n=1	0,064785	0,1523	0,1719732	0,0550281011	0,154556073
	n=2	0,002249	0,0139	0,0182929	0,0016049924	0,014388031
	n=3	$5,21 \times 10^{-5}$	0,00085	0,0012972	0,000031208	0,000892946
	n=4	$9,03 \times 10^{-7}$	0,000039	0,0000689	$4,55120 \times 10^{-7}$	0,000041563
Область						
1	2	3	4	5	6	
Показник	Кіровоградська	Луганська	Львівська	Миколаївська	Одеська	
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,01667	0,058333	0,039683	0,03333	0,0369	
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,19685	0,361	0,146	0,183	0,227	
Математичне очікування ліквідації НС	0,082652	0,144945	0,260572	0,182538	0,162301	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	10,6431	3,267474	3,684067	6,191257	5,088541	

Продовження табл. 1

1		2	3	4	5	6
Ймовірн. одночасної ліквідації n НС	n=0	0.920671	0.865070	0.7706106	0.8331531	0.850185115
	n=1	0.076095	0.125387	0.2007996	0.15208199	0.137986039
	n=2	0.003144	0.010073	0.0261613	0.01388036	0.011197647
	n=3	0.000086	0.000439	0.0022723	0.00084456	0.000605797
	n=4	$1.79 \times 10^{-6}$	$1.591 \times 10^{-5}$	0.00014802	0.00003854	0.00002458
Область						
Показник	Полтавська	Ровенська	Сумська	Тернопільська	Харківська	
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,0123	0,021032	0,0127	0,015476	0,04047	
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,146	0,174	0,16	0,258	0,148	
Математичне очікування стану ліквідації НС	0,062492	0,131349	0,049206	0,104366	0,153175	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	6,645246	7,494523	5,158616	8,36331	4,425566	
Ймовірн. Одночасн. ліквідації n НС	n=0	0.9318016	0.87691193	0.9519849	0.9008955	0.857979437
	n=1	0.0658182	0.11518125	0.0468434	0.0940229	0.131421126
	n=2	0.0023245	0.00756445	0.0011525	0.0049064	0.010065225
	n=3	0.0000547	0.00033119	0.0000189	0.0001707	0.000513914
	n=4	$9.665 \times 10^{-7}$	0.00001088	$2.325 \times 10^{-7}$	0.0000044	0.000019679
Область						
Показник	Херсонська	Хмельницька	Черкаська	Чернівецька	Чернігівська	
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,0373	0,01746	0,022619	0,333333	0,03095	
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,211	0,267	0,368	0,2314	0,348	
Математичне очікування стану ліквідації НС	0,176985	0,065476	0,052443	0,048016	0,088889	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	5,398132	4,886373	3,561753	5,7620586	3,631262	
Ймовірн. одночасн. ліквідації n НС	n=0	0.837793	0.936621	0.9403456	0,9531187	0,914947
	n=1	0.148276	0.061326	0.0578385	0,0457648	0,081329
	n=2	0.0131213	0.00200771	0.0017787	0,0010987	0,003615
	n=3	0.0007741	0.00004382	0.0000365	$1,758 \times 10^{-5}$	0,000107
	n=4	0.0000343	$7.1727 \times 10^{-7}$	$5.608 \times 10^{-7}$	$2,111 \times 10^{-7}$	$2,38 \times 10^{-6}$



**Висновки.** Виникнення та ліквідація НС на території регіонів України може розглядатись, як випадковий марківський процес, що дозволяє отримувати ймовірності знаходження території в стані ліквідації НС. Отримані характеристики процесів виникнення та ліквідації НС на території України дозволяють будувати інтерполяційні поліноми для оперативного прогнозування зміни характеристик цих процесів. За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що ймовірність одночасної ліквідації чотирьох НС на території регіонів малоймовірна і відповідно для практичного використання достатньо обмежуватись чотирма станами ( $n=3$ ). Постійна часу перехідного процесу складає від 3 до 10 діб і це необхідно враховувати при моделюванні виникнення та ліквідації НС на території регіонів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
2. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Чернігівської, Житомирської, Вінницької, Хмельницької, Черкаської областей / А.С. Рогозін // Збірник наукових праць ХНУПС. – Харків : ХНУПС, 2014. – Вип. 2. – С. 233–235.
3. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території АР Крим, Львівської, Миколаївської, Івано–Франківської, Херсонської областей / А.С. Рогозін // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – Харків : ХНУПС, 2014. – Вип. 1. – С. 266–270.
4. Рогозін А.С. Аналіз перехідного процесу зміни ймовірностей знаходження сил цивільного захисту в стані ліквідації наслідків НС / А.С. Рогозін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2014. – Вип. 19. – С. 107–114. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol19/15.pdf>.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1962. – 564 с.

*Отримано редколегією 09.03.2017*

А.С. Рогозин, О.В. Пирогов, Е.А. Яровой

### **Результаты анализа возникновения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, как случайного марковского процесса**

В статье представлены результаты расчетов вероятностных характеристик возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, полученные на основе рассмотрения возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, как случайного марковского процесса.

**Ключевые слова:** марковский процесс, вероятность, постоянная времени, чрезвычайная ситуация, возникновение, ликвидация.

A.S. Rogozin, A.V. Pirohov, Y.A. Yarovoj

### **Results of analysis of origin and liquidation of consequences of emergencies, as the Markoff process**

The results of calculations of probabilistic characteristics of emergence and elimination of emergency situations received on the basis of consideration of emergence and elimination of emergency situations as casual Markov process are presented in article

**Keywords:** Markov process, probability, time constant, emergency, emergence, elimination.

УДК 614.841.332

*В.О. Собина, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,  
Д.Л. Соколов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **ЩОДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ РЯТУВАЛЬНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ПОРЯТКУ ЛЮДЕЙ НА ВОДОЙМАХ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД**

(представлено д.т.н. Куценком Л.М.)

Розглядається задача огляду існуючих засобів порятунку людей з тонкого льоду, вдосконалення будови, технічних параметрів, та оснащення нового засобу рятування людей з тонкого льоду - розкладних рятувальних саней.

**Ключові слова:** рятувальні роботи на тонкому льоді, розкладні рятувальні сани, складні драбини, рятувальні мотузки.

**Постановка проблеми.** Для рятування людей з тонкого льоду, смішок льоду з водою - (шуги), використовуються різні засоби рятування людей. Це можуть бути ручні, механічні, надувні, вірьовочні, механізовані та інші пристрої та засоби [1].

Проблема складається в тому, що автомобілі першої допомоги, які є в оперативно-рятувальних підрозділах ДСНС комплектують згідно норм табельної належності [2], драбинами палицями, драбинами штурмітками, трьохколінними драбинами, та надувними човнами. Ці засоби порятунку неможливо використовувати в деяких конкретних випадках.

Необхідно розглянути можливість оснащення рятувальних підрозділів засобом порятунку на тонкому льоді, який був би легкий, мобільний та надійний.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як свідчать статистичні данні, вже існують засоби порятунку людей з тонкого льоду, які при доставці до місця проведення рятувальних робіт при застосуванні показали себе з кращого боку, але недостатньо надійні для тих чи інших конкретних умов.

Так наприклад, надувний рятувальний засіб «соломинка» [3], що виконаний у вигляді подовженої труби з гнучкого матеріалу, яка має здуту конфігурацію, в якій вона утворює рулон, та надуту конфігурацію у вигляді подовженої прямолінійної жорсткої труби для рятувальних цілей, причому рятувальний засіб включає засіб для надування і здування подовженої труби (пожежний рукав довжиною 20 метрів під стисненим повітрям), має обмежену довжину при застосуванні.

Універсальний рятувальний пристрій «Товрятвод» [4], що містить стрижень, що виконаний із матеріалу з позитивною плавучістю, шнур, автоматично розмотуваний при кидку в бік врятованого, який відрізняється від кінця «Александрова» тим, що стрижень виконаний з наскрізним коаксіальним циліндричним отвором, через який прокладений шнур, додатково містить чохол зовнішній у формі циліндричного мішка, також має свої недоліки - при застосуванні на тонкому льоді та гострих кригах, завдяки заплутування елементів конструкції.

Пристрій порятунку з крижаного полину [5], складається з двох надувних оболонки, з'єднаних між собою гнучким днищем, і елементів

для захоплення. Гнучке днище пристрою виконано у вигляді суцільного полотнища, містить закріплені на ньому ребра жорсткості і елементи, що підвищують плавучість, розташовані на його кінцевій частині. В області віддаленої від порятуємого в кінцевій частині гнучкого днища розташоване джерело стисненого газу. Джерело стиснутого газу при мінусових температурах може не спрацювати.

Універсальний рятувальний засіб, [6], який містить надувні борти та надувну платформу, відрізняється тим, що борти виконані у вигляді двох надувних балонів, розділених на дві незалежні секції кожний, у частині приєднання до платформи балони мають циліндричну форму, а виступаючі елементи у носовій та кормовій частинах мають форму конусів, причому у носовій частині загнуті вгору під кутом 12-16°, у кормовій частині - вниз під кутом 2-16°, з внутрішньої сторони яких розміщені переносні ручки, платформа виконана окремою секцією як система надувних трубчастих конструкцій з рамною окантовкою. Цей універсальний засіб також схильний до впливу низьких і високих температур при експлуатації і зберіганні, а також схильний до порізів при переміщенні по гострим краях льоду.

Рятувальна дошка [7], призначена для порятунку людини з води, в тому числі і з тонкого льоду. Дошка забезпечує утримання на поверхні мінімум 300 кг навантаження, та виготовлена з легкого, стійкого до механічного впливу пластика. Цей матеріал так само стійкий до зносу і призначений для використання в зимовий період. Дошка обладнана поручнями з нержавіючого металу, поручні розташовуються як спереду, так і ззаду. Посередині дошки розташовується ремінь безпеки, так само на дошці є місце для кріплення рятувальної мотузки. Геометричні розміри рятувальної дошки складають по довжині 3400 мм, ширині 620 мм. Вага її складає 33 кг. Укладаються такі рятувальні дошки на дах, чи в кузов автомобіля. Але ці засоби рятування важкі та великогабаритні.

**Постановка завдання та його вирішення.** Основним завданням роботи стало визначення основних елементів конструкцій, геометричних розмірів розкладних рятувальних саней та надання рекомендацій по їх застосуванню.

Рятувальні сани (рис. 1) призначені для швидкого рятування людей з тонкого льоду, смішок льоду з водою – (шуги), та для зручного транспортування у відсіку автомобіля першої допомоги, або іншого транспортного засобу.

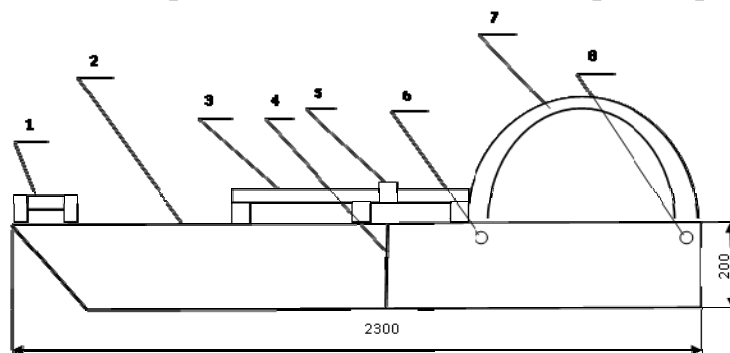


Рис. 1. Розкладні рятувальні сани: 1 – поручень для перенесення і утримання, 2 – корпус рятувальних саней, 3 – поручень для страхування, 4 – місце роз'єднання та фіксації саней, 5, 6, 8 – фіксуючі пристрої, 7 – поручень для транспортування на льоді

Для розрахунків основних характеристик корпусу рятувальних саней є його головні розміри і теоретичні креслення, що дає уявлення про обведення корпусу [8].

Головними розмірними є їх довжина, ширина, висота борту і осада. Точне знання цих величин необхідно для вирішення різних експлуатаційних задач – плаванні, переміщенні по льоду, транспортуванні саней і т. і.

Теоретичне креслення представляє зображення на плоскому аркуші паперу складної криволінійної зовнішньої поверхні корпусу у вигляді трьох проекцій на три взаємно перпендикулярні площини. Діаметральна площина (ДП) – вертикальна поздовжня площина симетрії, що розділяє корпус на праву і ліву половини.

Найважливішою характеристикою саней (надалі плавзасобу) є його водотоннажність, тобто обсяг води, що витісняється корпусом при його зануренні по кильватерну лінію. Об'ємна водотоннажність разом з головними розмірними плавзасобу дозволяє судити про його величину, місткість і потенційні плавучі якості.

Об'ємна водотоннажність  $V$ , яка вимірюється в кубічних метрах, використовується в якості характеристики для обчислення коефіцієнтів повноти. Вона відрізняється від величини вагової водотоннажності  $D$ , що характеризує навантаження плавзасобу і вимірюється в тоннах, на величину щільності води

$$D = \gamma \cdot V, \quad (1)$$

де  $V$  – щільність води (для прісної води  $\gamma = 1,00 \text{ Т/М}^3$ ).

При проектуванні різних плавзасобів часто користуються безрозмірними коефіцієнтами повноти, до числа яких відносяться:

– коефіцієнт повноти водотоннажності або загальної повноти  $\delta$ , що зв'язує лінійні розміри корпусу з його зануреним обсягом. Цей коефіцієнт визначається як відношення об'ємної водотоннажності по кильватерну лінію до обсягу паралелепіпеда, що мають сторони рівні,  $L, B$ , і  $T$  (рис. 2).

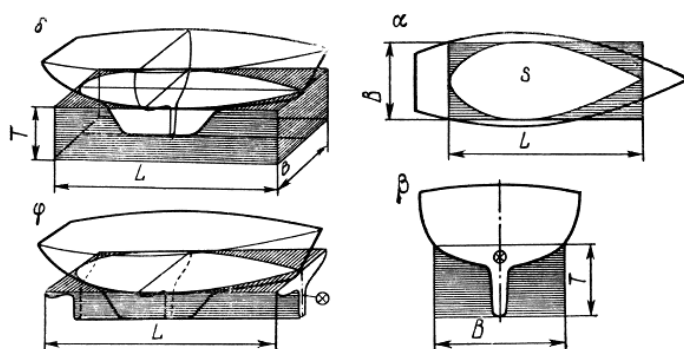


Рис. 2. Визначення коефіцієнтів повноти

$$\delta = \frac{V}{L \cdot B \cdot T}. \quad (2)$$

Чим менше коефіцієнт  $\delta$ , тим гостріші обводи має плавзасіб і, з іншого боку, тим менше корисний об'єм корпусу нижче ватерлінії.

Плавучість – це здатність судна триматися на плаву, маючи задану осадку при певному навантаженні.

Нескладно визначити масу вантажу, при якому осадку човни збільшиться на 1 см. Вона буде дорівнює добутку площі ватерлінії, помноженої на 1 см (0,01 м) і щільність води  $\gamma$

$$\Delta = \gamma \cdot \alpha \cdot L \cdot B, \quad (3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт повноти площі ватерлінії;  $L$  і  $B$  – довжина і ширина плавзасобу по ватерлінії, м. Для приблизних розрахунків коефіцієнт  $\alpha$  можна приймати рівним 0,62-0,70 для гребних круглоскулих плавзасобів з традиційними обводами.

Знаючи мінімально допустиму висоту надводного борту  $F_{\min}$ , можна обчислити граничну вантажопідйомність даного плавзасоба, помноживши отримане значення  $\Delta$  на різницю між фактичним надводним бортом при осаді судна порожнього, але з урахуванням ваги рятувальних засобів (рятувальне коло, мотузка, весла, тощо), та  $F_{\min}$ . Розділивши вантажопідйомність на 75 кг (вага одного рятувальника, з вагою врятованої людини – 100 кг), отримуємо граничну пасажиромісткість.

Подібні розрахунки будуть мати силу лише в тому випадку, якщо не порушуються два основних експлуатаційних якості плавзасобу – його остійність і непотоплюваність.

Порядок застосування: Рятувальні сани в транспортному положенні представляють собою компактний складений контейнер для зручного транспортування у відсіку автомобіля першої допомоги, або іншого транспортного засобу. Для розкриття рятувальних саней необхідно одну частину саней повернути на з'єднувальних петлях на кут  $180^\circ$ , при цьому сани розкриються. Фіксуються сани між собою спеціальними накидними гайками, для зручності транспортування по льоду сани оснащені спеціальними поручнями, які також фіксуються. Для непотоплюваності саней в каркас вмонтовані герметичні пластмасові ємності, каркас виготовлений з профільного металу товщиною 0,4 мм для уникнення можливості пробоїн від гострих кромek льоду.

**Висновки.** На основі тестових іспитів були отримані данні про оптимальний розмір розкладних рятувальних саней, а також виявлені тактичні можливості рятувальних підрозділів при їх застосуванні на тонкому льоді. Ці данні дозволяють зробити висновок, що необхідно в комплектацію аварійно-рятувальних автомобілів ввести розкладні рятувальні сани, що дозволить значно покращити тактичні можливості оперативно-рятувальних підрозділів.

