

**МІНІСТЕРСТВО НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

---

# **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 13

**Зареєстрований Міністерством юстиції**  
25 травня 2010 року  
Серія КВ № 16672-5244ПР

Затверджено до друку Вченою радою  
НУЦЗ України  
(протокол № 14 від 07.04.2011 р.)

Харків 2011

УДК 303.09+331.101+351.658+351.861+351.861:514.18+355.58+355.77+  
614.8+614.84+614.841+614.841.345:621.039+621.373:772.99

Проблеми надзвичайних ситуацій [Текст] : зб. наук. пр. / НУЦЗ України. – Вип. 1 (2005)– . – Харків : НУЦЗУ, 2011– .  
Вип. 13. – 2011. – 168 с. – 300 прим.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:** д-р техн. наук, проф. **Ю.О. Абрамов** (відп. ред.), д-р техн. наук, проф. **О.Є. Басманов**, д-р техн. наук, проф. **Е.В. Бодяньський**, д-р хім. наук, проф. **В.Д. Калугін**, д-р техн. наук, проф. **В.М. Комяк**, д-р техн. наук, проф. **В.І. Кривцова**, д-р техн. наук, проф. **Л.М. Куценко**, д-р техн. наук, проф. **О.М. Ларін**, д-р техн. наук, проф. **Е.Ю. Прохач**, д-р техн. наук, проф. **В.В. Соловей**, д-р техн. наук, проф. **І.Б. Туркін**, д-р фіз.-мат. наук, проф. **С.В. Яковлев**, д-р техн. наук, проф. **Р.А. Яковлева**

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко  
д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко

Іл. – 47, табл. – 15

Видання засноване у 2005 р. та включене до переліку видань ВАК України (постанова Президії № 1-05/7 від 04.07.2006 р.).

Наведені результати наукових досліджень теоретичних та прикладних проблем, пов'язаних із попередженням надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, локалізацією та ліквідацією їх наслідків, зокрема на транспорті. Розглядаються питання моніторингу та прогнозування явищ, технологічних процесів тощо, які обумовлюють виникнення та розвиток надзвичайних ситуацій, попередження, локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій, розроблення моделей, які описують процеси виникнення, розвитку та локалізації надзвичайних ситуацій, а також процесів їх ліквідації, оптимізації проведення аварійно-рятувальних робіт, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями.

Матеріали призначені для інженерно-технічних робітників цивільного захисту, професорсько-викладацького складу, докторантів, ад'юнктів, слухачів, курсантів та студентів вищих навчальних закладів.

*Азаров С.І., д-р техн. наук, ст. наук. співр., ІЯД НАНУ,  
Сидоренко В.Л., ст. викл., ІДУЦЗ НУЦЗУ*

## **АНАЛІЗ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ГОРІННІ ГРАФІТОВОЇ КЛАДКИ ЗРУЙНОВАНОГО РЕАКТОРУ ПІД ЧАС ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ**

(представлено д-ром хім. наук Калугінім В.Д.)

Представлено результати аналізу фізико-хімічних процесів, що відбувалися при горінні графітової кладки реактору типу РВПК-1000 на 4-му блоці ЧАЕС під час аварії. Визначено динаміку змін температури в графітовій кладці в першу добу Чорнобильської аварії та викид радіовуглецю в навколишнє природне середовище, а також пов'язані з цим радіоекологічні проблеми.

**Ключові слова:** фізико-хімічні процеси, графітова кладка, аварія на ЧАЕС

**Постановка проблеми.** Однією з характерних особливостей аварії, що сталася 26 квітня 1986 року на 4-му блоці ЧАЕС, є процес горіння графітової кладки реактору типу РВПК-1000 та викид радіовуглецю ( $^{14}\text{C}$ ) в атмосферне повітря. Практичний інтерес обумовлено передусім до фізико-хімічних процесів, окисленню графітової кладки всередині зруйнованого реактора і викиду  $^{14}\text{C}$  в складі  $\text{CO}_2$  та пилоподібного графіту, тобто газоподібна і пилоаерозольна компонента радіовуглецю. Аналогічна радіаційна аварія спостерігалась тільки в 50-ті роки у Великобританії (Windscale), але до цього часу залишається відкритим питання про основні фізико-хімічні процеси, що обумовили горіння графітової кладки зруйнованого реактору, і викид радіаційно небезпечного  $^{14}\text{C}$  під час аварії на ЧАЕС.