---

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Сенчихін Ю.М. Організація аварійно-рятувальних робіт на воді: практичний посібник / Ю. Сенчихін, С. Кулаков. – Х.: АЦЗУ., 2005. – 64 с.
2. Норми табельної належності, витрат і термінів експлуатації пожежно-рятувального, технологічного і гаражного обладнання, інструменту, індивідуального озброєння та спорядження, ремонтно-експлуатаційних матеріалів підрозділів ДСНС України: за станом на 29 тр. 2013 р. / Наказ ДСНС України № 358.
3. Пат. 5496 Україна, МПК В63С 9/00. Надувний рятувальний засіб «соломинка» / Кучерук В.О.; заявник і потентнообладатель Кучерук В.О.; заявл. 21.06. 2004; опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3 2005.
4. Пат. 76490 Україна, МПК В63С 9/08. Універсальний рятувальний пристрій “товрятвод” / Конотопець О.М.; заявник і потентнообладатель Всеукраїнська громадська організація товариства рятування на воді України; заявл. 24.05.12; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1 2012.
5. Пат. 38718 Российская Федерация, МПК В63С 9/32. Устройство спасения людей из ледяной полыни / Собоцкий Ю.С.; заявители и потентнообладатели Собоцкий Ю.С., Игнатенко В.А.; заявл. 02.02.04; опубл. 10.07.04.
6. Пат. 95817 Україна, МПК В63С 9/00, В63С 9/32. Універсальний рятувальний засіб / Кропивницький В.С.; заявник і потентнообладатель Український науково-дослідний інститут цивільного захисту; заявл. 03.07.14; опубл. 12.01.15, Бюл. № 1.
7. ЧПТУП «КОМТЕХМАЖ» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://by.bizorg.su>.
8. Новак Г.М. Справочник по катерам, лодкам и моторам 2-е изд., перераб. и доп. / Новак Г.М. – Л.: Судостроение, 1982. – 352 с.

*Отримано редколегією 10.03.2017*

В.А. Собина, Д.Л. Соколов

**К вопросу разработки спасательного средства для спасения людей на водоемах в зимний период**

Рассматривается задача обзора существующих средств спасения людей из тонкого льда, совершенствования строения, технических параметров и оснащение нового средства спасения людей из тонкого льда - раскладных спасательных саней.

**Ключевые слова:** спасательные работы на тонком льду, спасательные сани, сложные лестницы, спасательные веревки.

V.A. Sobina, D.L. Sokolov

**To the question of developing a rescue device for saving people on water in winter**

The task given the existing means of saving people from thin ice, improving the structure, the geometric parameters and equipping of a new vehicle rescue people from the small folding lodu- rescue sled.

**Keywords:** rescue on thin ice rescue sled folding, folding ladders, rescue rope.

*В.О. Собина, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,  
Л.В. Борисова, к.ю.н., доцент, НУЦЗУ*

**ПИТАННЯ ЩОДО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ  
ЗВ'ЯЗКУ ПІД ЧАС ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ  
РЯТУВАЛЬНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ НА  
МІСЦІ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НС  
(представлено д.т.н. Ключкою Ю.П.)**

У статті розглянуті пропозиції щодо контролю технічного стану засобів зв'язку як одержання інформації про фактичний стан об'єкта і зіставлення отриманої інформації із задалегідь установленими нормами технічної документації. Параметрами радіоапаратури, які потребують контролю в процесі експлуатації, є: потужність передавача, чутливість приймача, коефіцієнт спрямованої дії антени й загасання в антенно-хвильовому тракті.

**Ключові слова:** контроль технічного стану засобів зв'язку, граничне число параметрів, прогнозування відмов.

**Постановка проблеми.** Системи радіозв'язку є одними з найголовніших засобів, що забезпечують оперативне управління рятувальними підрозділами та дозволяють координувати дії зі службами взаємодії при виникненні та ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) [1]. Суттєвий вплив на надійність засобів радіозв'язку мають об'єктивні фактори: час експлуатації, електричні режими, різкі коливання температура оточуючого середовища, вологість, тиск, сонячна радіація під час експлуатації в польових умовах, механічні навантаження.

Слід відзначити що на теперішній час параметри апаратури засобів зв'язку та управління не в повну міру контролюються в процесі експлуатації. Проблемним питанням є належний контроль за потужністю передавача, чутливістю приймача, коефіцієнтом спрямованої дії антени й загасанням в антенно-хвильовому тракті. Тому необхідно здійснювати контроль та профілактику технічного стану засобів зв'язку з метою коректної роботи апаратури при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, що в свою міру робить процес управління не стійким.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, щосььогодні накопичено багатий теоретичний і експериментальний матеріал контролю технічного стану засобів зв'язку. В роботі В.П. Стрельникова зроблена оцінка ресурсу виробів електронної техніки [2], статистичній теорії радіотехнічних систем дистанційного зондування і радіолокації присвячена робота В.К. Волосяка [3], І.Б. Жилинський вивчав основи надійності і довговічності [4], Р. Барлоу, Ф Прошан займалися питаннями статистич-

ної теорії надійності і випробувань на безвідмовність [5]. ДСТУ 3433-96 визначає основні положення надійності техніки і моделей відмов.

Разом з тим, особливе значення для нормального функціонування засобів зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій має контроль їх технічного стану, який полягає в розпізнаванні поточного стану об'єкта в умовах обмеженої інформації.

**Постановка завдання та його вирішення.** Ефективність діяльності підрозділів оперативно-рятувальної служби (ОРС) залежить від ефективності застосовуваних систем радіозв'язку, до яких висуваються специфічні вимоги, найважливішими з яких є надійність, оперативність, достовірність, необхідна пропускна здатність та захищеність інформації. У зв'язку з цим пропонується здійснювати контроль технічного стану засобів зв'язку як одержання інформації про фактичний стан об'єкта і зіставлення отриманої інформації із заздалегідь установленими нормами технічної документації.

Інформація про неузгодженість (розбіжності фактичних і необхідних даних) називається вторинною. Якість контролю характеризується коефіцієнтом вірності контролю і його глибиною. Кількісною характеристикою точності контролю є коефіцієнт правильності

$$V = P_{\text{спр}} / P_{\text{доп}}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{спр}}$  – ймовірність того, що апаратура після проведення контролю виявиться дійсно справною;  $P_{\text{доп}}$  – ймовірність допуску апаратури до застосування після контрольної перевірки.

Точність контролю апаратури, щодо якої здійснюється контроль технічного стану, залежить від:

- безвідмовності апаратури в процесі попереднього зберігання або функціонування;
- ступеню упевненості в результатах перевірки.

Доцільність контролю характеризують коефіцієнтом доцільності контролю

$$K_{\text{ц.к}} = V / V_{\text{б.к}}, \quad (2)$$

де  $V_{\text{б.к}}$  – коефіцієнт, що характеризує правильність робочого стану апаратури без контролю.

У разі, коли  $K_{\text{ц.к}} > 1$  контроль є доцільним, а при  $K_{\text{ц.к}} < 1$  – недоцільним.

Повна оцінка доцільності проведення контролю визначається на підставі обліку матеріального збитку через відмову апаратури засобів зв'язку та управління



$$K_{e.c.k} = (1 - P_3)C_3 / (C_{k.3} - \Delta C_k), \quad (3)$$

де  $K_{e.c.k}$  – коефіцієнт економічної доцільності контролю;  $P_3$  – ймовірність не виникнення матеріального збитку, що чисельно дорівнює ймовірності безвідмовного зберігання до початку використання або безвідмовного очікування до початку контролю;  $C_3$  – вартість збитку при відмові від контролю апаратури засобів зв'язку та управління;  $C_{k.3}$  – вартість контролю апаратури в режимі зберігання та очікування;  $\Delta C_k$  – збільшення вартості на підготовку апаратури засобів зв'язку та управління при введенні системи контролю.

Контроль ґрунтується на вимірах параметрів, що характеризують якість функціонування апаратури засобів зв'язку та управління:

- параметри вхідних і вихідних сигналів (чутливість приймача, вихідна потужність приймача й передавача, що несе частота сигналів);
- параметри, що не несуть запасу енергії (коефіцієнт шуму, вхідні й вихідні опори).

Ступінь або повнота використання граничного числа параметрів при контролі технічного стану апаратури засобів зв'язку та управління оцінюється коефіцієнтом глибини контролю

$$K_{г.к} = N_k / N, \quad (4)$$

де  $N_k$  – число параметрів, що контролюються, необхідних для виявлення стану апаратури засобів зв'язку та управління;  $N$  – граничне число параметрів, що визначають стан апаратури засобів зв'язку та управління.

Для оцінки стану апаратури засобів зв'язку та управління використовують наступні методи контролю:

- перевірку працездатності технічного пристрою (або його окремих елементів) за зовнішніми ознаками;
- дослідження за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури;
- прогнозування за характерними ознаками, яке полягає в тому, що функціональний елемент, який відмовив, визначається шляхом порівняння несправності із несправностями, що надаються в спеціальних таблицях технічної документації;

– послідовну по елементу перевірку, яка полягає у виявленні елемента, що відмовив, і одночасної перевірки елементів до повного відновлення всіх несправних елементів.

Одним з методів, що дозволяють найбільш ефективно запобігати й попереджати відмови, є прогнозування. Прогнозування поступових відмов дозволяє різко скоротити загальне число відмов, які виникають у процесі експлуатації апаратури, що дозволяє виявляти несправні

елементи до настання відмови й замінювати новими або відновлювати. Прогнозування поступових відмов здійснюється контролем окремих параметрів або вихідного параметра апаратури, що залежить від зміни фізико-хімічної структури функціональних елементів. Зміна узагальненого параметра апаратури є чинником, що дозволяють ефективно прогнозувати відмови.

Прогнозування відмов по зміні вихідного параметра апаратури полягає в тому, що контролюється не величина визначального параметра елемента, а вихідний параметр апаратури (каскаду, вузла, блоку). Для реалізації цього методу потрібно встановити кореляційну залежність між відповідним прогнозуючим параметром елемента й вихідним параметром апаратури. Величина вихідного параметра апаратури в загальному випадку представляється як функція визначальних параметрів елементів.

Розглянемо метод прогнозування відмов, який заснований на зміні узагальненого параметра апаратури. Під узагальненим параметром розуміється такий критерій, за допомогою якого можна охарактеризувати працездатність апаратури в будь-який момент, а також судити про кожний з її вихідних параметрів. Узагальнений параметр залежить від визначальних параметрів елементів (опорів, ємностей, напівпровідникових приладів і т.п.), зміни яких призводять до змін узагальненого параметра. При заданій якості функціонування цим критерієм є область працездатності апаратури, тобто область, у якій (при зміні зовнішніх впливів – напруг, кліматичних умов тощо) апаратура продовжує стійко функціонувати. Границею нормального функціонування апаратури є конкретні значення зовнішніх умов, при перевищенні яких апаратура переходить в область непрацездатності. Якісний стан елементів, тобто значення параметрів, що визначають границі працездатності, можна визначити шляхом знаходження границь області працездатності в процесі експлуатації.

Ряд технічних засобів зв'язку та управління працює в безперервному режимі, що може спричинити відмови двох видів – раптові й поступові. Раптові відмови – це найпростіший потік випадкових подій, який характеризується постійною інтенсивністю:  $\lambda_{в.п} = \text{const}$ . Такі відмови не піддаються прогнозуванню, тому їх усувають у міру виникнення.

Поступові відмови виникають у результаті зміни параметрів елементів апаратури, що в цілому дозволяє запобігати відмовам проведенням профілактичних заходів (регламентних робіт). Інформацію про появу поступових відмов можна одержати при виконанні контрольних-регулювальних (регламентних) робіт, що проводяться періодично. Визначимо їхню оптимальну періодичність.

При скороченні міжрегламентного періоду підвищується надійність апаратури за рахунок своєчасного проведення контрольних-

регулювальних робіт, однак збільшується загальний обсяг профілактики й знижується коефіцієнт готовності, тому що апаратура простоє при виконанні перевірок. Тобто, доцільно визначити оптимальний період проведення регламентних профілактичних робіт, що забезпечує краще співвідношення між надійністю апаратури й обсягом профілактики.

У якості критерію оптимізації приймемо показник, що характеризує час простою апаратури або її використання. Середній сумарний час вимушеного простою апаратури безперервної дії за час роботи

$$t_{n\Sigma} = T_{cp}(t) + t_{b\Sigma} + t_{оч\Sigma}, \quad (5)$$

де

$$T_{cp}(t) = \frac{1}{T_p} \sum_{i=1}^{n_{оп}} t_{пр.i} = N_{пр}(t) T_{пр}, \quad (6)$$

де  $T_{cp}(t)$  є тривалість профілактики, тобто середній час, витрачений на виконання регламентних робіт за час роботи  $t$ ;  $t_{пр.i}$  – середній час виконання  $i$ -ї операції;  $n_{оп}$  – число операцій при виконанні однієї профілактики;  $T_{пр}$  – середній час виконання однієї профілактики;  $T_p$  – період виконання регламентних робіт;  $N_{пр}(t)$  – ціле число профілактик за час роботи  $t$

$$t_{b\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_{b.i} n T_b, \quad (7)$$

де  $t_{b\Sigma}$  є середній сумарний час відновлення апаратури протягом  $t$ ;  $t_{b.i}$  – час усунення  $i$ -ї несправності (відновлення);  $n$  – число несправностей за час роботи  $t$ ;  $T_b$  – середній час усунення однієї несправності (відновлення).

Сумарний час відновлення визначається ще так

$$t_{b\Sigma} = \lambda T_b t, \quad (8)$$

Середній сумарний час знаходження апаратури в несправному стані протягом часу  $t$

$$t_{оч\Sigma} = N_{пр}(t) t_{оч}. \quad (9)$$

Для випадків, коли повні відмови усуваються відразу після виникнення,  $t_{оч\Sigma} = 0$ .

Середній час знаходження апаратури в несправному стані  $t_{оч}$  протягом межрегламентного періоду  $T_p$

$$t_{\text{оч}} = \int_0^{T_p} f(\tau)(T_p - \tau) d\tau, \quad (10)$$

де  $\tau$  – момент виникнення несправності в апаратурі,  $0 \leq \tau \leq T_p$ ;  $f(\tau)$  – частота відмов апаратури.

Допускаючи, що поява відмов являє собою найпростіший потік випадкових подій, у результаті інтегрування вираження (10) одержуємо

$$t_{\text{оч}} = T_p - \frac{1}{\lambda_{\text{п.в}}} (1 - e^{-\lambda_{\text{п.в}} T_p}), \quad (11)$$

де  $\lambda_{\text{п.в}}$  – інтенсивність поступових відмов.

Використовуючи вираження (5), (8), (11), визначаємо коефіцієнт вимушеного простою

$$\begin{aligned} K_{\text{п}} &= (T_{\text{сп}}(t) + t_{\Sigma} + t_{\text{оч}}) / t = \\ &= \frac{N_{\text{пр}}(t) T_{\text{пр}} + \lambda T_{\text{в}} + N_{\text{пр}}(t) \left[ T_{\text{в}} - \lambda_{\text{п.в}}^{-1} (1 - e^{-\lambda_{\text{п.в}} T_p}) \right]}{t}, \end{aligned} \quad (12)$$

Після розподілу чисельника й знаменника вираження (12) на  $N_{\text{пр}}(t)$  маємо

$$K_{\text{п}} = \frac{T_{\text{пр}} + \lambda T_{\text{в}} T_p + T_p - \lambda_{\text{п.в}}^{-1} (1 - e^{-\lambda_{\text{п.в}} T_p})}{T_p}, \quad (13)$$

Оптимальний період проведення регламентних робіт  $T_{\text{р.опт}}$  визначається в результаті диференціювання виразу (13) по періоду  $T_p$  і прирівнювання до нуля першої похідної

$$\frac{dK_{\text{п}}}{dT_p} = \frac{T_{\text{пр}}}{T_p^2} + \frac{1}{\lambda_{\text{п.в}} T_p^2} - \frac{\lambda_{\text{п.в}} e^{-\lambda_{\text{п.в}} T_p} T_p + e^{-\lambda_{\text{п.в}} T_p}}{\lambda_{\text{п.в}} T_p^2}, \quad (14)$$

Оскільки  $\lambda_{\text{п.в}} T_p \leq 1$ , після розкладання функції  $e^{-\lambda_{\text{п.в}} T_p}$  у степний ряд і обмеження першими трьома членами одержимо оптимальний період проведення регламентних робіт, при якому забезпечується максимальний коефіцієнт використання апаратури

$$T_{\text{р.опт}} = \sqrt{\frac{2T_{\text{пр}}}{\lambda_{\text{п.в}}}} = \sqrt{2T_{\text{пр}} T_{\text{п.в}}}, \quad (15)$$

де  $\lambda_{\text{п.в}} = 1/T_{\text{п.в}}$  – інтенсивність поступових відмов апаратури, що виявляються під час виконання регламентних робіт. При цьому під

відмовою слід розуміти вихід параметра апаратури за межі встановлених допусків, що спричиняє регульовальні або ремонтні роботи.

**Висновки.** Перевага цього методу прогнозування полягає в тому, що є можливість перевірити елемент без вилучення його з апаратури, а це виключає можливість внесення додаткових раптових відмов. Однак для його реалізації потрібно провести додаткові роботи з визначення залежностей між вихідним параметром апаратури й визначальними параметрами елементів.

В основу контролю технічного стану засобів зв'язку може бути покладений диференційований підхід з обліком тактико-технічних даних окремих технічних засобів, режимів їх функціонування й ступені впливу їх на результуючі показники роботи гарнізону ДСНС в цілому.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про телекомунікації» (№ 1280-IV від 18 листопада 2003 року).
2. Стрельников В.П. Оценка ресурса изделий электронной техники // Математические машины и системы. – К.: НАНУ. – № 2. – 2004.
3. Волосюк В.К. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации / В.К. Волосюк, В.Ф. Кравченко. – М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2008. – 704 с.
4. Жилинский И.Б. Основы надежности и долговечности. М.: МИХМ, 1976. – Ч. 1, 2. – 160 с.
5. Барлоу Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Барлоу Р., Прошан Ф.М. // Наука, 1984. – 328 с.

*Отримано редколегією 02.03.2017*

В.А. Собина, Л.В. Борисова

### **К вопросу контроля технического состояния средств связи при оперативном управлении спасательными подразделениями на месте ликвидации последствий ЧС**

В статье рассмотрены предложения по контролю технического состояния средств связи как получение информации о фактическом состоянии объекта и сопоставление полученной информации с заранее установленными нормами технической документации. Параметрами радиоаппаратуры, которые требуют контроля в процессе эксплуатации, являются: мощность передатчика, чувствительность приемника, коэффициент направленного действия антенны и затухания в антенно-волновом тракте.

**Ключевые слова:** контроль технического состояния средств связи, предельное число параметров, прогнозирование отказов.

V.A. Sobina, L.V. Borisova

### **On the issue of monitoring the technical condition of communications equipment in the operational management of rescue units at the site of emergency response**

The article considers proposals for monitoring the technical condition of communication facilities as obtaining information about the actual state of the facility and comparing the information obtained with the pre-established standards of technical documentation. Parameters of radio equipment that require monitoring during operation are: transmitter power, receiver sensitivity, antenna directivity factor and attenuation in the antenna-wave path.

**Keywords:** control of technical condition of communication facilities, limiting number of parameters, failure prediction.

*Д.В. Тарадуда, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ,  
О.В. Тарахно, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ*

## **ДО ПИТАННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ХІМІЧНИМИ, БІОЛОГІЧНИМИ, РАДІАЦІЙНИМИ ЧИ ЯДЕРНИМИ ІНЦИДЕНТАМИ ТЕРОРИСТИЧНОГО ХАРАКТЕРУ**

(представлено д.т.н. Кривцовою В.І.)

Проведено аналіз досліджень, присвячених попередженню та мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами. Розглянуто класифікацію інцидентів терористичного характеру, пов'язаних із застосуванням ХБРЯ матеріалів і засобів їх здійснення. Запропоновано підхід до проведення характеристики надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, терористичний акт, ХБРЯ інцидент.

**Постановка проблеми.** ХБРЯ інцидент – несподівана подія з використанням хімічних, біологічних, радіоактивних речовин чи ядерних матеріалів (ХБРЯ), що призвела (може призвести) до загибелі людей або завдати шкоди їх здоров'ю та навколишньому середовищу [1]. ХБРЯ інциденти самі по собі небезпечні, але при застосуванні ХБРЯ матеріалів терористичними організаціями масштаби наслідків надзвичайної ситуації можуть бути пролонговані на тривалий термін, а кількість уражених при застосуванні біологічних засобів, при відсутності захисних заходів, може зростати в геометричній прогресії.

Вирішення проблеми попередження та мінімізація наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру ускладнюється тим, що застосування компонентів отруйних і високотоксичних речовин, біологічних рецептур, а також радіоактивних речовин часто не має демаскуючих ознак (вибухів, кольору, запаху й видимих слідів контамінації середовища). Перелік потенційно небезпечних речовин, порівняно з вибуховими, ширший у сотні разів. При цьому радіоактивні, хімічні речовини та контагіозні рецептури суттєво різняться за фізико-хімічними та токсичними властивостями, що істотно ускладнює завдання їх ідентифікації та ліквідації наслідків. Морально-психологічний вплив характеру контамінації такими речовинами незрівнянно вищий, ніж від вибухових речовин.

В Україні, на відміну від міжнародного, починаючи з 2014 року особливо набула актуальності проблема внутрішньодержавного тероризму. Головна причина існування якого зумовлена сепаратизмом і безконтрольним обігом зброї й засобів масового ураження (ЗМУ) з окупованих територій, а надзвичайні ситуації, що можуть виникнути в результаті за-

стосування терористами хімічних засобів масового ураження, біологічних агентів чи радіоактивних речовин, масштабами наслідків можуть сягати Чорнобильської катастрофи [2], тому проблема попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру сьогодні для України зокрема та для світу в цілому є надзвичайно актуальною, а її вирішення потребує проведення детального аналізу та характеристики таких надзвичайних ситуацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Велику увагу надзвичайним ситуаціям, пов'язаним із «хімічним» тероризмом, приділено в роботі [3], де проведено аналіз способів і засобів здійснення терористичних актів. Так, залежно від природи розрізняють інформаційні, фізико-технічні, фізико-хімічні, хімічні та біологічні засоби терору, що призводять до масштабних надзвичайних ситуацій (рис. 1).

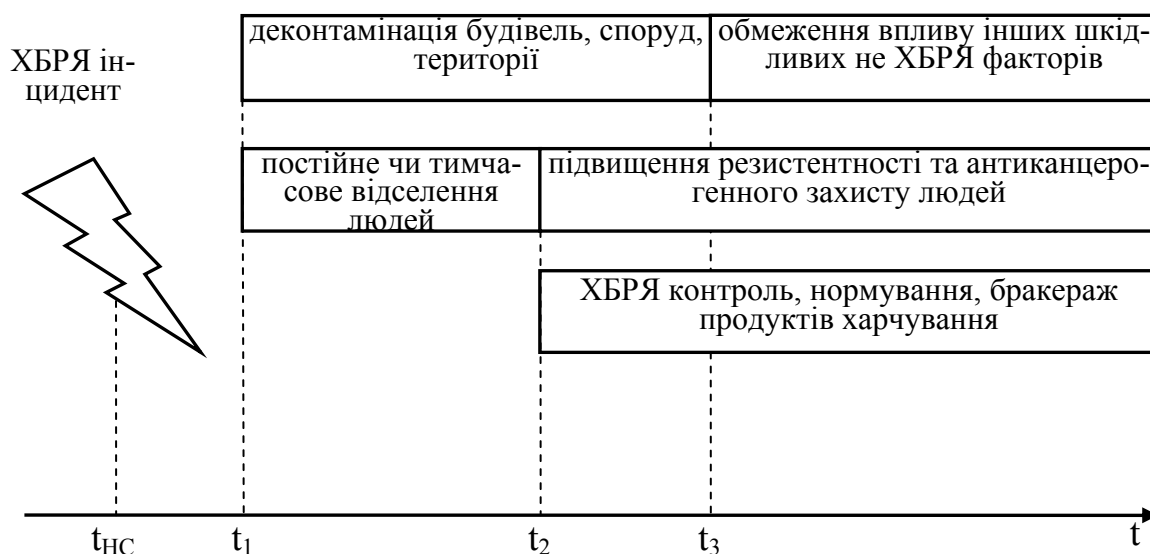


**Рис. 1.** Класифікація терористичних засобів залежно від їх природи

У роботі [4] проведено аналіз радіоактивних матеріалів з точки зору можливості їх використання при виготовленні «брудних бомб» і застосування в терористичних цілях. Так, період напіврозпаду ( $T_{1/2}$ ) 15 радіоактивних ізотопів з масовими числами від 232 до 246 складає від 0,18 с ( $^{237}\text{Pu}$ ) до 70 млн. років ( $^{244}\text{Pu}$ ). Практичне значення мають радіоізотопи  $^{236-246}\text{Pu}$ , що утворюються в ядерних реакторах. Найбільший інтерес для потенційних терористів з точки зору виникнення масштабної техноген-

ної надзвичайної ситуації становить  $^{239}\text{Pu}$  ( $T_{1/2} = 2,44 \cdot 10^4$  років), який використовується як матеріал, що ділиться в ядерних боєприпасах. Нуклід отримують з урану, що опромінюється нейтронами в спеціальних реакторах, які, при достатньому фінансуванні та технічному рівні оснащення, можливо виготовляти не в промислових умовах. У роботі також наведено результати досліджень, спрямованих на попередження та виключення можливості виникнення «радіаційного» терору, а також основні завдання захисту населення в разі виникнення надзвичайної ситуації, пов'язаної з радіаційним інцидентом терористичного характеру.

Аналіз небезпек надзвичайних ситуацій, пов'язаних з терористичними актами із застосуванням радіаційних, хімічних і біологічних компонентів, проведено в роботах [5, 6]. У публікаціях наголошено на необхідності системного підходу і координації діяльності зацікавлених відомств як в галузі освіти населення та підготовки кадрів, так і у сфері спеціальних технічних заходів щодо попередження таких надзвичайних ситуацій, запропоновано часоворієнтований комплекс заходів захисту населення в разі виникнення надзвичайної ситуації, пов'язаної з ХБРЯ інцидентом терористичного характеру (рис. 2).



**Рис. 2.** Часоворієнтований комплекс заходів захисту населення в разі виникнення НС, пов'язаної з ХБРЯ інцидентом терористичного характеру

У роботах [7, 8] проведено аналіз та класифікацію інцидентів, пов'язаних із застосуванням біологічних агентів, з метою створення умов для виникнення техногенної НС. У проведених дослідженнях конкретні інциденти віднесені до відповідних груп залежно від типу суб'єкта та об'єкта застосування біологічних агентів (рис. 3).



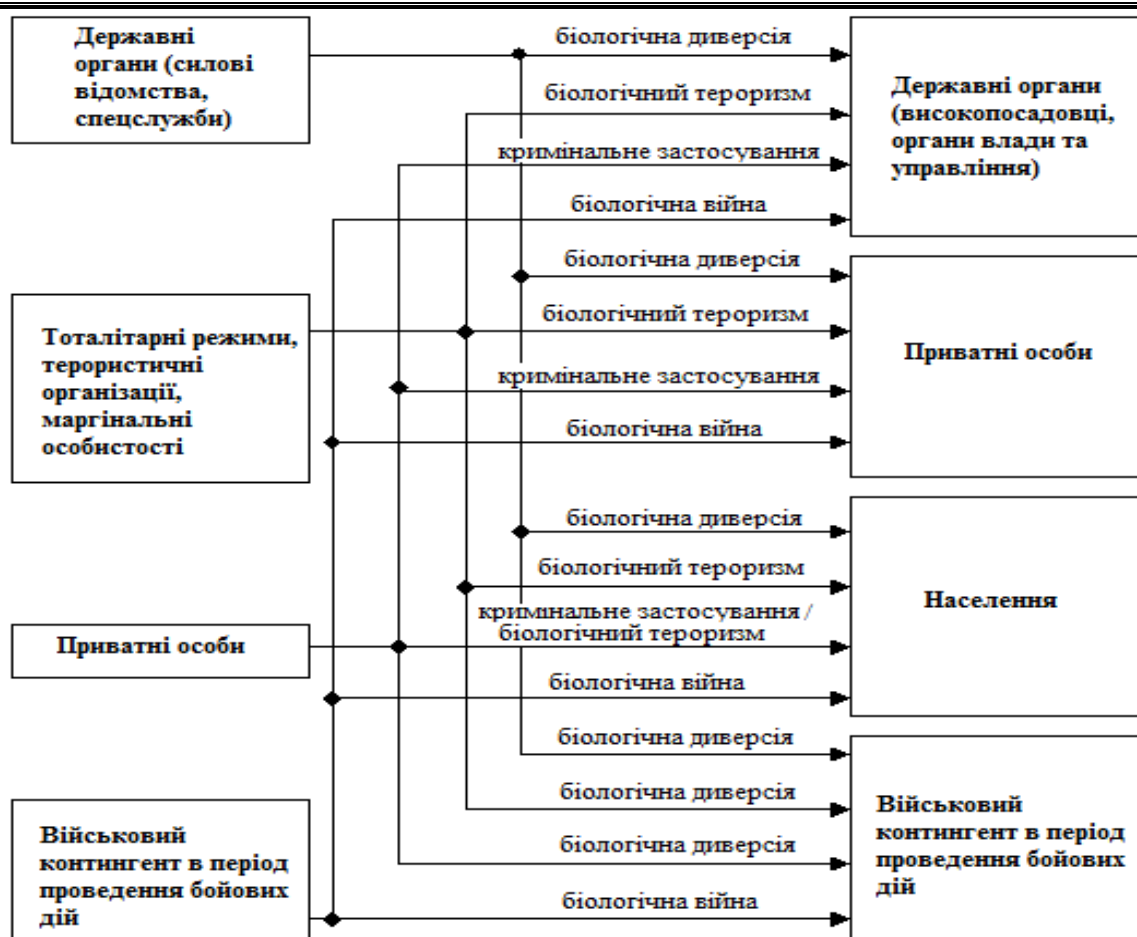


Рис. 3. Класифікація інцидентів, пов'язаних із застосуванням біологічних агентів

**Постановка завдання та його вирішення.** Як показав аналіз останніх досліджень і публікацій, попередження та мінімізація наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру, на сьогодні є актуальним завданням (рис. 4.), вирішення якого не можливе без проведення їх попередньої характеристики та аналізу з метою розробки й застосування превентивного комплексу організаційно-технічних заходів.

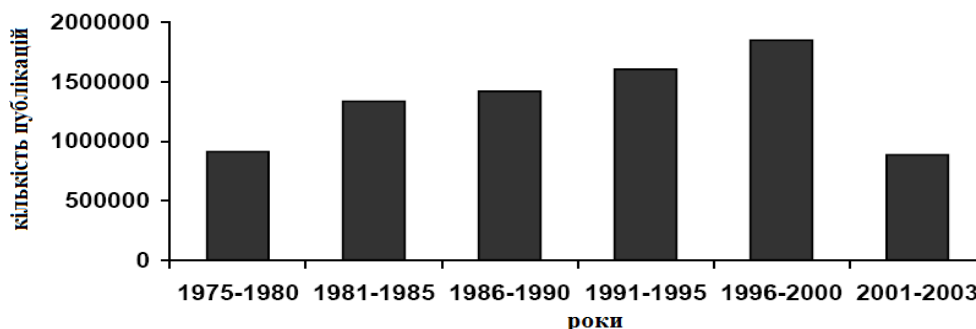


Рис. 4. Динаміка наукових публікацій, присвячених попередженню та мінімізації наслідків НС, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами [5-8]

Попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру, – це комплексна проблема, її вирішення можливе за наявності низки складових:

- наукового потенціалу для вирішення очікуваних і прогнозованих завдань;
- високоточних і оперативних засобів індикації та контролю ХБРЯ забруднення;
- профільно-підготовлених фахівців;
- розроблених методик проведення робіт в умовах ХБРЯ забруднення;
- ефективного управління радіаційним, хімічним та біологічним захистом населення і територій;
- матеріальних ресурсів і спеціальної техніки, призначених (орієнтованих) для відповідних цілей;
- навчання населення основам радіаційного, хімічного та біологічного захисту і правилам поведінки при терористичних актах і надзвичайних ситуаціях;
- постійного моніторингу, проведення характеристики та аналізу випадків виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру.

Вирішуючи поставлене завдання, на основі проаналізованих досліджень було розроблено взаємопов'язані показники проведення характеристики надзвичайних ситуацій з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру (рис. 5), а саме: **намір** (показник, що характеризує стан соціально-політичної ситуації,  $K_n$ ), **можливість організації** (показник наявності чи доступності ресурсів для здійснення ХБРЯ інцидентів,  $K_m$ ), **вразливість** (показник ефективності системи захисту об'єктів потенційної зацікавленості терористів,  $K_v$ ), **доступність реалізації** (показник, що характеризує можливість доступу до об'єктів потенційної зацікавленості терористів і реалізації ХБРЯ інцидентів,  $K_d$ ).

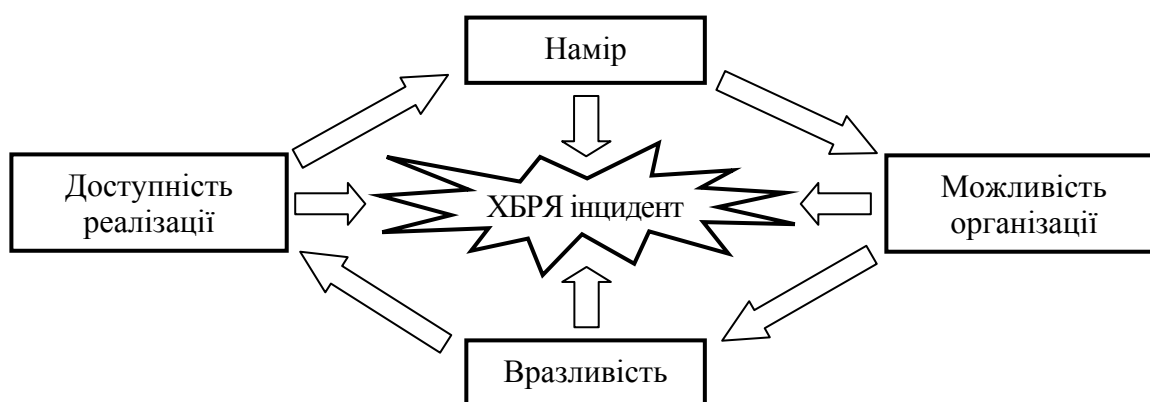


Рис. 5. Характеристика ХБРЯ інцидентів терористичного характеру

Кількісну оцінку показників характеристики надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру, доцільно проводити шляхом застосування методів експертних оцінок. Для показників  $K_n$ ,  $K_m$ ,  $K_v$ ,  $K_d$  приймаємо такий діапазон варіювання від 0 до 1, де значенню 0 відповідає абсолютно не сприятливі умови виникнення НС, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру, а зміні значення показників від 0 до 1 відповідає «лібералізація» умов для ефективної діяльності терористичних організацій.