Чорнобильська аварія привела до необхідності всебічного аналізу фізико-хімічних процесів, що відбуваються в активній зоні реактору на початковій стадії. Знаючи теплофізичні і пожежотехнічні характеристики реакторного графіту та процес напруцювання  $^{14}\text{C}$  в складі графітової кладки при роботі реактору в штатному режимі, можемо визначити динаміку зміни температури графітової кладки при пожежі та викид  $^{14}\text{C}$  в атмосферне повітря.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Незважаючи на те, що розвитку та протіканню аварійних процесів на 4-му блоці ЧАЕС присвячено досить багато робіт, наприклад, [1–3], питанням окислення графітових блоків в умовах пожежі і викиду радіовуглецю в повітря приділялося недостатньо уваги. Мета даної роботи – проаналізувати фізико-хімічні процеси в графітовій кладці в умовах аварії на 4-му блоці ЧАЕС.

**Постановка завдання та його вирішення.** Графітова кладка реактору типу РВПК-1000 масою 1700 тон складається з 2488 колон, набраних з графітових блоків квадратного перерізу  $0,25 \times 0,25$  метрів, висотою 0,6 метрів з циліндричним отвором діаметром 0,114 метрів по осі [4]. Загальний об'єм графітової кладки приймається рівним  $966,8 \text{ м}^3$  при загальній масі  $1,615 \cdot 10^6 \text{ кг}$ . Питома теплопровідність реакторного графіту типу ГРП-2-125 складає  $33,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , теплоємність  $1,69 \cdot 10^{-4} \text{ ккал}/(\text{г} \cdot \text{К})$ . В графітових блоках при роботі реактора на номінальній потужності тепловиділення складає 157 МВт, середня температура в графіті не перевищує 873 К, а максимальна – 1023 К [5].

Особливо важливим ефектом опромінення реакторного графіту є накопичення теплової енергії чи енергії деформації в кристалічній решітці за рахунок радіаційних дефектів. Накопичена енергія в графіті часто проявляє себе чи через виділення тепла (ефект Вігнера), що призводить до підвищення температури, чи через зниження теплоємності [6]. Акумуляована енергія може призвести до катастрофічних наслідків, так як в критичний момент нестабільний матеріал (графітова кладка), що накопичив енергію, може раптово перейти в стабільну форму. Такий перехід буде супроводжуватися виділенням великої кількості теплової енергії в графіті і різким підвищенням температури в активній зоні реактору.

На основі експериментальних досліджень було виявлено [7], що накопичена прихована енергія в графітових блоках збільшується з підвищенням флюенсу нейтронів та добре описується формулою

$$W = W_0 \left(1 - e^{K(T)\Phi}\right), \quad (1)$$

де  $W_0$  – питома прихована енергія при насиченні;  $\Phi$  – флюенс нейтронів;  $K(T)$  – константа;  $T$  – температура графіту.

На рис. 1 показано побудовану за допомогою (1), залежність зміни повної накопиченої енергії при середній та максимальній температурі флюенсу нейтронів перед початком аварії на 4-му блоці ЧАЕС.

З рис. 1 видно, що накопичена енергія опроміненого графіту безперервно зростає з ростом флюенсу нейтронів до деякої критичної точки, в якій відбувається виділення великої кількості теплової енергії, що супроводжується різким раптовим підвищенням температури. Було встановлено, що інтенсивне виділення прихованої енергії починається при нагріванні графіту до більш високих температур ніж температура опромінювання. Так при виділенні енергії 1,75 МДж/кг реакторний графіт може нагрітися до температури вище 1300 К.