*Приклад.* Терористичний акт із застосуванням отруйної речовини зарину стався в Японії 20 березня 1995 року на станціях метро Касумігасекі і Нагататьо. Загибло, за різними даними, від 10 до 27 осіб, понад 6300 отримали отруєння різного ступеня важкості. Атака була організована неорелігійною деструктивною сектою «Аум Сінрікьо».

**Табл. 1. Приклад характеристики НС, пов'язаної з ХБРЯ інцидентом терористичного характеру**

Показник	Опис	Значення ( $K_n$ , $K_m$ , $K_v$ , $K_d$ )
Намір, $K_n$	Повалення існуючого політичного режиму і встановлення Секо Асахара, засновника групи, як «Імператора» Японії.	0,7
Можливість організації, $K_m$	«Аум Сінрікьо» володіла фабрикою, де були виготовлені хімічні речовини.	1
Вразливість, $K_v$	Рівень загрози терористичних актів в Японії в той час розглядався як низький, тому дуже мало ресурсів було задіяно для забезпечення безпеки.	0,8
Доступність реалізації, $K_d$	В якості обраної цілі терористичного акту в «Аум Сінрікьо» визначили метрополітен.	0,8
<b>Інтегральний показник К</b>		<b>1,66</b>

Для порівняння різних випадків надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру, вводимо поняття *інтегрального показника* К характеристики НС

$$K = \sqrt{(K_n)^2 + (K_m)^2 + (K_v)^2 + (K_d)^2} \quad (1)$$

Таким чином, отримуємо кількісну характеристику, яка є основою для проведення оцінки небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру [9], з метою розробки та застосування превентивного комплексу організаційно-технічних заходів управління безпекою.

Стосовно ж розробки такого комплексу, то в першу чергу необхідно істотно розширити сферу індикації та контролю ХБРЯ забруднення і створити багатобар'єрний радіаційний, хімічний та біологічний захист,

починаючи з державного рівня і закінчуючи окремими технічними рішеннями на конкретних об'єктах. Принципи, закладені в основу створення такого захисту, повинні носити універсальний характер, тобто застосовуватися для запобігання неконтрольованого переміщення будь-яких джерел ХБРЯ забруднення як штучного, так і природного походження. Ці ж принципи повинні застосовуватися при розробці та виборі технічних засобів, що застосовуються для ХБРЯ індикації та контролю.

**Висновки.** У роботі проведено аналіз досліджень, присвячених попередженню та мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами. Розглянуто класифікацію інцидентів терористичного характеру, пов'язаних із застосуванням ХБРЯ матеріалів та засобів їх здійснення залежно від природи. Запропоновано підхід до проведення характеристики надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру, на основі кількісного аналізу взаємопов'язаних показників (намір, можливість організації, вразливість, доступність реалізації).

Розроблена кількісна характеристика є підґрунтям для проведення оцінки небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру, з метою розробки та застосування превентивного комплексу організаційно-технічних заходів управління безпекою.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Руководящие принципы для оценки национальных возможностей и потребностей в области снижения ХБРЯ рисков. [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Кабінету Міністрів Республіки Узбекистан. – Електрон. дан. – 2016. – Режим доступу: <http://ncu.uz/wp-content/uploads/2016/03/NAQ>.

2. Тарадуда Д.В. Характеристика надзвичайних ситуацій, пов'язаних з терористичними актами на потенційно небезпечних об'єктах / Д.В. Тарадуда // Науковий збірник «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист». – Київ, ДУ «ІГНС НАН України». – 2016. – Вип. 10 – С. 20-24.

3. Андреев В.Г. Химический терроризм: возрастающая угроза / В. Г. Андреев // Обозреватель-Observer. – М.: – 2004. – № 3 – С. 43-55.

4. Татаринев В.В. Радиационный, химический и биологический терроризм / В.В. Татаринев // Научный журнал «Технологии техносферной безопасности». – М. – 2012. – Выпуск № 3 (43). – С. 1-7.

5. Василенко И.Я. Радиационный терроризм (медико-биологические аспекты) / И.Я. Василенко, О.И. Василенко // Бюллетень по атомной энергии. – М., – 2003. – № 5. – С. 48-52.

6. Международный план по реагированию на инциденты с использованием ХБРЯ веществ [Електронний ресурс] / Офіційний сайт

NATO. – Електрон. дан. – 2007. – Режим доступу: <http://www.nato.int/docu/ser/ser-cbrn-training-ru.pdf>.

7. Васильев Н.Т. Биологический терроризм: прошлое, настоящее, будущее / Н.Т. Васильев, М.Ю. Тарасов, Д.Л. Поклонский // Сборник научных трудов «Химическая и биологическая безопасность». – М.: ВИНТИ. – 2002. – № 6. – С. 3-10.

8. Tucker J. V. Historical trends related to bioterrorism: an empirical analysis / J. V. Tucker // Emerg. Infect. Disease, 1999. – V. 5. – № 4. – P. 498-504.

9. Тарадуда Д.В. Підхід до кількісної оцінки небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з терористичними актами на радіаційно небезпечних об'єктах / Д.В. Тарадуда, М.О. Демент // Збірка наукових праць «Проблеми надзвичайних ситуацій». – X. – 2016. – Випуск 24. – С. 126-132. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol24/taraduda.pdf>.

*Отримано редколегією 09.03.2017*

Д.В. Тарадуда, Е.В. Тарахно

**К вопросу характеристики чрезвычайных ситуаций, связанных с химическими, биологическими, радиационными или ядерными инцидентами террористического характера**

Проведен анализ исследований, посвященных предупреждению и минимизации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с ХБРЯ инцидентами. Рассмотрена классификация инцидентов террористического характера, связанных с применением ХБРЯ материалов и средств их осуществления. Предложен подход к проведению характеристики чрезвычайных ситуаций, связанных с ХБРЯ инцидентами террористического характера.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, террористический акт, ХБРЯ инцидент.

D.V. Taraduda, O.V. Tarachno

**To the question of characteristics emergencies related to chemical, biological, radiation or nuclear incidents of a terrorist nature**

The analysis of the studies devoted to the prevention and minimization of the consequences of emergencies related to CBRN incidents. The classification of incidents of a terrorist nature associated with the use of CBRN materials and their means of implementation is considered. An approach to the characterization of emergencies related to CBRN incidents of a terrorist nature is proposed.

**Keywords:** emergency, terrorist act, CBRN incident.

*В.В. Тараненкова, к.т.н., доцент, НТУ «ХПИ»,  
О.В. Миргород, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

## **ЖЕРТВЕННЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

(представлено д.т.н. Андроновым В.А.)

Представлены результаты исследования перспективных жертвенных вяжущих материалов на основе композиций четырехкомпонентной системы  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Ключевые слова:** тяжелая авария, устройство локализации расплава, жертвенный вяжущий материал.

**Постановка проблемы.** Безопасность остается во всем мире приоритетной задачей, определяющей перспективы эксплуатации существующих и создания новых атомных электростанций. Это связано с тем, что ряд крупных аварий ядерных энергетических установок привели не только к значительному экономическому и социальному ущербу, но и к возникновению негативного общественного мнения относительно целесообразности использования АЭС. Наибольший репутационный удар по атомной энергетике нанесли следующие аварии: на атомном комплексе «Селлафилд» (Великобритания, 1957г.); АЭС «Три-Майл-Айленд» (США, 1979); Чернобыльская АЭС (СССР, 1986г.); АЭС «Фукусима-1» (Япония, 2011г.). Учитывая опыт этих аварий, для формирования позитивного отношения общественности к ядерной энергетике необходима разработка АЭС с реакторами, обеспечивающими существенное повышение безопасности. Применение пассивных систем безопасности в реакторах нового поколения позволяет остановить катастрофическое развитие аварии без вмешательства оператора.

Тяжелая авария АЭС – это расплавление активной зоны реактора с возможным последующим разрушением его корпуса и выходом расплавленного топлива в контеймент – последний защитный барьер на пути распространения радиоактивного расплава. Особую опасность представляет возможность разрушения расплавом бетонного основания контеймента и выброса радиоактивных продуктов деления в атмосферу, проникновения расплава в грунт и радиоактивного заражения гидросферы. Пассивная система защиты без участия человека и автоматики должна надежно удерживать расплав в контролируемом охлаждаемом состоянии в течение расчетного времени, требуемого для принятия адекватных мер по ограничению аварии и устранению ее последствий [1]. Для населения тяжелая авария даже в случае разрушения корпуса реактора с выходом рас-

плавленого палива в контеймент не являється критичною, якщо паливо утримується в ньому і не розповсюджується в оточуюче середовище.

По сучасній термінології расплав, що містить ядерне паливо і расплавлені компоненти внутрішніх пристроїв, називається коріумом. Він складається з оксидів урана, цирконія, заліза, хрому, кремнію, кальцію і елементів металевих конструкцій (цирконія, заліза, хрому і т.д.). Коріум за розрахунками має дуже високу температуру (до 2800 °С) і високу хімічну активність. Коріум формувался за межами науково-дослідницьких лабораторій мінімум 5 раз: однажды в реакторі «Три-Майл-Айленд», однажды в Чорнобильі і три рази при расплавлении реактора в Фукусимі. І тільки в Чорнобильі ядерна лава змогла вирватися за межі реактора. К шкоді, ЧАЭС, як і інші АЭС 2-го покоління, не мала пасивних систем управління важкими аваріями. Тому в реакторах 3-го покоління, які до 2020-го року повинні повністю замінити реактори 2-го покоління, потрібна обов'язкова наявність пасивної системи захисту від важких запланованих аварій.

В зв'язі з цим, для розвитку атомної енергетики однією з проблем являється актуальним створення надійних систем локалізації расплава активної зони і продуктів ділення при запланованих аваріях корпусних водоохолоджуємих реакторів. Деякі концепції локалізації расплава при запланованих аваріях АЭС передбачають використання функціональних матеріалів, призначення яких складається в тому, щоб, взаємодіючи з расплавом, поступаючим в пристрій локалізації расплава (УЛР), змінювати його склад, властивості і характеристики ванни расплава, і таким чином, створити умови для надійної роботи УЛР. В літературі дані матеріали в зв'язі з специфікою їх функціонального призначення, називаються жертвними матеріалами (ЖМ).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Жертвні неметалеві матеріали – це принципово новий клас функціональних неорганічних матеріалів, які призначені для зменшення ентальпії і густоти коріума за рахунок плавлення жертвних матеріалів і хімічного взаємодіяння з ними [2].

В роботі [3] були сформульовані основні вимоги до жертвним матеріалам. Головною відмінною особливістю жертвних матеріалів являється необхідність задовольняти дуже широкому спектру вимог по хімічним, термодинамічним, теплофізическим, міцнісним, термомеханіческим, ядерним і іншим властивостям. Причому критерії вибору матеріала визначаються не тільки можливим сценарієм протікання важкої аварії, але і концепцією локалізації расплава і її технічної реалізацією.

В наші часи найбільше розвиток отримала концепція УЛР тигельного типу, проект якого був реалізований при будівництві АЭС «Тяньвань» (Китай) і «Куданкулам» (Індія). Він представляє собою

стальной теплообменник-тигель, расположенный в подреакторном пространстве бетонной шахты реактора, охлаждаемый снаружи проточной водой. Охлаждаемая вода поступает в бетонную шахту пассивным способом. В случае проплавления корпуса реактора расплав кориума выплывает из отверстия и начинает двигаться вниз под действием силы тяжести. Для организации этого движения и защиты строительных конструкций в УЛР предусмотрена воронкообразная конструкция под общим названием «плита нижняя», на которой размещены слои жертвенных материалов. Воронка должна направить струю расплава вниз по оси в собственно тигельную часть УЛР, заполненную жертвенными материалами [4, 5].

Функциональное назначение защитного покрытия из жертвенных материалов плиты нижней заключается [6]:

- в условиях нормальной эксплуатации
  - в обеспечении тепловой изоляции днища корпуса реактора и защиты от нейтронного и гамма-излучения подреакторного помещения бетонной шахты;
  - при тяжелой аварии с разрушением корпуса реактора
    - в обеспечении соскальзывания кориума к центральному отверстию с последующим падением в корзину устройства локализации расплава;
    - во временной защите бетонных и металлических несущих конструкций плиты нижней от разрушения кориумом на период стекания кориума в корзину устройства локализации расплава

Для решения этих задач покрытие плиты нижней из жертвенного материала должно быть многослойным:

1-й слой из ЦКС-М [7] – его основной функцией является ожигание первых (металлических) порций кориума. Этот слой будет расплавлен и стечет вместе с кориумом в виде шлака в корзину УЛР;

2-й слой из ОКА-М [8] предназначен для защиты строительных бетонных конструкций от термического воздействия в условиях экзотермической реакции окисления элементарного циркония, содержащегося в оксидной компоненте кориума;

3-й слой выполнен из бетона с высоким содержанием оксида алюминия ОКА [9] и обеспечивает высокую термическую и механическую прочность защитного покрытия плиты нижней.

**Постановка задачи и ее решение.** В настоящее время в Украине требует решения вопрос постройки двух запланированных реакторов на Хмельницкой АЭС. НАЭК «Энергоатом» предлагает строить на украинских АЭС исключительно блоки 3-го поколения, оснащенные пассивными системами защиты. Также высказывается мнение не продолжать деятельность ядерных реакторов, срок использования которых уже истек, поскольку все они относятся к реакторам 2-го поколения и не отвечают современным критериям безопасности. В связи с этим в самое ближайшее время пе-



ред украинской атомной энергетикой остро встанет проблема постройки новых объектов, отвечающих современным стандартам безопасности.

Следует отметить, что в последние годы в нашей стране уделялось значительное внимание проектированию пассивных систем защиты (ПСЗ) от тяжелых аварий на АЭС [1, 10]. Однако разработки, касающиеся жертвенных материалов без которых невозможна работа современных ПСЗ, имеют весьма ограниченный опыт в мире, а в Украине совершенно отсутствуют.

В связи с вышесказанным целью данного исследования было выявление перспективных областей получения новых функциональных вяжущих материалов для устройств локализации расплава активной зоны ядерных реакторов.

Принимая во внимание, что материал, защищающий конструкции приемной воронки от разрушения расплавом, должен с одной стороны быть легкоплавким (с тем, чтобы обеспечить соскальзывание начальных относительно холодных порций расплава и фрагментов конструкций реактора в УЛР), а с другой стороны – ударопрочным и термостойким, то это возможно только при максимально высокой концентрации оксидов железа и алюминия в ЖМ.

Наиболее перспективной представляется разработка требуемого вяжущего материала на основе сочетания обладающих гидравлической активностью химических соединений оксидов железа и алюминия. К таким соединениям относятся некоторые алюминаты, ферриты и алюмоферриты щелочноземельных элементов. С этой точки зрения представляет безусловный интерес четырехкомпонентная система  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ , включающая алюминаты кальция и бария, обеспечивающие высокую прочность огнеупорных алюминатных цементов, а также ферриты кальция и бария, обладающие высокими массовыми коэффициентами поглощения гамма-излучения.

Однако разработка новых составов специальных вяжущих на основе указанной системы сдерживается ограниченностью данных относительно ее строения. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований нами было изучено субсолидусное строение четырехкомпонентной системы  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  и выявлены области составов, пригодные для получения вяжущих материалов для службы в экстремальных условиях.

С целью определения возможности использования специальных цементов в качестве жертвенных материалов была произведена оценка температур и составов эвтектик в выбранных сечениях системы. Результаты представлены в табл. 1.

**Табл. 1. Оценка температур и состава эвтектик в выбранных сечениях системы  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$**

Состав эвтектик*	Температура эвтектики, К	ВА, мол. %	$\text{B}_2\text{F}$ , мол. %	$\text{C}_2\text{F}$ , мол. %	$\text{C}_4\text{AF}$ , моль. %	СА, моль. %
ВА – $\text{B}_2\text{F}$ – $\text{C}_2\text{F}$	1540	5,2	67,8	26,9	–	–
ВА – $\text{C}_4\text{AF}$ – $\text{C}_2\text{F}$	1597	8,0	–	41,7	50,3	–
ВА – СА – $\text{C}_4\text{AF}$	1630	9,7	–	–	74,4	15,9
$\text{C}_2\text{F}$ – $\text{B}_2\text{F}$	1554	–	71,5	28,5	–	–
$\text{C}_2\text{F}$ – ВА	1675	15,8	–	84,2	–	–
$\text{C}_2\text{F}$ – $\text{C}_4\text{AF}$	1611	–	–	57,9	42,1	–
$\text{B}_2\text{F}$ – ВА	1619	12,3	87,7	–	–	–
ВА – СА	1789	59,9	–	–	–	40,1
СА – $\text{C}_4\text{AF}$	1645	–	–	–	16,1	83,9
ВА – $\text{C}_4\text{AF}$	1671	16,4	–	–	83,6	–

\*Далее по тексту:  $\text{CaO}$  – С;  $\text{BaO}$  – В;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – А;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – F.

Как свидетельствуют полученные результаты, эвтектики сильно смещены от моноалюмината бария к железосодержащим минералам, т.е. чем больше в специальном цементе ВА, тем выше его жаростойкость.

На основе бинарных и тройных композиций выбранных сечений были синтезированы составы специальных вяжущих. Обжиг сырьевых смесей заданного стехиометрического состава осуществлялся в криптоловой печи. Установлено, что в для данных специальных цементов температура обжига существенно снижена, поскольку в присутствии оксида железа наблюдается так называемый эффект Ходвала, который заключается в том, что в присутствии  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  углекислый барий разлагается на 200-300 °С ниже обычного, что в свою очередь приводит к снижению энергозатрат на обжиг цемента и удешевлению его себестоимости.

Определение физико-механических свойств синтезированных цементов осуществлялось в соответствии с малой методикой М.И. Стрелкова. Выявлено, что полученные вяжущие материалы характеризуются низким водоцементным соотношением (0,20 – 0,28), быстрыми сроками схватывания: начало 7 мин. – 1 час 30 мин., конец 12 мин. – 1 час 45 мин., являются быстротвердеющими - предел прочности при сжатии после 3 суток твердения достигает 20 – 82 МПа, после 7 суток – 25 – 92 МПа, после 28 суток – 31 – 82 МПа.

С целью выявления пригодности использования синтезированных цементов в качестве защитных вяжущих от гамма-излучения была произведена оценка их защитных свойств по массовому коэффициенту поглощения гамма-излучения ( $\mu$ ). Результаты расчетов приведены в табл. 2.

**Табл. 2. Оценка защитных свойств специальных цементов**

№	Фазовый состав, мас. %					μ, см <sup>2</sup> /г
	BA	C <sub>4</sub> AF	C <sub>2</sub> F	B <sub>2</sub> F	CA	
1	75	25	–	–	–	190,2
2	50	50	–	–	–	173,7
3	25	75	–	–	–	157,3
4	50	–	50	–	–	197,1
5	75	–	25	–	–	201,8
6	70	–	15	15	–	193,7
7	50	–	25	25	–	185,4
8	70	15	15	–	–	216,4
9	50	–	25	25	–	222,9
10	25	–	50	25	–	218,3
11	40	20	40	–	–	185,9
12	40	20	–	–	40	136,97
13	70	15	–	–	15	175,58

Как свидетельствуют полученные результаты, наибольшими показателями массового коэффициента поглощения характеризуются составы BA – C<sub>2</sub>F – B<sub>2</sub>F (50 – 25 – 25) – 222,9 см<sup>2</sup>/г и BA – C<sub>2</sub>F – B<sub>2</sub>F (25 – 50 – 25) – 218,3 см<sup>2</sup>/г. Разработанные составы имеют массовый коэффициент поглощения гамма-излучения в пределах 190 – 223 см<sup>2</sup>/г. Таким образом, защитные свойства полученных цементов в 3 – 4 раза превышают соответствующий показатель для традиционного глиноземистого цемента, который составляет 50 – 60 см<sup>2</sup>/г.

Высокая вариантность требований к жертвенным материалам связана с их многофункциональностью, поэтому поиск одного жертвенного материала, который бы удовлетворял всем требованиям, является бесперспективным. В связи с этим нами были выбраны три базовых состава жертвенных вяжущих материалов на основе композиций системы CaO – BaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которые могут быть основой для создания трехслойного защитного покрытия плиты нижней УЛР (табл. 3).

**Табл. 3. Составы жертвенных вяжущих материалов**

Жертвенные материалы	Содержание оксидов, мас. %				Жертвенные вяжущие материалы на основе композиций системы CBAF	Содержание оксидов, мас. %			
	CaO	BaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		CaO	BaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ОКА	10	-	не < 50	-	CA — BA 50 – 50	18	30	52	-
ОКА-М	7,2	-	не > 30	не < 25	BA – C <sub>2</sub> F 50 – 50	21	30	20	29
ЦКС-М	30,2	-	не > 15	не < 35	BA – C <sub>2</sub> F – B <sub>2</sub> F 25 – 50 – 25	21	31	10	38

**Выводы.** В результате проведенных исследований была доказана возможность получения жертвенных вяжущих материалов на основе композиций системы  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Наиболее перспективными для создания различных слоев защитного покрытия плиты нижней устройства локализации расплава, по нашему мнению, являются составы сечений  $\text{CA} - \text{BA}$ ,  $\text{BA} - \text{C}_2\text{F}$  и  $\text{BA} - \text{C}_2\text{F} - \text{B}_2\text{F}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калванд Али. Проблема охлаждения расплава кориума в контейнменте в пассивных системах защиты от тяжелых аварий. Часть 1. / Али Калванд, И.В. Казачков // Ядерна та радіаційна безпека. – 2009. – № 1. – С. 34-41.
2. Жертвенные материалы системы безопасности атомных электростанций – новый класс функциональных материалов / В.В. Гусаров, В.И. Альмяшев, С.В. Бешта [и др.] // Теплоэнергетика. – 2001. – № 9. – С. 22-24.
3. Физико-химическое моделирование и анализ процессов взаимодействия расплава активной зоны ядерного реактора с жертвенным материалом / В.В. Гусаров, В.И. Альмяшев, В.Б. Хабенский [и др.] // Физика и химия стекла. – 2005. – Т. 31. – № 1. – С. 71-90.
4. Концепция локализации расплава кориума на внекорпусной стадии запроектной аварии АЭС с ВВЭР-1000 / И.В. Кухтевич, В.В. Безлепкин, В.Б. Хабенский [и др.] // Теплоэнергетика. – 2001. – № 9. – С. 2-7.
5. Устройство локализации расплава Тяньваньской АЭС с ВВЭР-1000 / А.С. Сидоров, М.Ф. Рогов, В.П. Новак [и др.] // Теплоэнергетика. – 2001. – № 9. – С. 8-13.
6. Функциональные материалы для пассивного управления запроектной аварией ядерного реактора на внекорпусной стадии локализации расплава активной зоны. Часть 1 / Ю.П. Удалов, Н.Ф. Федоров, Б.А. Лавров, А.С. Сидоров // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2010. – № 8 (34). – С. 17-24.
7. Цемент кладочный специальный модернизированный (ЦКС-М). Технические условия: ТУ 1569-415-02068474-2008.
8. Смесь сухая корундовая алюминатная модернизированная (ОКА-М). Технические условия: ТУ 1569-417-02068474-2008.
9. Смесь сухая огнеупорная корундовая алюминатная (ОКА). Технические условия: ТУ 1569-386-02068474-2008.
10. Коновал А.В. Моделирование охлаждения кориума и анализ факторов нагружения контейнмента во время тяжелых аварий / А.В. Коновал, Али Калванд, И.В. Казачков // Ядерна фізика та енергетика. – 2013. – Т. 14. – № 3. – С. 276-287.

*Получено редколлегией 14.02.2017*

В.В. Тараненкова, О.В. Миргород

**Жертовні в'язучі матеріали для пристроїв локалізації розплаву активної зони ядерного реактора**

Представлені результати дослідження перспективних жертовних в'язучих матеріалів на основі композицій чотирикомпонентної системи  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Ключові слова:** тяжка аварія, пристрій локалізації розплаву, жертовний в'язучий матеріал.

V.V. Taranenkova, O.V. Mirgorod

**Sacrificial binders for core catchers of active sections of nuclear reactors**

The results of investigations of prospective sacrificial binders on the base of compositions of the quaternary system  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  are presented.

**Keywords:** severe accident, core catcher, sacrificial binder.

*В.В. Тригуб, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
В.М. Попов, д.т.н., доцент, проректор, НУЦЗУ*

## **ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ РЯТУВАЛЬНИКІВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ НА ЗРУЙНОВАНИХ БУДИНКАХ**

(представлено д.т.н. Андроновим В.А.)

Показано підходи до визначення потрібних сил для проведення аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будівлях.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, аварійно-рятувальні роботи, зруйновані будинки, рятувальник.

**Постановка проблеми.** Згідно [1] основним оперативним завданням підрозділів ДСНС України при ліквідації надзвичайних ситуацій є рятування людей у разі виникнення загрози їх життю. Найбільше число постраждалих та людських жертв можливо при руйнуванні будівель та споруд громадського призначення, техногенно-небезпечних підприємств, багатопверхових, аварійних будинків житлового та промислового призначення. У зв'язку з неможливістю зосередження достатньої кількості сил різного призначення в зоні НС в короткий термін та великою кількістю постраждалих, то при виникненні таких надзвичайних ситуацій організація рятування людей є проблематичною.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В попередніх дослідженнях докладно розглядаються питання, які стосуються прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій взагалі. В роботі [2] розглядається методика визначення обсягу завалів, яка дозволяє визначити потрібну кількість сил та засобів для їхнього розбирання. В [3-5] 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 [6]. В [7] представлена методика розрахунку імовірної кількості постраждалих для визначення сил проведення рятувальних робіт на зруйнованих будинках. Робота [8] присвячена визначенню меж зон руйнування при вибуху газо-, пароповітряних сумішей на відкритих технологічних установках, яка дозволяє в подальшому прогнозувати кількість потерпілих в зруйнованих будинках. Більш гнучка методика щодо визначення сил для проведення рятувальних робіт, яка враховує весь комплекс аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будинках, але враховує його взагалі, без розподілу на групи виконання робіт, розглянута в [9].

**Постановка завдання та його вирішення.** Є необхідність уточнення методики визначення потрібних сил з урахуванням окремих видів

аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будинках.

Склад сил та засобів повинен забезпечувати проведення заходів з пошуку постраждалих, їх порятунку, надання медичної та інших видів допомоги, гасіння пожеж, тощо.

Загальна чисельність особового складу підрозділу, яке бере участь в рятувальних роботах, дорівнює

$$N_{o.c\ pp} = N_{pмг} + N_{гpp} + N_{гпмд} + N_{пож}, \quad (1)$$

де  $N_{pмг}$  – чисельність особового складу, необхідного для комплектування рятувальних механізованих груп;  $N_{гpp}$  – чисельність особового складу, необхідного для комплектування груп ручного розбирання;  $N_{гпмд}$  – чисельність особового складу, необхідного для комплектування груп надання першої медичної допомоги;  $N_{пож}$  – чисельність особового складу, необхідного для локалізації та гасіння пожеж.

Досвід ліквідації надзвичайних ситуацій останніх років показав, що розбирання завалу найдоцільніше проводити групами ручного розбирання та рятувальними механізованими групами одночасно, або винятково вручну групами ручного розбирання.

Кількість особового складу для комплектування рятувальних механізованих груп визначаємо за такою залежністю

$$N_{pмг} = 0,15 \cdot \frac{W_3 \cdot T_3}{\tau} \cdot k_{сз} \cdot k_{чд} \cdot k_{пу}, \quad (2)$$

де  $W_3$  – об'єм завалу зруйнованих будівель і споруд,  $m^3$ ;  $T_3$  – трудомісткість по розбиранню завалу,  $чол.год/m^3$ , приймається  $1,8$   $чол.год/m^3$ ;  $\tau$  – загальний час виконання рятувальних робіт,  $год.$ ;  $k_{сз}$  – коефіцієнт, який враховує структуру завалу, приймається за табл. 1;  $k_{чд}$  – коефіцієнт, який враховує зниження продуктивності в темний час доби, приймається  $1,5$ ;  $k_{пу}$  – коефіцієнт, який враховує погодні умови, приймається за табл. 2;  $0,15$  – коефіцієнт, який враховує частку завалу, який розбирається до його загального об'єму.

**Табл. 1. Значення коефіцієнта  $k_{сз}$**

Житлові будинки зі стінами			Промислові будинки зі стінами	
з місцевих матеріалів	з цегли	з з/б панелей	з цегли	з з/б панелей
0,1	0,2	0,75	0,65	0,9

**Табл. 2. Значення коефіцієнта  $k_{пу}$**

Температура повітря, $^{\circ}C$	< -20	-10 ÷ -20	0 ÷ -10	25 ÷ 0	> 25
$k_{пу}$	1,6	1,4	1,3	1,0	1,5

Якщо відома кількість людей, які перебувають в завалі, то об'єм завалу для вилучення постраждалих можна визначити за формулою

$$W_3 = 1,25 \cdot N_{\text{зав}} \cdot h_{\text{зав}}, \quad (3)$$

де  $N_{\text{зав}}$  – кількість людей, які знаходяться в завалі, чол;  $h_{\text{зав}}$  – висота завалу, м.

Залежність (3) передбачає, що для вилучення одного постраждалого потрібно влаштувати в завалі шахту (колодязь) на всю висоту завалу та розміром в плані 1 x 1 м. Коефіцієнт 1,25 враховує збільшення об'єму ділянки за рахунок неможливості обладнання шахти зазначених розмірів (осипання завалу, витягання великих уламків, нахилу шахти і т.п.).

Тоді кількість рятувальних механізованих груп можна визначити

$$n_{\text{рмг}} = 1,25 \cdot \frac{N_{\text{зав}} \cdot h_{\text{зав}}}{\Pi_{\text{рмг}} \cdot \tau}, \quad (4)$$

де  $\Pi_{\text{рмг}}$  – продуктивність однієї механізованої групи на розбиранні завалу, приймається  $15 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Кількість особового складу для комплектування груп ручного розбирання при одночасній роботі з рятувальними механізованими групами визначаємо за такою залежністю

$$N_{\text{грп}} = 7 \cdot n \cdot k \cdot n_{\text{рмг}}, \quad (5)$$

де  $n$  – кількість змін на добу при виконанні рятувальних робіт;  $k$  – коефіцієнт, що враховує співвідношення між механізованими групами і групами ручного розбирання в залежності від структури завалу, визначається за табл. 3; 7 – коефіцієнт, що враховує кількість людей в одній групі.

**Табл. 3. Значення коефіцієнта  $k$**

Житлові будинки зі стінами			Промислові будинки зі стінами	
з місцевих матеріалів	з цегли	з з/б панелей	з цегли	з з/б панелей
9	8	3	2	1

Якщо весь завал розбирається тільки вручну, тоді необхідну кількість особового складу для комплектування груп ручного розбирання можна визначити

$$N_{\text{грп}} = 7 \cdot \frac{W_3 \cdot n}{\Pi_{\text{грп}} \cdot \tau}, \quad (6)$$

де  $\Pi_{\text{грп}}$  – продуктивність однієї групи ручного розбирання, приймається  $1,2 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Кількість особового складу необхідного для комплектування груп надання першої медичної допомоги визначаємо за такою залежністю

$$N_{\text{гпмд}} = 1,46 \cdot N_{\text{св}} , \quad (7)$$

де  $N_{\text{гв}}$  – чисельність санітарних втрат.

Кількість особового складу, необхідного для локалізації та гасіння пожеж

$$N_{\text{пож}} = 1,25 \cdot n_{\text{рмг}} . \quad (8)$$

**Висновки.** В роботі наведена уточнена методика визначення сил для проведення рятувальних робіт, яка враховує види аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будинках.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту / затверджений наказом МНС України від 13.03.2012 р. № 575. – К., 2012. – 152 с.

2. Каммерер Ю.Ю. Аварийные работы в очагах поражения / Каммерер Ю.Ю., Харкевич А.Е. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

3. Аветисян В.Г. 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. – [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/oar/publish/index.html>.

4. Дементьев С.В. Отчет по результатам натуральных 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.

5. Шахмарьян М.А. Научно-методические основы планирования использования аварийно-спасательных сил при разрушительных землетрясениях // ВИНТИ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1993. – Вып. 7. – С.23-29.

6. Аветисян В.Г. Методичні вказівки по виконанню контрольної роботи з організації аварійно-рятувальних робіт (прогнозування та ліквідація наслідків вибуху на відкритих технологічних установках) / Аветисян В.Г., Дерев'янку І.Г., Тригуб В.В. – Харків:УЦЗУ, 2008. – 47 с. – [Електронний ресурс] // Режим доступу: [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).

7. Аветисян В.Г. Алгоритм прогнозування кількості потерпілих на зруйнованих будинках / Аветисян В.Г., Тригуб В.В. // Проблеми надзви-



чайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 8. – Харків: Фоліо, 2008. С. 3-6. – [Электронный ресурс] // Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol8/01.pdf>.

8. Тригуб В.В. Методика оценки границ зон разрушения при взрыве на открытых технологических установках / Тригуб В.В. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 23. – С. 159-163. – [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Trigub.pdf>.

9. Аветісян В.Г. Прогнозування кількості рятувальників для проведення робіт на зруйнованих будинках / Аветісян В.Г., Тригуб В.В. // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 7. – Харків: Фоліо. – 2008. – С. 3-8.

*Отримано редколегією 13.03.2017*

В.В. Тригуб, В.М. Попов

**Определение количества спасателей для проведения аварийно-спасательных работ на разрушенных зданиях**

Показано подходы к определению необходимых сил для проведения аварийно-спасательных работ на разрушенных зданиях.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, аварийно-спасательные работы, разрушенные дома, спасатель.

V.V. Trigub, V.M. Popov

**Determination of the number of rescuers to conduct rescue operations in damaged homes**

Displaying approaches to determining the necessary forces for rescue operations in damaged buildings.

**Keywords:** emergency, emergency rescue, destroyed homes, lifesaver.

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

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА КОРРЕКТИРОВКУ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ АППАРАТУРЫ ОПЕРАТИВНОЙ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СВЯЗИ КОМПЛЕКТОМ ЗАПАСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЕЁ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ**

(представлено д.т.н. Кривцовой В.И.)

Представлена математическая модель оценки влияния режима электрической нагрузки на корректировку обеспеченности аппаратуры оперативной диспетчерской связи комплектом запасных технических средств. Произведён расчёт зависимости обеспеченности аппаратуры оперативной диспетчерской связи комплектом запасных технических для режимов номинальной и повышенной электрической нагрузки. Сформулированы рекомендации по корректировке комплектов запасных технических средств аппаратуры оперативной диспетчерской связи, и её восстановлению после отказов функционирования в режиме повышенной электрической нагрузки в условиях чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** оперативная диспетчерская связь, чрезвычайная ситуация, электрическая нагрузка, запасные технические средства.