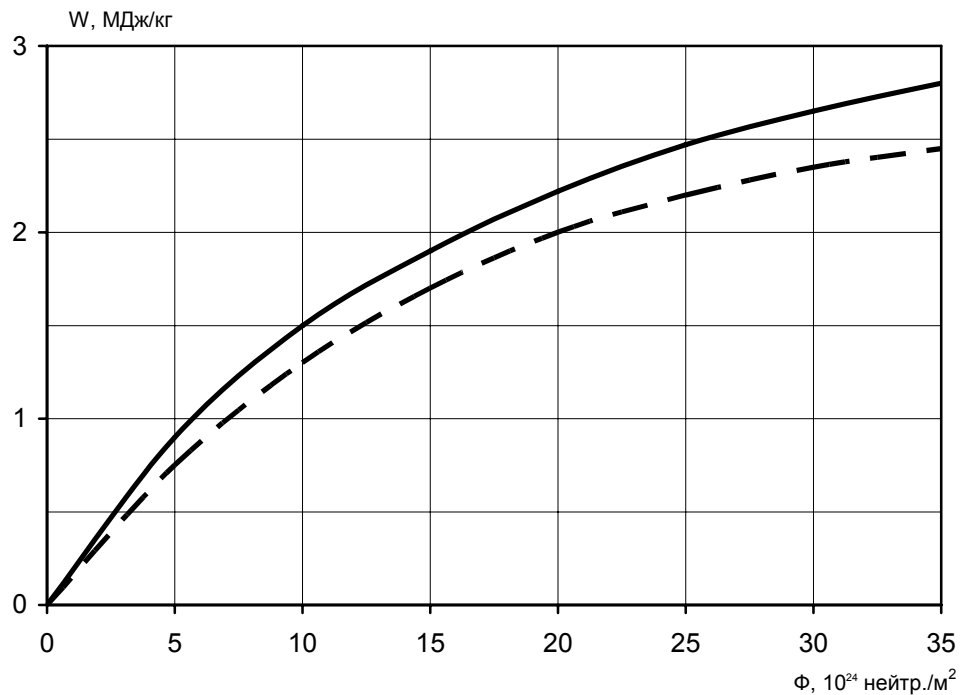


Рис. 1 – Залежність зміни повної накопиченої енергії від флюенсу теплових нейтронів

Одним з компонентів викиду радіоактивності в результаті аварії на 4-му блоці ЧАЕС, був радіовуглець, який є одним з найбільш довгоживучих радіонуклідів ( $t_{1/2}=5730$  років) і радіаційно небезпечним для людини. Питома активність  $^{14}C$ , напрацьована в графітовій кладці на момент аварії на ЧАЕС досягла 25 МБк/кг вуглецю [8]. Радіовуглець  $^{14}C$  утворюється в активній зоні реакто-

Аналіз фізико-хімічних процесів при горінні графітової кладки зруйнованого реактору під час Чорнобильської аварії

ру в результаті ядерних реакцій на кисні, азоті і вуглецю, а також при потрійному діленні: наприклад,  $^{14}\text{N}(n,n)^{14}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C}(2n)^{14}\text{C}$  тощо.

В процесі розвитку Чорнобильської аварії відбувся викид частини активної зони за межі реакторної установки в результаті різкого підвищення тиску теплоносія в реакторі та за рахунок майже одночасного розриву великої кількості паливних каналів в нижній частині. Максимальна температура графітової кладки в момент розгерметизації становила 2873 К за рахунок ефекту Вігнера, а потім поступово зменшилась до температури 1373 К (рис. 2) [9].

Якщо прийняти, що початкова температура графітової кладки була 873 К, то процес диспергування (руйнування) графітової кладки почався при температурі більш 2673 К, що відповідає підвищенню теплоємності графіту приблизно на 1,6 МДж/кг. Відомо [10], що реакторний графіт не плавиться при нормальному тиску (температура плавлення реакторного графіту складає 3973 К), а міцність зростає з підвищенням температури. Однак при температурі більше 2800 К графіт стає нестійким (крихким) і може розсіпатись при зовнішньому впливі (наприклад, при довготривалих впливах зміни тиску).

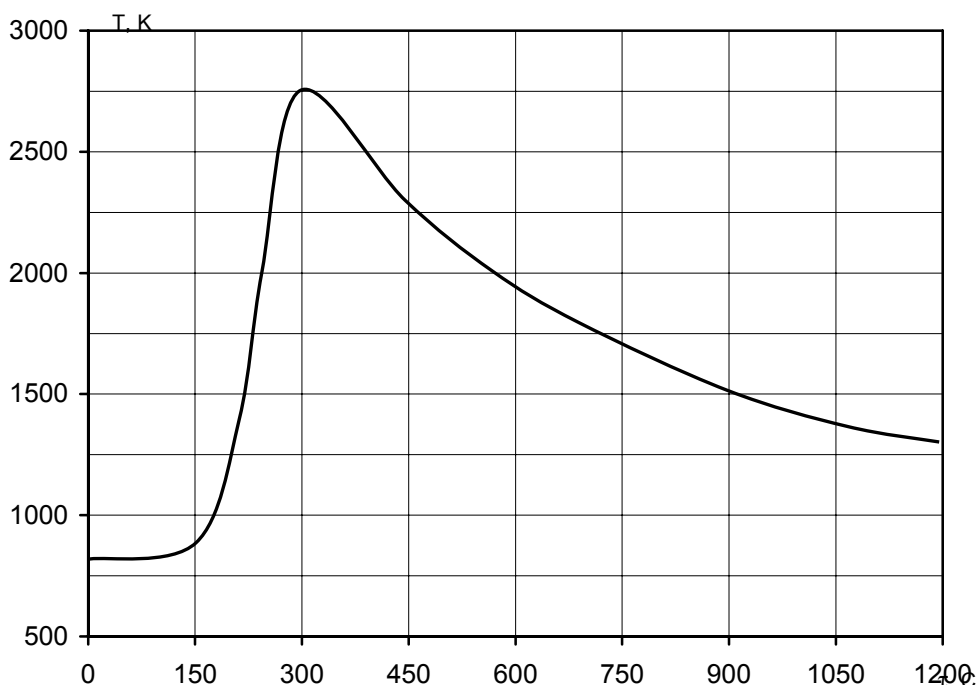
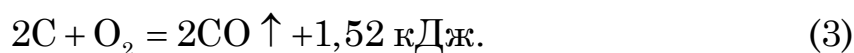