**Постановка проблемы.** В условиях чрезвычайной ситуации (ЧС) за счёт непосредственного воздействия разрушительных сил ЧС и повышения режимов электрической нагрузки аппаратуры оперативной диспетчерской связи (ОДС) возникают длительные отказы узлов коммутации (УК), повреждения транспортных ресурсов (линейных сооружений и кабеля), ограничения в работе дополнительного оборудования по поддержанию ряда телекоммуникационных услуг, прерывания внешнего электропитания, вследствие которого УК перестают выполнять свои функции. По статистика последних лет эксплуатируемые сети электро-связи, более устойчивы к разрушениям, вызываемым ЧС, нежели к отказам функционирования из-за невозможности оперативного восстановления аппаратуры УК и внешнего электропитания ОДС [1].

Показатели надёжности, живучести и восстанавливаемости ОДС и оповещения существенно снижаются при повышении электрической нагрузки в режиме чрезвычайной ситуации (ЧС) [2].

Для повышения её надёжности в условиях ЧС необходимо временно воспользоваться резервными техническими средствами (РТС) и провести восстановление аппаратуры ОДС за счёт запасных технических средств (ЗТС).

Одной из проблем при этом является количественная оценка степени влияния режима электрической нагрузки на корректировку обеспеченности аппаратуры ОДС комплектом ЗТС при восстановлении её после отказов в условиях ЧС.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [2] представлена математическая модель радиоэлектронной системы (РЭС), в которой учтены режимы нагрузки электрорадиоизделий (ЭРИ), изменяющиеся при функционировании. Отмечено влияние изменения значений коэффициентов электрической нагрузки ЭРИ на безотказность работы РЭС вследствие изменения режимов функционирования во времени.

В работе [3] рассмотрен способ повышения коэффициента оперативной готовности аппаратуры с применением графо-аналитических методов определения периода регламентных работ применительно к датчикам ослабления последствий ЧС.

В работе [4] при прерывании внешнего электропитания рассмотрен способ устранения отказа ОДС за счёт перехода на резервный источник электропитания аппаратуры ОДС в условиях ЧС. Экспериментальное исследование показало существенное увеличение электрической нагрузки аварийного источника электропитания аппаратуры ОДС при переходе из дежурного режима в режим максимальной занятости в условиях ЧС, что приводило к отказам в виде полного отключения напряжения питания.

В работе [5] представлены оценка необходимости корректировки комплекта запасных технических средств (ЗТС) и методика расчета необходимого количества ЗТС для восстановления аппаратуры ОДС после отказов в условиях ЧС, однако при проведении расчётов не учитывалось влияние режима электрической нагрузки на изменение интенсивности отказов ЭРИ, что снижает точность корректировки комплекта ЗТС.

В работе [6] получены и проанализированы выражения для оценки коэффициента готовности аппаратуры ОДС после отказов в условиях чрезвычайной ситуации, установлена взаимосвязь между коэффициентом готовности и обеспеченностью аппаратуры ОДС комплектом ЗТС, произведён вероятностный расчёт достаточности ЭРИ в комплекте ЗТС для восстановления и ремонта телекоммуникационной аппаратуры ОДС в условиях ЧС.

В работе [7] предложена математическая модель расчёта эксплуатационной интенсивности отказов при различной электрической нагрузке, на основании которой проведён расчёт и оценено снижение вероятности безотказной работы и коэффициента оперативной готовности телекоммуникационной аппаратуры ОДС в режиме максимальной занятости в условиях ЧС по сравнению с дежурным режимом.

**Постановка задачи и её решение.** Проанализировав приведённые научные работы, выберем математическую модель для оценки влияния режима электрической нагрузки на корректировку обеспеченности аппа-

ратуры ОДС комплектом ЗТС при восстановлении её после отказов при функционирования в режиме максимальной занятости в условиях ЧС по сравнению с дежурным режимом.

Значения суммарной эксплуатационной интенсивности отказов ( $\Lambda_3$ ) аппаратуры ОДС представленной в виде группы равнонадёжных с невысокой сложностью исполнения ЭРИ в количестве ( $n=N$ ) в зависимости от уровня электрической нагрузки в условиях ЧС можно оценить по математической модели, имеющей вид [7]

$$\Lambda_3 = \sum_{j=1}^n \lambda_{3j} = N \cdot \lambda'_3 \times K_p \quad (1)$$

где  $\lambda_{3j}$  – интенсивность отказов  $j$ -ой группы ЭРИ;  $K_p$  – коэффициент режима, учитывающий изменение  $\lambda'_3$  в зависимости от электрической нагрузки;  $n = 1 \dots N$  – количество ЭРИ  $j$ -ой группы.

Задача корректировки обеспеченности аппаратуры ОДС комплектом ЗТС при восстановлении её после отказов в условиях ЧС заключается в определении требуемого количества элементов  $m$  в группе элементов комплекта ЗТС с помощью решения функции  $m = f(\Lambda_3, t_n) = f(N, K_p, \lambda'_3, t_n)$ , которая с учетом (1), зависит количества ЭРИ в группе  $N$ , интенсивности их отказов  $\lambda'_3$ , времени пополнения комплекта ЗТС  $t_n$  и от коэффициента режима электрической нагрузки  $K_p$ . В предположения, что отказы независимы друг от друга, а их поток подчиняется закону Пуассона, воспользуемся для расчета корректировки обеспеченности аппаратуры ОДС комплектом ЗТС формулой вероятности недостаточности, как вероятности того, что число отказов за время  $t_n$  будет больше числа запасных элементов  $m$ , находящихся в комплекте ЗТС, и составит

$$P_n(n(t_n) > m) = \sum_{n=m+1}^{\infty} \frac{(n_{cp})^n}{n!} e^{-n_{cp}} = \bar{\psi}(m+1; n_{cp}). \quad (2)$$

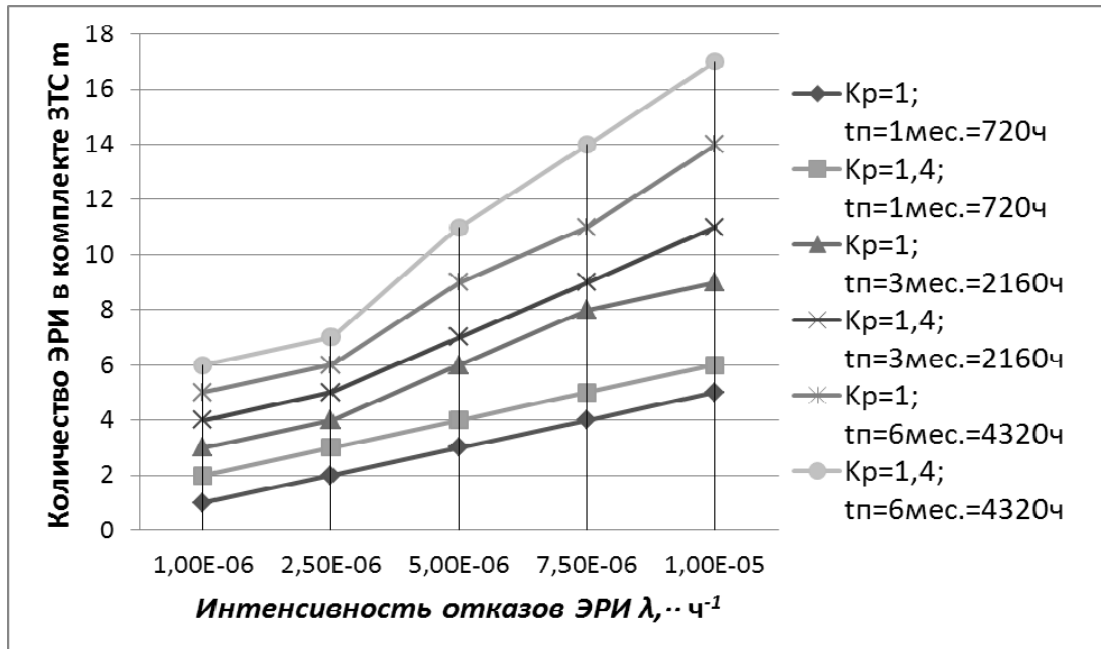
где  $n_{cp} = N \cdot K_p \cdot \lambda'_3 \cdot t_n$  – математическое ожидание количества отказов;  $\bar{\psi}(m+1; n_{cp})$  – функция, получаемая из табличной функции  $\bar{\psi}(\chi; \mu)$ , путём замены переменных  $\chi = m+1; \mu = n_{cp}$ .

При определении величины  $m$  зададимся достаточно малым значением вероятности недостаточности (2)  $\bar{\psi}(m+1; n_{cp}) = 0.01$ , и используем таблицы  $\bar{\psi}(\chi; \mu)$ , [8]. В качестве иллюстрации приведём некоторые значения  $m$  рассчитанные в табл. 1.

**Табл. 1. Расчёт  $m$ , при  $N=100$ ,  $\bar{\psi}(m+1; n_{cp}) = 0.001$ ,  $K_p=1; 1,4$**

$K_p=1$															
$t_n$	1 мес. = 720 ч					3 мес. = 2160 ч					6 мес. = 4320 ч				
$\lambda, \cdot 10^{-6} \cdot \text{ч}^{-1}$	1	2,5	5	7,5	10	1	2,5	5	7,5	10	1	2,5	5	7,5	10
$n_{cp}$	0,07	0,2	0,4	0,5	0,7	0,2	0,6	1,1	1,6	2,2	0,4	1,1	2,2	3,2	4,3
$m = \chi - 1$	1	2	3	4	5	3	4	6	8	9	5	6	9	11	14
$K_p=1,4$															
$n_{cp}$	0,1	0,3	0,6	0,7	1	0,3	0,8	1,5	1,8	3	0,6	1,5	3	4,5	6
$m = \chi - 1$	2	3	4	5	6	4	5	7	9	11	6	7	11	14	17

Из табл. 1, определяется, например, что для группы ЭРИ с интенсивностью отказов  $\lambda=10^{-5} \cdot \text{ч}^{-1}$  при времени пополнения  $t_n = 6 \text{ мес.} = 4320 \text{ ч}$  рекомендуется заложить  $m = 17$  элементов в комплект ЗТС. при восстановлении её после отказов при функционировании в режиме повышенной электрической нагрузки при максимальной занятости в условиях ЧС ( $K_p=1,4$ ), при тех же условиях при работе аппаратуры ОДС в дежурном режиме ( $K_p=1$ )  $m = 14$ . Графики функции  $m = f(N, K_p, \lambda, t_n)$ , для нахождения необходимого числа запасных ЭРИ  $m$  данного типа в зависимости от числа их в аппаратуре  $N$  и интенсивности отказов  $\lambda$ , времени пополнения комплекта ЗТС  $t_n$ , а также. режима электрической нагрузки  $K_p$  приведены на рис. 1.



**Рис. 1. График функции  $m = f(N, K_p, \lambda, t_n)$ , при  $K_p=1; 1,4; N=100; t_n=720 \text{ ч}; 2160 \text{ ч}; 4320 \text{ ч}, \lambda=10^{-6} - 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$**

**Выводы.** Представлена математическая модель, учитывающая влияния режима электрической нагрузки на корректировку обеспечен-

ности аппаратуры ОДС комплектом ЗТС. Количество ЭРИ ЗТС для работы ОДС в режиме повышенной электрической нагрузки при максимальной занятости в условиях ЧС целесообразно корректировать сторону увеличения приблизительно до 20% по сравнению с дежурным режимом при номинальной электрической нагрузке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Андрусевич А.А. Влияние изменения значений коэффициентов электрической нагрузки электрорадиоизделий на интенсивность отказов радиоэлектронных изделий [Электронный ресурс] / А.А. Андрусевич, Н.Г. Стародубцев, В.В. Невлюдова // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков. – 2014. – Вып. 177. – С. 180-184. – Режим доступа: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/547?locale=ru>.

3. Абрамов Ю.А. Выбор метода определения проведения регламентных работ датчиков систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] / Е.Е. Кальченко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ. – 2015. – №21. – С. 3-6. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Abramov.pdf>.

4. Загора А.В. Методика расчёта времени автономной работы аварийного источника электропитания аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации [Электронный ресурс] / Е.Е., Селеенко, А.Б., Фещенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ. – 2015. – №21. – С. 23-30. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Zakora.pdf>.

5. Загора А.В. Методика расчёта количества запасных технических средств для восстановления аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации [Электронный ресурс] / А.Б. Фещенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ. – 2015. – №22. – С. 23-37. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Zakora.pdf>.

6. Загора А.В. Взаимосвязь коэффициента готовности аппаратуры оперативной диспетчерской связи с достаточностью комплекта запасных технических средств при восстановлении после отказов в условиях чрезвычайной ситуации [Электронный ресурс] / Е.Е. Селеенко, Д.Л. Соколов, А.Б. Фещенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ. – 2016. – № 23. – С. 20-26. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Zakora.pdf>.

7. Фещенко А.Б. Влияние режима электрической нагрузки на показатели надежности оперативной диспетчерской связи в условиях чрез-

вычайной ситуации [Электронный ресурс] / Е.Е. Селеенко, Д.Л. Соколов, А.Б. Фещенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – № 24. – С. 62-67. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol24/zakora.pdf>.

8. Абезгауз Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам [Текст] / А.П. Тронь, Ю.Н. Копенкин и др. – М.: Воениздат, 1970. – С. 395-397.

*Получено редколлегией 01.03.2017*

А.Б. Фещенко, О.В. Загора, Є.Є. Селеєнко

**Вплив режиму електричного навантаження на коректування забезпеченості апаратури оперативного диспетчерського зв'язку комплектом запасних технічних засобів при відновленні її після відмов в умовах надзвичайної ситуації**

Представлена математична модель оцінки впливу режиму електричного навантаження на коректування забезпеченості апаратури оперативного диспетчерського зв'язку комплектом запасних технічних засобів. Зроблені розрахунки залежності забезпеченості апаратури оперативного диспетчерського зв'язку комплектом запасних технічних для режимів номінального й підвищеного електричного навантаження. Сформульовані рекомендації з коректування комплектів запасних технічних засобів апаратури оперативного диспетчерського зв'язку, і її відновленню після відмов функціонування в режимі підвищеного електричного навантаження в умовах надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** оперативний диспетчерський зв'язок, надзвичайна ситуація, електричне навантаження, запасні технічні засоби.

A.B. Feshchenko, O.V. Zakora, Y.Y. Seleenko

**Influence of the mode of electrical loads for adjustment of security equipment operational control communication with a set of spare technical means when you restore it after failure in an emergency situation**

The mathematical model of the impact of the mode of electrical loads for adjustment of security equipment operational control communication with a set of spare technical means. The calculation is based on the availability of equipment operational control communication with a set of spare technical for nominal and increased electrical loads. Recommendations on the adjustment of the sets of spare parts of technical equipment of equipment of operational dispatch communication, and recovery of failures in the regime of high electrical loads in an emergency situation.

**Keywords:** operational dispatch communication, an emergency electrical load, spare hardware.

*М.В. Чернобрышко, к.т.н., с.н.с., ИПМаш НАН Украины,  
С.Д. Светличная, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

## МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ВНУТРЕННЕМ НАГРУЖЕНИИ

(представлено д.т.н. Абрамовым Ю.А.)

Моделируется разрушение изотропной тонкостенной сферической оболочки под действием внутренней импульсной нагрузки. Приводится модель для скорости разлета осколков. В качестве критерия разрушения принят динамический деформационный критерий.

**Ключевые слова:** импульсная нагрузка, динамическая прочность, критерий разрушения, сферическая оболочка.

**Постановка проблемы.** При аварийных ситуациях в промышленности возникает проблема ударно-волнового и осколочного поражения людей и промышленных объектов в результате взрывов газов, пыли, жидких и твердых взрывчатых веществ в оборудовании или на открытом пространстве. Чтобы избежать этого поражения, необходимо определить возможность разрушения оборудования и оценить скорость осколков, от которой зависит их поражающий эффект.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Примеры подобных аварий приведены в работах [1-3]. В монографии [2] обобщены экспериментальные исследования и приведены упрощенные инженерные методики оценки последствий детонационных воздействий на элементы конструкций. Однако исследования деформирования материалов и элементов конструкций при высоких скоростях деформаций показали, что необходимо использовать нелинейные модели и динамические характеристики материала [4, 5].

**Постановка задачи и ее решение.** Рассматривается тонкостенная сферическая оболочка под действием внутреннего импульсного давления. Необходимо определить модель процесса разрушения оболочки и начальную скорость осколков.

Уравнение движения оболочки в упругой стадии имеет вид [4]

$$u''(t) + \omega^2 u(t) = \frac{1}{\rho h_0} p(t);$$

$$\omega^2 = \frac{2E}{(1-\mu)} \cdot \frac{1}{\rho r_0^2},$$



где  $u(t)$  – радиальное перемещение сферической оболочки в момент времени  $t$ ;  $\omega$  – собственная частота колебаний оболочки;  $\rho$  – плотность материала оболочки;  $E$  – модуль упругости;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $r_0$  – радиус срединной поверхности оболочки в начальный момент времени;  $h_0$  – толщина сферической оболочки в начальный момент времени;  $p(t)$  – внутреннее давление.

Если динамическая нагрузка  $p(t)$  является импульсной, то на деформацию оболочки влияет лишь величина импульса давления [4]

$$i = \int_0^{\tau} p(t) dt,$$

где  $\tau$  – время действия импульсного давления.