Рис. 2 – Залежність температури графітової кладки під час аварії на ЧАЕС

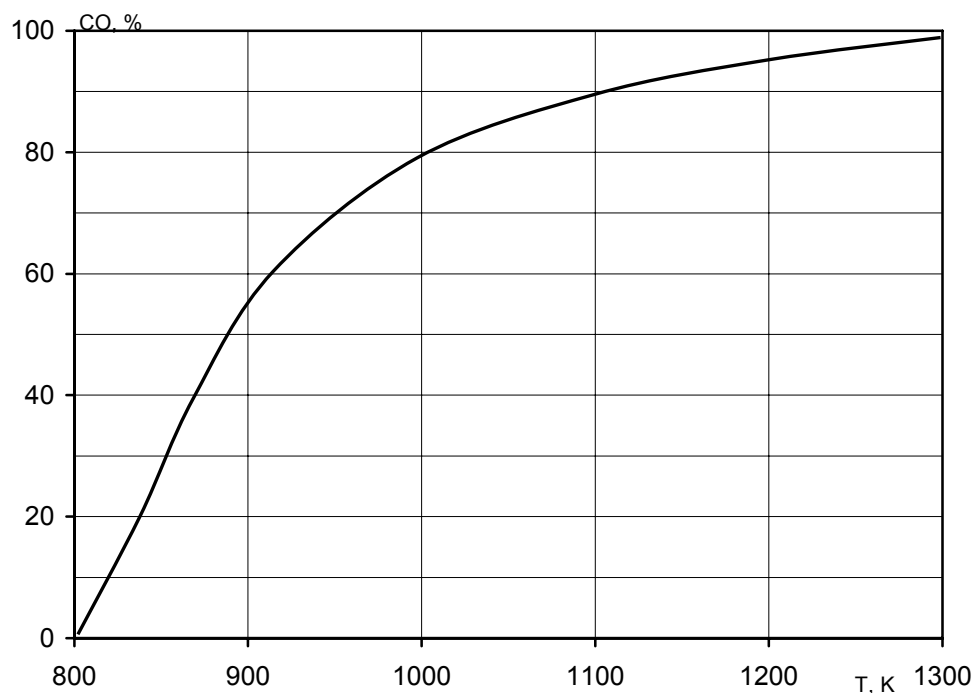
В процесі розвитку аварії при розгерметизації активної зони реактора всередину графітової кладки почало поступати повітря, що забезпечило можливість конвекції повітряного потоку знизу-вверх. Структура графітової кладки реактору РВПК-1000 з багатьма вертикальними отворами сприяла інтенсифікації циркуляції повітря [4]. В присутності кисню повітря графітові кільця при температурі 1200 К ініціювали «окислення», а потім спалах графітового уповільнювача на 3000-ій секунді розвитку аварії. При надлишку кисню графіт утворює двоокис вуглецю з виділенням великої кількості тепла [11]



а при його нестачі окис вуглецю

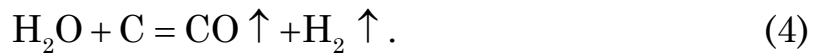


Обидві ці реакції є сильно екзотермічними.

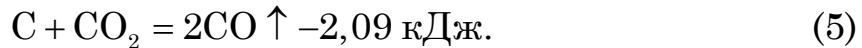


**Рис. 3 – Залежність рівноважної концентрації CO від температури в реакторі з графітовим уповільнювачем**

При нагріванні з водяним паром графіт витісняє з води водень



При нагріванні графіту в атмосфері двоокису вуглецю утворюється окис вуглецю (чадний газ) з поглинанням тепла



Реакція  $\text{CO}_2$  з графітовим уповільнювачем була добре вивчена [11].

Типова залежність рівноважної концентрації  $\text{CO}$  від температури при сталому атмосферному тиску приведено на рис. 3.

В повітрі графіт може загорітися при температурі вище 1000 К. Швидкість горіння графіту пропорційна величині його поверхні. Враховуючи, що поверхня  $1\text{ м}^3$  графіту [12]

$$S = 6(M/\rho)^{2/3}, \quad (6)$$

де  $M$  – маса зразка графіту;  $\rho$  – питома вага графіту, швидкість його горіння можна записати так

$$\partial M(\tau)/\partial \tau = -4,21 K M(\tau)^{2/3}, \quad (7)$$

де  $M(t)$  – маса речовини на  $1\text{ м}^2$  поверхні горіння в момент часу  $t$ ;  $K$  – стала горіння графіту.

Розв'язок диференційного рівняння (7) з початковими умовами

$$M(\tau)|_{\tau=0} = M(0), \quad (8)$$

де  $M(0)$  – початкова (при  $t = 0$ ) кількість графітової кладки на  $1\text{ м}^2$  поверхні горіння.

Кількість (маса) графіту на  $1\text{ м}^2$  поверхні горіння в момент часу  $t$  складе



$$M(\tau) = \left[ M(0)^{1/3} - 1,4 K \tau \right]^3. \quad (9)$$

Кількість графіту, що згоріла до моменту часу  $t$  (горіння почалося в момент часу  $\tau = 3000$  с), складе

$$M_{згор.} = M(0) - M(\tau), \quad (10)$$

У випадку, коли весь графіт згорить

$$M(\tau) = 0. \quad (11)$$

Отримаємо час повного згорання графітової кладки

$$\tau = 0,713 K^{-1} M^{1/3}. \quad (12)$$

Розрахунки за формулами (2-12) показали, що час повного згорання однієї графітової колони (усього в активній зоні реактора їх 12 штук) при температурі вище 1200 К складе біля 10 діб.

Припустимо, що маса  $M_c$  графітового матеріалу, яка згорає з виділенням радіонукліду  $^{14}\text{C}$ , знаходиться в межах  $(1 \div 1,5)$  кг/м<sup>2</sup>. У такому випадку в аерозольний (димовий) стан з одного квадратного метра графітової кладки буде переходити  $\varepsilon M_c$  речовин.

Тоді маса однієї аерозольної частини  $^{14}\text{C}$  буде

$$m_c = 4/3\pi r^3 \rho, \quad (13)$$

де  $\rho$  – питома вага аерозольної частини  $^{14}\text{C}$ ;  $r$  – радіус аерозольної частини  $^{14}\text{C}$ .

При повному згоранні буде утворено

$$N = \frac{\varepsilon M_c}{m_c} \quad (14)$$

аерозольних часток  $^{14}\text{C}$  в повітрі.

Так як при повному згоранні в зоні пожежі утворюються димові аерозолі  $\text{CO}_2$  з концентрацією  $\gamma_{\text{CO}_2}$ , то об'єм, що буде займати цей аерозоль, складе

$$V_{CO_2} = N/\gamma_{CO_2}. \quad (14)$$

Нехай густина забруднення графіту радіонуклідом  $^{14}C$  дорівнює  $A_c$ . Тоді, якщо позначити частку  $^{14}C$  через  $p$ , яка вивільняється під час пожежі, то в атмосферне повітря разом з  $N$  аерозольними частками потрапить

$$n_c = A_c p. \quad (15)$$

Тоді концентрація  $^{14}C$  в повітрі складе

$$K_{^{14}C} = \frac{n_c}{V_{CO_2}} = \frac{4\pi r^3 \rho \gamma_{CO_2} p A_c}{\varepsilon M_c}. \quad (16)$$