В этом случае уравнение движения оболочки и начальные условия имеют вид

$$u''(t) + \omega^2 u(t) = 0;$$

$$u(0) = 0; \quad u'(0) = \frac{i}{\rho h_0}.$$

Решение данной задачи определяется выражением

$$u(t) = \frac{i}{\rho h_0 \omega} \sin \omega t. \quad (1)$$

Выражение для скорости сферической оболочки записывается в виде

$$v(t) = u'(t) = \frac{i}{\rho h_0} \cos \omega t. \quad (2)$$

Оболочка находится в упругой стадии при условии [5]

$$\sigma_i(t) < \sigma_T^D,$$

где  $\sigma_i(t) = \frac{E}{1-\mu} \cdot \frac{u(t)}{r_0}$  – интенсивность напряжений;  $\sigma_T^D$  – динамический предел текучести материала оболочки.

При выполнении условия  $\sigma_i(t) \geq \sigma_T^D$  материал оболочки переходит в пластическое состояние. Для оценки динамического предела текучести можно использовать соотношение [5]

$$\sigma_T^D = \sigma_T \left[ 1 + \left( \frac{e_i(t)}{D} \right)^{\frac{1}{n}} \right],$$

где  $\sigma_T$  – статический предел текучести;  $e_i(t) = \frac{2}{3} \cdot \frac{u'(t)}{r_0}$  – интенсивность скоростей деформаций;  $n$ ,  $D$  – характеристики скоростного упрочнения материала.

Если возможны пластические деформации, то время окончания упругой стадии работы оболочки определяется из уравнения

$$\sigma_i(t) = \sigma_T^D.$$

Таким образом, в соответствии с вышеприведенными формулами уравнение для определения времени  $t_1$  окончания упругой стадии работы оболочки имеет вид

$$\frac{E}{(1-\mu)} \cdot \frac{i}{\rho h_0 r_0 \omega} \sin \omega t_1 = \sigma_T \left[ 1 + \left( \frac{2}{3} \cdot \frac{i}{\rho h_0 r_0 D} \cos \omega t_1 \right)^{\frac{1}{n}} \right].$$

Уравнение движения оболочки в пластической стадии и начальные условия записываются в следующем виде [5]

$$u''(t) + \frac{2\sigma_T^D}{\rho r_0} = 0; \quad (3)$$

$$u(0) = u_1; \quad u'(0) = v_1, \quad (4)$$

где  $u_1$  и  $v_1$  – соответственно перемещение и скорость оболочки в конце упругой стадии, определяемые соотношениями (1) – (2).

Решая дифференциальное уравнение (3) с учетом начальных условий (4), получаем выражения для перемещения и скорости оболочки в пластической стадии

$$u(t) = -\frac{2\sigma_T^D}{\rho r_0} \cdot t^2 + v_1 \cdot t + u_1;$$

$$v(t) = -\frac{2\sigma_T^D}{\rho r_0} \cdot t + v_1. \quad (5)$$

В качестве критерия разрушения оболочки примем деформационный критерий [4]

$$\varepsilon_i^p(t) = [\varepsilon],$$

где  $\varepsilon_i^p(t) = \frac{2}{3} \frac{1}{r_0} \left( -\frac{2\sigma_T^D}{\rho r_0} t^2 + v_1 t + u_1 \right)$  – интенсивность деформаций в пластической стадии;  $[\varepsilon]$  – предельное значение деформации растяжения перед разрушением, получаемой при статических испытаниях на растяжение.

Таким образом, момент времени начала разрушения оболочки  $t_2$  можно найти, решая следующее уравнение

$$\frac{2}{3} \frac{1}{r_0} \cdot \left( -\frac{2\sigma_T^D}{\rho r_0} \cdot t_2^2 + v_1 \cdot t_2 + u_1 \right) = [\varepsilon].$$

Тогда начальная скорость осколков будет определяться в соответствии с (5) следующим выражением

$$W_0 = -\frac{2\sigma_T^D}{\rho r_0} \cdot t_2 + v_1.$$

**Выводы.** Изложен метод оценки начальной скорости осколков, образующихся при разрушении сферической оболочки под действием внутреннего импульсного нагружения. Учитываются упругая и пластическая стадии деформирования оболочки, а также скорость деформирования материала оболочки. В качестве критерия разрушения принимается достижение оболочкой предельно допустимых деформаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М. В. Бесчастнов. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
2. Бейкер У. Взрывные явления. Оценка и их последствия / У. Бейкер, П. Кокс. – М.: Мир, 1986. – Кн. 1. – 319 с. – Кн. 2. – 384 с.
3. Чернобрышко М.В. Моделирование деформации и разрушения элемента здания при ударно-волновой нагрузке / М.В. Чернобрышко,

С.Д. Светличная // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 21. – С. 127-131. – [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://nuczu.edu.ua/ukr/science/y\\_pns/y\\_pns\\_archive/y\\_pns\\_ar37](http://nuczu.edu.ua/ukr/science/y_pns/y_pns_archive/y_pns_ar37).

4. Писаренко Г.С. Деформации и напряжения в материалах при скоростном деформировании / Г.С. Писаренко, А.А. Лебедев. – К.: Наук. думка, 1976. – 187 с.

5. Воробьев Ю.С. Скоростное деформирование элементов конструкций / Ю.С. Воробьев, А.В. Колодяжный, В.И. Севрюков, Е.Г. Янютин. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.

*Получено редколлегией 13.03.2017*

М.В. Чернобрычко, С.Д. Світлична

**Моделі процесу руйнування сферичної оболонки при внутрішньому навантаженні**

Моделюється руйнування ізотропної тонкостінної сферичної оболонки під дією внутрішнього імпульсного навантаження. Наводиться модель для швидкості розльоту осколків. Як критерій руйнування прийнятий динамічний деформаційний критерій.

**Ключові слова:** імпульсне навантаження, динамічна міцність, критерій руйнування, сферична оболонка.

M.V. Chernobryvko, S.D. Svetlichna

**Process models of spherical shell fracture with internal loading**

The destruction of isotropic thin-walled spherical shell under the influence of inner impulse load is simulated. The process model of the speed of separation of fragments is ad-duced. The dynamic deformation criterion is adopted as the fracture criterion.

**Keywords:** impulsive loading, dynamic strength, fracture criterion, spherical shell.

**UDC 614.84**

*A.A. Chernukha, Ph.D., Assistant Professor, NUCPU,  
P.A. Kovaliov, Ph.D., Assistant Professor, Head of Department, NUCPU,  
S.S. Ponomarenko, lecturer, NUCPU,  
V.I. Yeriomenko, cadet, NUCPU*

**RESEARCH OF FIREPROOF PROPERTIES OF FABRIC FOR  
FIREPROOF RESCUE STRETCHERS**

(presented DSc Sobol A.N.)

The results of experimental studies of the properties of fire-resistant textile materials are presented. A material is proposed for the manufacture of a protective cover for fireproof rescue stretchers.

**Keywords:** fire-resistant fabric, research, fireproof rescue stretchers.

**Problem statement.** The Constitution of Ukraine defines that in Ukraine the greatest value in life and health. Thus, the main objective of the rescue services is to preserve life and health of people from hazards of emergencies of various kinds. Scientific and technological development, the emergence of synthetic materials for the plastics processing facilities, facilities with thermal processes, a large fire load, the threat of outbreaks and fires during the evacuation are needs of departments State Emergency Service of Ukraine readiness for individual protection of affected. Rescuers have individual protection of body surface. So as to maximize the effectiveness of evacuation accompanied by or on stretchers, victims should be protected not worse than rescuers [3, 4].

Thus arises the problem the creation protect affected from dangerous fire heat factors in the evacuation from various buildings.

**Analysis of recent research and publications.** Earlier in scientific studies were offered fireproof rescue stretchers which imagined a special stretcher compact shape equipped with fire-resistant casing.

In [1] provides that the casing, which is a special fabric behaves like a thermal screen that is optically nontransparent thermally thin body. Being on the way spread of the heat radiation the cover is shielding from direct radiant heat flow from the flame towards the body of the affected human.

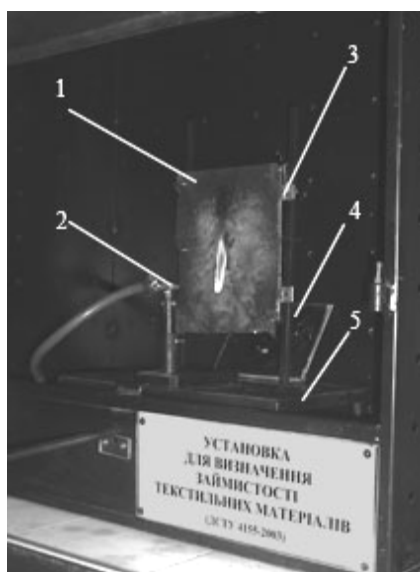
Under the influence of this heat flux cape is heated, becoming a source of heat for the affected people. Safety remains, if the total specific heat flux from the cape towards the body of the affected human  $Q_{fl}$  not exceed the corresponding critical value  $q_{cr}$  ( $q_{cr} \approx 1200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ).

A mathematical model for calculating the protective action of a single-layer insulating capes designed to protect the victim's body from thermal radiation from the fire was constructed. Examination showed that the effective cape must have a minimum value of the degree of blackness of outer surface.

In [2] proposed a simulation model of rescue the affected from the room by using NRV-1, which fully reflects this process. Research of the critical path was bring recommendations to improve the efficiency of rescuing the victim from the room by using NRV-1.

**Statement of the problem and its solution.** Based on the above analysis, was tasked to determine the type of fabric that can meet the established criteria. Research conducted on samples of wool (surface density of  $300 \text{ g/m}^2$ ) and lavsan (surface density of  $160 \text{ g/m}^2$ ). For the experiment has been chosen as the basis DSTU 4155-2003 "Textile materials. Test method for flammability".

Research was conducted on the test installation (Fig. 1).



**Fig. 1. Appearance of test installation: 1 – sample; 2 – burner; 3 – sample holder; 4 – thermocouple; 5 – base of installation**

The samples were manufactured size  $(220 \pm 1) \text{ mm} \times (170 \pm 1) \text{ mm}$ . Before the experiment, the gas burner gas flow was such in which the flame height was  $40 \pm 2 \text{ mm}$ . The burner is installed in a horizontal position on the  $(40 \pm 1) \text{ mm}$  above the lower edge of the sample and the sample moved to a distance  $(17 \pm 1) \text{ mm}$ .

Time of fireproof action of fabric was fixed as a burnout (formation of black dots) on the back of the sample. Burnout was observed visually using a mirror installed on the back of the sample.

Time was fixed with a stopwatch. Time of ignition of the sample is calculated as the average of three measurements.

Samples for of tests were made of fire-resistant fabrics: Metal Splash, RigChief, WELDERSAFE, PROBAN, FLAMESHILD 400.

Also tested material of heat-shielding fire clothing general type "TALAN".

The test results are presented in Tab. 1.

**Tab. 1. The average time burnout samples**

Material	Time heating, 70°C, s.	Time burnout, c.
Metal Splash	15	46
RigChief	23	45
WELDERSAFE c	14	36
PROBAN®	23	45
FLAMESHILD 400	25	54
TALAN (clothing fireman)	22	45

**Tab. 2. The presence of stable burning of the samples after the removal of the source of ignition**

Material	Stable burning (SB)
Metal Splash	SB absent
RigChief	SB absent
WELDERSAFE c	SB absent
PROBAN®	SB absent
FLAMESHILD 400	SB absent
TALAN (clothing fireman)	SB absent

**Fig. 2. Appearance of the samples PROBAN after testing**

Visually fixed samples of materials behavior after move away of burner. In all cases, the samples were observed steady burning (SG) after the termination of the flame (Tab. 2).

**Conclusions.** Chosen fire-resistant material that meets flame retardant properties of fire clothing. Received time, which open flame can act on fire-proof rescue stretchers until the critical temperature value in a stretcher and a burnout of fabrics.

---

**REFERENCES**

1. Sharshanov A.Ja. Sozdanie uslovij dlja zashhity postradavshogo ot opasnyh faktorov pozhara [Jelektronnyj resurs] / A.Ja. Sharshanov, R.V. Ponomarenko, I.A. Poljakov // Problemy pozharnoj bezopasnosti sb. nauch. tr. NUGZU. – Vyp 36. – Har'kov: Folio, 2014. – S. 272-278. – Rezhim dostupa: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb\\_2014\\_36\\_43](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2014_36_43).

2. Borodich P.Ju. Imitacijne modeljuvannja rjativannja postrazhdalogo z primishhennja z vikoristannjam nosh rjatuval'nih vognезahisnih [Jelektronnyj resurs] / P.Ju. Borodich, R.V. Ponomarenko, P.A. Koval'ov // Problemi nadzvichajnih situacij sb. nauch. tr. NUGZU. – Vyp 22. – Har'kov: Folio, 2015. – S. 8 – 13. – Rezhim dostupu: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Borodich.pdf>.

3. Koval'ov P.A. Modeljuvannja dijial'nosti osobovogo skladu gazodymozashhitnoj sluzhbi pri roboti zi special'noju tehnikoju / P.A. Koval'ov, V.N. Chuchkovskij // Aktual'ni problemi filosofii, nauki i suchasnih tehnologij: Visnik HDU. – H., 1997. – S. 268-272.

4. Kovalev P.A. Obosnovanie sposobov sovershenstvovanija dejatel'nosti gazodymozashhitnikov: Dis. kand. tehn. nauk: 21.06.02 / Kovalev Pavel Anatol'evich. – H., 1997. – 153 s.

*Received by editorial Board 24.02.2017*

А.А. Чернуха, П.А. Ковальов, С.С. Пономаренко, В.І. Єрьоменко

**Дослідження вогнезахисних властивостей тканини для нош рятувальних вогнезахисних**

Представлені результати експериментальних досліджень властивостей вогнезахисних текстильних матеріалів. Запропоновано матеріал для виготовлення захисного кожуха нош рятувальних вогнезахисних.

**Ключові слова:** вогнезахисна тканина, дослідження, ноші рятувальні вогнезахисні.

А.А. Чернуха, П.А. Ковалев, С.С. Пономаренко, В.И. Ерёменко

**Исследование огнезащитных свойств ткани для носилок спасательных огнезащитных**

Представлены результаты экспериментальных исследований свойств огнезащитных текстильных материалов. Предложено материал для изготовления защитного кожуха носилок спасательных огнезащитных.

**Ключевые слова:** огнезащитная ткань, исследования, носилки спасательные огнезащитные.



## УДК 515.2

*І.А. Чуб, д.т.н., професор, зав. каф., НУЦЗУ,  
Ю.В. Михайловська, ад'юнкт, НУЦЗУ,  
М.В. Новожилова, д.ф.-м.н., професор, ХНУСА*

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛІКВІДАЦІЇ ТЕХНОГЕННОЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

Наведено математичну модель задачі оптимізації розподілу ресурсів територіальної системи техногенної безпеки при ліквідації надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** математична модель, оптимізація розподілу ресурсів, ліквідація надзвичайної ситуації.

**Постановка проблеми.** Хоча незначні надзвичайні ситуації техногенного характеру (ТНС) в межах того або іншого територіального утворення мають місце практично кожен день, наслідки значних ТНС є руйнівними, забираючи людські життя, завдаючи непоправної шкоди здоров'ю сотень людей, величезні матеріальні, фінансові та екологічні збитки, розміри яких є порівняними, а часом значно перевищують річний бюджет території. Досить згадати такі великі техногенні катастрофи на об'єктах енергетики як аварія на Саяно-Шушенській ГЕС в 2009 р. в результаті чого було порушено енергопостачання кількох сибірських регіонів, техногенну катастрофу на АЕС «Фукусіма-1» в 2011 р., із загальним обсягом викидів 900000 терабеккерелей радіоактивних речовин йод-131 і цезій-137. Справжніми екологічними катастрофами були аварія ліберійського нафтового танкера «Рена» біля берегів Нової Зеландії в 2011 р., вибух і пожежа в квітні 2010 на буровій платформі Deerpwater Horizon в Мексиканській затоці біля узбережжя штату Луїзіана, США. Витік нафти вдалося зупинити лише через 4 місяці. Можна згадати також вибух на найбільшому у Венесуелі нафтозаводі Paraguana Refining Center (2012 р.), вибух в цеху з виробництва нітрогуанідіна на хімічному підприємстві компанії «Хебей Кеер» в м Шицзячжуан, провінція Хебей, Китай (2011 р.), аварію на хімічному комбінаті AZF в м Тулуза, Франція (2001 р.), коли в результаті вибуху 300 тонн нітрату амонію загинули 30 осіб, понад 300 отримали поранення, зруйновані або пошкоджені тисячі житлових будинків і будівель, без даху над головою залишилися 40000 осіб, більше 130 підприємств припинили свою діяльність. Загальна сума збитку склала 3 млрд євро.

Ситуація ускладнюється у разі, якщо великі потенційно небезпечні промислові об'єкти є можливими об'єктами терористичних актів, або знаходяться в зоні збройних конфліктів, де ведуться бойові дії, які супроводжуються неконтрольованим скупченням боєприпасів, що зберіга-

ються не належним чином, а також руйнуванням інфраструктури, додатковими людськими жертвами серед мирного населення.