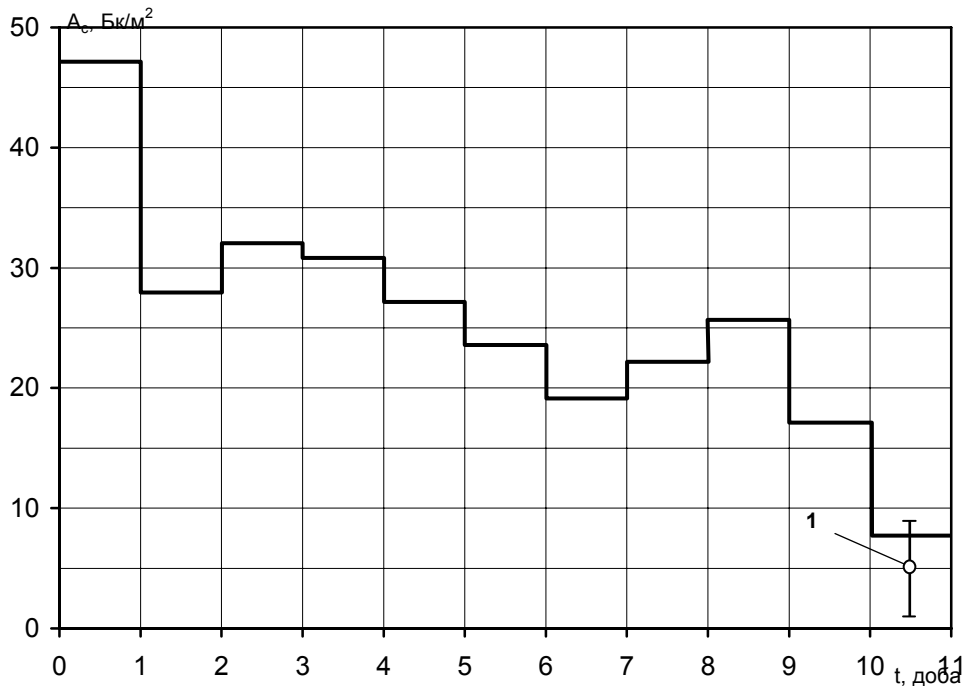


Рис. 4 – Динаміка змін активності  $^{14}C$  в атмосферному повітрі в початковий період Чорнобильської аварії з експериментально обміреним значенням (1) питомої активності  $^{14}C$  в атмосферному повітрі Фінляндії [13]

У випадку при пожежі на 4-му блоці ЧАЕС з параметрами  $M_c=1,5$  кг/м<sup>2</sup>,  $p=0,3$ ,  $\varepsilon=0,03$ ,  $r=0,1$  мкм, густини забруднення графітової кладки  $A_c=10^{17}$  Бк/м<sup>2</sup> розрахункова концентрація  $^{14}C$  у повітрі буде досягати 40 Бк/м<sup>3</sup>. Якщо вважати, що  $r$  дорівнює 0,2 мкм,

то при інших рівних умовах концентрація  $^{14}\text{C}$  в повітрі підвищиться у вісім разів.

За консервативним розрахунковим оцінкам було встановлено, що за 10 діб аварії вигоріло 40 % реакторного графіту (тобто, надійшло в атмосферне повітря в складі газоподібного  $\text{CO}_2$ ), а величина викиду  $^{14}\text{C}$  склала 56 ТБк.

Для ретроспективного визначення аварійного викиду продуктів згорання ( $\text{CO}_2$ ) і відповідних рівнів опромінення населення за рахунок  $^{14}\text{C}$  було побудовано залежність зміни питомої активності радіовуглецю в атмосферному повітрі в процесі початкової стадії аварії на ЧАЕС (рис. 4).

З рис. 4 видно, що середнє значення питомої активності  $^{14}\text{C}$  в повітрі в момент аварії становило  $25 \text{ Бк/м}^3$ , яке в 5 разів перевищило допустимий рівень концентрації  $DK_e^{inhal}$  для населення (категорія В) [14]. Верхня оцінка колективної дози, що формується за рахунок цього викиду продуктів згорання графіту (радіовуглецю), тільки для населення складала 135 чол.·Зв.

**Висновки.** Фізико-хімічна природа розвитку аварії на 4-му блоці ЧАЕС потребує більш досконалого вивчення і дослідження. З огляду на обмеженість набору експериментальних даних для виявлення ходу розвитку важкої радіаційної аварії зараз використовують різні засоби моделювання.

Розроблені методичні основи моделювання фізико-хімічних процесів в графітовій кладці реактора типу РВПК-1000 з визначенням просторово-часових параметрів з межею виявлення викиду радіаційно-небезпечного радіовуглецю ( $^{14}\text{C}$ ) в атмосферне повітря, який являє собою серйозний радіаційний ризик для майбутнього покоління.

Показано, що Чорнобильська аварія привела до згорання 40% реакторного графіту і викиду в атмосферу 56 ТБк радіовуглецю, а максимальні значення питомої активності  $^{14}\text{C}$  в повітрі в 100 разів перевищили рівень природного радіовуглецю.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тарапон А.Г. Причины аварии на Чернобыльской АЭС. Моделирование процессов разрушения реактора и теплопроводности в объекте «Укрытие» / А.Г. Тарапон – ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины. – К., 2006. – 183 с.

2. Киселев А.Н. Модель процесса разрушения реактора 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС / А.Н. Киселев, К.П. Чечеров // Атомная энергия. – 2001. – Т. 91. – Вып. 5. – С. 424–434.
3. Платонов П.А. О процессе разрушения активной зоны реактора 4-го блока ЧАЭС / П.А. Платонов – Препринт ЧАЭС. – 6486/11. – 2007. – 26 с.
4. Чернобыльская АЭС (техническое описание установок, оборудования и систем станции) – К.: Минэнерго и электрофикации УССР, 1975. – Ч. 1. – 77 с.
5. Крамеров А.Я. Инженерные расчеты ядерных реакторов / А.Я. Крамеров, Я.В. Шевелев – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 736 с.
6. Wey K., Wigner E. Radiation from Fission Products / Phys. Rev. 1946. – v.70. – № 1–2. – P. 115–130.
7. Azarov S.I. The features of the influence of neutron irradiation on graphite at different temperatures / S.I. Azarov, V.A. Pshenichnyi, O.V. Korhevnyu // Матер. конф. ІЯД НАН України. – К., січень 1998 р. – С. 169–171.
8. Гайко В.Б. Выбросы  $^{14}\text{C}$  атомных электростанций с реакторами типа РБМК-1000 / В.Б. Гайко, Н.А. Кораблев, Е.Н. Соловьев и др. // Атомная энергия. – 1985. – Т. 59, Вып. 1. – С. 144–151.
9. Абагян А.А. Причины аварии на Чернобыльской АЭС. Обзор исследований за 10 лет / А.А. Абагян, Е.О. Адамов, Н.Н. Понамарев-Степной и др. // 3-я межд.конф. МАГАТЭ Чернобыльская авария – 10 лет спустя. Аспекты ядерной безопасности. – Вена, Австрия, 1–3 апреля 1996 г. – С. 46–83.
10. Гончаров В.В. Действие облучения на графит ядерных реакторов / В.В. Гончаров, Н.С. Бурдаков, Ю.С. Вергильев и др. – М.: Атомиздат, 1978. – 272 с.
11. Nagasaki R. Radiation Damage of Graphite in Japans / R. Nagasaki, T. Honda, T. Iwata // Proc. 4-th U.N. Conf., 1971. – Geneva. – V. 10. – P. 367–382.
12. Бабич Е.В. Возможные варианты утилизации отработанного реакторного графита при выводе энергоблоков ЧАЭС из эксплуатации / Е.В. Бабич, С.И. Азаров // Наукові та технічні аспекти міжнародного співробітництва в Чорнобилі. Зб. наук. статей. – К.: Вища школа, 2001. – Вип. 3. – С. 219–231.

13. Salonen L. Carbon – 14 and Tritium in Air Finland after the Chernobyl Accident / Radiochemical Acted. – 1987. – № 41. – P. 145–148.
14. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Затверджені наказом МОЗ України від 14.07.1997 р. № 208. Введені в дію Постановою головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1997 р. № 62. – К., 1997. – 135 с.

Азаров С.И., Сидоренко В.Л.

**Анализ физико-химических процессов при горении графитовой кладки разрушенного реактора во время Чернобыльской аварии**

Представлены результаты анализа физико-химических процессов, которые происходили при горении графитовой кладки реактора типа РВПК-1000 на 4-му блоке ЧАЭС во время аварии. Определена динамика изменений температуры в графитовой кладке в первые сутки Чернобыльской аварии и выброс радиоуглерода в окружающую природную среду, а также связанные с этим радиоэкологические проблемы.

**Ключевые слова:** физико-химические процессы, графитовая кладка, авария на ЧАЭС

Azarov S.I., Sidorenko V.L.

**Analysis of physical-chemist proceedings under fire graphite block the accident at the Chernobyl NPP**

The analysis of physical-chemist proceedings in the time fire graphite block the accident at the Chernobyl NPP is considered. Dynamics of relative release  $^{14}\text{C}$  in the cryophyte at their high temperature was measured.

**Key words:** physical-chemist proceeding, graphite block, accident at Chernobyl

УДК 351.658

*Альбощій О.В., канд. військ. наук, заст. нач. каф., НУЦЗУ,  
Семків О.М., канд. техн. наук, проректор, НУЦЗУ*

## **ОСНОВИ МЕТОДИКИ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ЯК МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

(представлено д-ром техн. наук Абрамовим Ю.О.)