Порівняльний аналіз типів організаційних структур, ресурсного забезпечення, прав та обов'язків служб цивільного захисту (цивільної оборони) в країнах світу за основними параметрами, організаційною та функціональною структурою показує їх відмінність від ДСНС України. Але є очевидним, що рівень втрат і збитків у кожному випадку ТНС в значній мірі залежить від готовності сил швидкого реагування, що обумовлюється достатнім рівнем ресурсного забезпечення, налагодженими горизонтальними та вертикальними інформаційними потоками між підрозділами ДСНС і структурами державного управління та, можливо, із підрозділами ЗСУ України, гуманітарними та волонтерськими організаціями тощо. При цьому необхідно враховувати випадковий характер виникнення ТНС та динамічне зовнішнє оточення, що генерує додаткові дестабілізуючі фактори впливу. Таким чином, проблема оптимального розподілу ресурсного забезпечення ТСТБ є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання прогнозування необхідних обсягів ресурсного забезпечення служб цивільного захисту як стратегічної задачі та визначення ефективної тактики застосування наявних інструментальних засобів гуманітарної допомоги постраждалим територіям є об'єктом зростаючого інтересу світової наукової спільноти. Так, в статті [2] авторами розглядається система критеріїв ефективності територіальної системи техногенної безпеки (ТСТБ) щодо виконання своїх функцій як у повсякденному режимі функціонування, так і в режимі ТНС.

З іншої точки зору сукупність операцій з локалізації та ліквідації наслідків ТНС є особливий вид проекту, що володіє властивостями унікальності та визначеними часовими рамками, при цьому мінливість зовнішнього середовища реалізації такого проекту задає певну невизначеність параметрів операцій. Питання моделювання та розв'язання багатовимірної задачі ресурсного забезпечення проектів розглядалися в роботах [3, 4].

Окремо розвивається новий науковий напрям – «гуманітарна логістика» [5,6], в якому розглядаються різні аспекти своєчасного матеріального забезпечення зони надзвичайної ситуації природного характеру.

В роботах [7, 8] розглядається проблема побудови прогнозної моделі наслідків можливої ТНС, розв'язання якої уможливорює прийняття превентивних засобів з техногенної безпеки на етапі проектування підприємства, а також визначення оцінки ресурсів, необхідних для локалізації та ліквідації ТНС в разі її реалізації.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є побудова узагальненої детермінованої математичної моделі оптимізації ресурсів ТСТБ як логістичної системи.

Логістична система як така – це взаємодія множини макроагентів: виробників, дистриб'ютерів, ритейлерів, які прагнуть до максимізації свого прибутку (децентралізований ланцюг поставок) або прибутку системи в цілому (централізований ланцюг поставок) за умови задоволення попиту кінцевих споживачів [9].

ТСТБ є суто централізованою територіально розподіленою трирівневою системою. Територіальна розподіленість ТСТБ у даному контексті означає розподіленість наявних ресурсів системи за районами їх дислокації  $(u_1, u_2, \dots, u_k)$  на місцевому рівні. Таким чином, структура ТСТБ може бути поданою як граф  $G(V, E)$ , а саме – дерево, в якості вершин графа вступають сховища (джерела ресурсів), а дугами графа є шляхи переміщення ресурсів.

Позначимо через  $\bar{R} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \dots, \bar{r}_M)$  верхню межу наявних ресурсів, що є у розпорядженні ТСТБ на момент виникнення ТНС, де  $M$  – кількість всіляких ресурсів, при цьому можливо, деякі  $\bar{r}_i = 0, i \in \{1, \dots, M\}$ . Відмітимо, що при розв'язанні задачі оптимізації вектор  $\bar{R} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \dots, \bar{r}_M)$  розгортається у матрицю  $\overline{RM} = (\bar{r}_{mk})_{M \times K}$ , де  $\bar{r}_m = \sum_{k \in K} \bar{r}_{mk}$ .

При цьому необхідно зважати на такі характеристики ТНС:

$\mathfrak{S} = \{\mathfrak{S}_1 | \text{«Географічна локація: розподілена, зосереджена»}; \quad (1)$

$\mathfrak{S}_2 | \text{«Тип: хімічна, радіаційна, біологічна, змішана»};$

$\mathfrak{S}_3 | \text{«Рівень ТНС за тяжкістю втрат: низький, середній, високий»}\}.$

Вищезазначені характеристики ТНС є екзогенними параметрами задачі оптимізації ресурсів ТСТБ, що моделюється.

Таким чином, узагальнена математична модель оптимізації ресурсів ТСТБ у режимі техногенної надзвичайної ситуації являє собою систему (декомпозицію) таких підзадач.

1. Визначення необхідних обсягів ресурсів щодо локалізації та ліквідації ТНС. Іншими словами, визначення попиту на ресурси в загальному випадку скінченій множині  $\wp = \{\wp_i\}_{i \in I}$  пунктів доставки.

1.1. Задача визначення необхідних обсягів різних видів ресурсів  $\Omega$  в кількостях  $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M)$ ,  $\theta_i = \sum_{m \in I} \theta_{mi}$ , життєзабезпечення району, постраждалого від ТНС. Ресурси  $\Omega$  включають, зокрема, продукти харчування, що не потребують спеціальних умов зберігання (наприклад, консерви), питну воду, теплий одяг, медикаменти і засоби особистої гігієни.

1.2. Задача визначення обсягів ресурсів  $R = (r_1, r_2, \dots, r_M)$ , необхідних для локалізації та ліквідації ТНС, тобто відновлення нормального функціонування території.

До ресурсів  $R$  належать спецтехніка та засоби ліквідації техногенної ТНС визначеного типу. В рамках даної задачі виходячи з параметрів аварії, віддаленості джерел води та других умів визначається загальна кількість та типи потрібної пожежно-рятувальної та допоміжної техніки.

1.3. Задача адаптації структури  $G(V,E)$  ТСТБ до умов ТНС, яка реалізована: мобільні шпиталі, розгортання польових штабів, таборів для біженців тощо, тобто додавання нових (тимчасових) вершин до  $\Pi$ , які не є ізольованими.

*Зауваження 1.* В залежності від виду ТНС задача 1.3. може бути переформульована як задача доставки постраждалих до стаціонарних пунктів гуманітарної допомоги.

При цьому ще одним критичним ресурсом є час  $t$ , оцінка якого складається з часу  $t_1$  доставки ресурсів множини  $\Omega$  до кінцевого споживача, часу  $t_2$  доставки засобів локалізації ТНС та часу ліквідації наслідків  $t_3$

$$t = \max(t_1, t_2) + t_3.$$

*Зауваження 2.* Ресурси  $r_1, r_2, \dots, r_M$  є нелінійними функціями часу  $t$ . Одним з можливих видів апроксимації може слугувати опукла вгору квадратична функція.

2. Визначення оптимальних шляхів транспортування ресурсів.

Позначимо  $(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{mik}, \dots, v_{MIK})$  – вектор кількостей ресурсів, що передаються від  $m$ -го джерела  $i$ -му пункту доставки.

Розглянемо множину критеріїв ефективності функціонування ТСТБ за умов задач 1 та 2, що розглядаються.

По-перше, це критерій максимального задоволення потреб

$$F_1(v_{111}, \dots, v_{MIK}) = \left[ \sum_{m \in M} (\theta_{mi} - \sum_{k \in K} v_{mik})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

$$F_1(v_{111}, \dots, v_{MIK}) \rightarrow \min. \quad (3)$$

По-друге, це критерій  $F_1(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{MIK})$  мінімізації вартості доставки (мінімізація ресурсів ТСТБ по обслуговуванню побудованої логістичної мережі)

$$F_1(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{MIK}) = \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} c_{mik} v_{mik}, \quad (4)$$

$$F_1(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{MIK}) \rightarrow \min, \quad (5)$$

де  $c_{mik}$  – питомі витрати транспортування на одиницю ресурсів.

По-третє, це час  $t_{trevel}$  доставки ресурсів з урахуванням упорядкування операцій гуманітарної спрямованості та з ліквідації наслідків ТНС

$$t_{trevel} = \max_{ijk} t_{mik}, \quad (6)$$

$$t_{trevel} \rightarrow \min, \quad (7)$$

де  $t_{mik} = t + \text{час } i \text{ місце}$ .

Підсумовуючи наведене вище, задача, що розглядається, є багатокритеріальною задачею умовної нелінійної оптимізації, що припускає декомпозицію на сукупність під задач більш простої структури.

*Зауваження 3.* На час доставки ресурсів життєзабезпечення певних видів ресурсів можуть накладатися додаткові умови, наприклад, якщо це дози крові у спеціальному обладнанні, певні види ін'єкцій, радіаційні препарати тощо.

**Висновки.** У статті наведено побудова та аналіз узагальненої детермінованої математичної моделі оптимізації ресурсів територіальної системи техногенної безпеки як логістичної системи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Vademecum – Civil Protection [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Європейської комісії. – Режим доступу: [http://ec.europa.eu/echo/files/civil\\_protection/vademecum](http://ec.europa.eu/echo/files/civil_protection/vademecum).

2. Попов В.М. Показатели эффективности региональной системы техногенной безопасности / В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2014. – № 2 (20). – С. 32-41.

3. Чуб И.А. Решение задачи распределения ресурсов проекта как оптимизационной задачи размещения геометрических объектов с изменяемыми метрическими характеристиками / И.А. Чуб, А.С. Иванилов, М.В. Новожилова // Проблемы машиностроения. – 2010. – Т. 3. – № 5-6. – С. 79-90.

4. Chub I.A. Optimization problem of allocating limited project resources with separable constraints / I.A. Chub, M.V. Novozhylova, M.N. Murin // Cybernetics and Systems Analysis. – 2013. – Vol. 49. – P. 632-642.

5. Jiuh-Biing Sheu An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters / Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review // Sheu Jiuh-Biing Volume 43, Issue 6, November 2007, P. 687-709.

6. Yi-Chang Chiu, Hong Zheng Real-time mobilization decisions for multi-priority emergency response resources and evacuation groups: Model formulation and solution Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Volume 43. – Issue 6, November 2007. – P. 710-736.

7. Чуб І.А. Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші / І.А. Чуб, В.В. Матухно // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2016. – Вип. 23. – С.186-191. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Chub.pdf>.

8. Чуб И.А. Модель оценки риска возникновения экологической катастрофы в результате пожара / И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Системи

обробки інформації. – 2004. – Вип. 9. – С. 210-215.

9. Новожилова М.В. Решение детерминированной задачи оптимизации трехуровневой сети поставок одного товара / М.В. Новожилова, И.В. Штань // АСУ и приборы автоматики. – 2014. – № 176. – С. 44-51.

*Отримано редколегією 09.03.2017*

И.А. Чуб, Ю.В. Михайловская, М.В. Новожилова

**Формализация задачи ресурсного обеспечения ликвидации техногенной чрезвычайной ситуации**

Приведена математическая модель задачи оптимизации распределения ресурсов территориальной системы техногенной безопасности при ликвидации чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** математическая модель, оптимизация распределения ресурсов, ликвидация чрезвычайной ситуации.

I.A. Chub, Yu.V. Mihaylovskaya, M.V. Novozhilova

**Formalization of the problem of resource ensure the elimination of technogenic emergency situation**

The mathematical model of the problem of optimizing the distribution of resources of the territorial system of technogenic safety in the liquidation of an emergency situation is given.

**Keywords:** mathematical model, optimization of resource allocation, elimination of emergency situation.

## ЗМІСТ

<i>Абрамов Ю.А., Борисенко В.Г., Кривцова В.И.</i> Алгоритм контроля технического состояния газогенератора системы хранения и подачи водорода.....	3
<i>Бородич П.Ю., Максимов А.В., Капральчук С.В.</i> Розробка моделі оперативного розгортання особового складу аварійно-рятувального автомобілю при рятуванні постраждалого з колектору.....	8
<i>Григоренко О.М., Ключка Ю.П., Гарбуз С.В.</i> Класифікація об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням імплементації директиви Севезо 3 на території України.....	14
<i>Дадашов И.Ф.</i> Экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам органических токсичных жидкостей.....	22
<i>Елизаров А.В.</i> Метод определения концентраций токсичных веществ в горящем помещении.....	28
<i>Загора О.В., Селеенко Є.Є., Фещенко А.Б.</i> Інформаційно-розрахункова система забезпечення електромагнітної сумісності у районі надзвичайної ситуації.....	35
<i>Загора А.В., Селеенко Е.Е., Фещенко А.Б.</i> Результаты исследования гармонических сигналов в системах дистанционного поиска пострадавших.....	41
<i>Іванець Г.В., Тютюник В.В., Калугін В.Д., Поспелов Б.Б., Захарченко Ю.В.</i> Алгоритм оцінки ефективності покриття території надзвичайної ситуації автоматизованими пристроями контролю небезпечних факторів при їх розкиданні з безпілотного літального апарату в умовах нестабільностей повітряного середовища.....	45
<i>Ключка Ю.П., Григоренко О.М., Липовий В.О.</i> Аналіз стану нормативної бази України з розрахунку соціального ризику та вплив його параметрів на величину ризику.....	57
<i>Маляров М.В., Христич В.В.</i> Різницевий алгоритм обробки зображень при вирішенні задач моніторингу.....	63
<i>Meleschenko R.G., Muntyan V.K., Tarasenko A.A.</i> Justification of the Approach for calculating the Parameters of aviation emergency and rescue operations when using visual search.....	67
<i>Неклонський І.М., Смирнов О.М.</i> Розроблення технології утилізації капсульних втулок до артилерійських пострілів з урахуванням ризику виникнення аварії та економічної ефективності робіт.....	73
<i>Поспелов Б.Б., Андронов В.А., Рыбка Е.А.</i> Алгоритмы и устройства оптимального прогнозирования и обнаружения чрезвычайных ситуаций в случае неизвестных функций потерь.....	85
<i>Рагімов С.Ю., Сенчихін Ю.М., Долгополова Н.В.</i> Розробка методу розрахунку параметрів теплового стану елементів захисного шолому рятувальника.....	94
	159

<b>Рогозін А.С., Пирогов О.В., Яровий Є.А.</b> Результати аналізу виникнення та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, як випадкового марківського процесу.....	100
<b>Собина В.О., Соколов Д.Л.</b> Щодо питання розробки рятувального засобу для порятунку людей на водоймах у зимовий період.....	106
<b>Собина В.О., Борисова Л.В.</b> Питання щодо контролю технічного стану засобів зв'язку під час оперативного управління рятувальними підрозділами на місці ліквідації наслідків НС.....	111
<b>Тарадуда Д.В., Тарахно О.В.</b> До питання характеристики надзвичайних ситуацій, пов'язаних з хімічними, біологічними, радіаційними чи ядерними інцидентами терористичного характеру.....	118
<b>Тараненкова В.В., Миргород О.В.</b> Жертвенные вяжущие материалы для устройств локализации расплава активной зоны ядерного реактора.....	126
<b>Тригуб В.В., Попов В.М.</b> Визначення кількості рятувальників для проведення аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будинках.....	133
<b>Фещенко А.Б., Загора А.В., Селеенко Е.Е.</b> Влияние режима электрической нагрузки на корректировку обеспеченности аппаратуры оперативной диспетчерской связи комплектом запасных технических средств при восстановлении её после отказов в условиях чрезвычайной ситуации.....	138
<b>Чернобрылко М.В., Светличная С.Д.</b> Модели процесса разрушения сферической оболочки при внутреннем нагружении.....	144
<b>Chernukha A.A., Kovaliov P.A., Ponomarenko S.S., Yeriomenk V.I.</b> Research of fireproof Properties of Fabric for fireproof rescue stretchers.....	149
<b>Чуб І.А., Михайловська Ю.В., Новожилова М.В.</b> Формалізація задачі ресурсного забезпечення ліквідації техногенної надзвичайної ситуації.....	153



## СПИСОК АВТОРІВ

Абрамов Ю.А.	3	Миргород О.В.	126
Chernukha A.A.	149	Михайловська Ю.В.	153
Kovaliov P.A.	149	Неклонський І.М.	73
Meleschenko R.G.	67	Новожилова М.В.	153
Muntyan V.K.	67	Пирогов О.В.	100
Ponomarenko S.S.	149	Попов В.М.	133
Tarasenko A.A.	67	Поспелов Б.Б.	45, 85
Yerimenk V.I.	149	Рагімов С.Ю.	94
Андронов В.А.	85	Рогозін А.С.	100
Борисенко В.Г.	3	Рыбка Е.А.	85
Борисова Л.В.	111	Светличная С.Д.	144
Бородич П.Ю.	8	Селесенко Є.Є.	35, 41, 138
Гарбуз С.В.	14	Сенчихін Ю.М.	94
Григоренко О.М.	14, 57	Смирнов О.М.	73
Дадашов И.Ф.	22	Собина В.О.	106, 111
Долгополова Н.В.	94	Соколов Д.Л.	106
Елизаров А.В.	28	Тарадуда Д.В.	118
Закора О.В.	35, 41, 138	Тараненкова В.В.	126
Захарченко Ю.В.	45	Тарахно О.В.	118
Іванець Г.В.	45	Тригуб В.В.	133
Калугін В.Д.	45	Тютюник В.В.	45
Капральчук С.В.	8	Фещенко А.Б.	35, 41, 138
Ключка Ю.П.	14, 57	Христич В.В.	63
Кривцова В.И.	3	Чернобрырко М.В.	144
Липовий В.О.	57	Чуб І.А.	153
Максимов А.В.	8	Яровий Є.А.	100
Маляров М.В.	63		

*Наукове видання*

**ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

*Збірник наукових праць*

Випуск 25

Головний редактор Ю.О. Абрамов

Технічний редактор К.М. Карпець

Підписано до друку 20.04.17. Формат 60x84/16

Папір 80 г/м<sup>2</sup>. Ум. друк. арк. 10,1

Тираж 300 прим. Зам. 118/2017

Відділ організації науково-дослідної роботи науково-дослідного центру

Національного університету цивільного захисту України

61023, Харків, вул. Чернишевська, 94

Електронна адреса: <http://nuczu.edu.ua>