Розглядається задача розподілу ресурсів між структурними підрозділами організації на основі матричного підходу до розрахунку фінансово-економічних витрат на проведення сукупності планових заходів

**Ключові слова:** розподіл ресурсів, підрозділи цивільного захисту, матриця, коефіцієнт участі

**Постановка проблеми.** Як свідчать зведені статистичні дані [3] та результати аналізу причин виникнення надзвичайних ситуацій за окремими факторами, рівень загроз техногенного та природного характеру в Україні залишається високим і має тенденцію до зростання. Такий стан речей зумовлює високі вимоги до рівня готовності органів управління і підрозділів цивільного захисту. В той же час, виконання завдань, покладених на органи управління і підрозділи цивільного захисту, суттєво ускладнюється обмеженим ресурсним забезпеченням. За таких умов проблеми управління ресурсами загострюються, оскільки їх обмеженість безпосередньо впливає на рівень готовності органів і підрозділів цивільного захисту, результати оперативної роботи.

Не зважаючи на те, що управління ресурсами, в цілому, вважається достатньо визначеною галуззю управління [4], задача розподілу ресурсів між підрозділами в умовах їх обмеженості є складною. Перш за все, виникає дилема: рівномірний розподіл обмежених (недостатніх) ресурсів веде до планування заздалегідь заниженого загального рівня підготовки усіх підрозділів, а нерівномірний – до диференціації підрозділів за рівнем підготовки. Кожна з цих альтернатив має свої недоліки та переваги. При цьому, за будь-якого вибору, керівнику (розпоряднику ресурсів) на етапі прийняття рішення необхідно виходити із досягнення висо-

кої ефективності використання ресурсів, що неможливо без кількісного обґрунтування витрат.

Для пошуку ефективного варіанту розподілу ресурсів необхідно мати методику, яка б дозволяла оперативно оцінювати альтернативні варіанти, порівнювати їх між собою, приймати рішення щодо перерозподілу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літератури [1, 2, 5, 6] показує, що задачі розподілу ресурсів в теоретичній постановці є достатньо глибоко дослідженими. Проблема оптимального розподілу ресурсів вирішується переважно за допомогою економіко-математичних моделей, зведених до задач лінійного и нелінійного програмування [6]. Вирішенню задач оптимізації потоків різнорідних ресурсів відводиться значне місце в логістиці [5]. В той же час, у практиці діяльності органів управління цивільного захисту логістичні підходи та економіко-математичне моделювання процесів управління ресурсами не знайшли належної уваги. Підходи та методики розподілу ресурсів між суб'єктами діяльності, що використовуються на практиці, орієнтовані, головним чином, на розрахунок вартості окремих заходів та складання зведених кошторисів організацій. Таке обґрунтування носить суго фінансовий, а не економічний характер. Мова йде не про вибір кращого (оптимального) варіанту заходів, а про розрахунок витрат за обраним варіантом. Такий підхід до розподілу ресурсів відповідає потребам фінансового планування, але не дозволяє оперативно управляти ресурсами, здійснювати пошук ефективних варіантів використання ресурсів. За таких обставин актуальним залишається подальший розвиток методичного апарату багатоваріантного фінансово-економічного аналізу та обґрунтування планових заходів з метою оперативного та ефективного управління ресурсами організації.

**Постановка завдання та його вирішення.** Виходячи з того, що в умовах обмеженого фінансування МНС значення управління ресурсами, як важеля впливу керівників органів управління на стан готовності підпорядкованих підрозділів цивільного захисту зростає, розробимо теоретичні основи методики оцінювання фінансово-економічних витрат на утримання підпорядкованих підрозділів.

Нехай необхідно розподілити обмежені ресурси між підрозділами таким чином, щоб врахувати вимоги до планового рівня під-

готовки кожного з них та їх фактичний рівень на момент планування.

Виходячи із типової структури підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та типового переліку завдань, покладених на них, задачу розподілу ресурсів можна звести до матричної форми.

Підсумковий розподіл ресурсів може бути представленим матрицею  $Z$ . Така матриця має розмірності  $1 \times n$ . Кількість елементів в ній дорівнює кількості підпорядкованих підрозділів ( $n$ ), серед яких проводиться розподіл ресурсів. Елементами даної матриці є вартість ресурсів, виділених тому чи іншому підрозділу.

Дана матриця може бути отримана шляхом перемноження двох матриць  $Z = C \cdot Y$ .

Матриця  $C$  має розмірність  $1 \times m$ . Тут  $m$  – це кількість типів заходів в переліку заходів, запланованих до проведення в плановому році. Елемент даної матриці-рядка  $c_{1j}$  є вартістю планового заходу  $j$ -го типу ( $j=1 \dots m$ ). Тоді, матриця показує вартість планових заходів. В загальному випадку вона має вигляд

$$C = \|c_{11} c_{12} \dots c_{1m}\|.$$

Матриця  $Y$  – це матриця коефіцієнтів участі підрозділів у планових заходах. Вона має розмірність  $m \times n$ . Кількість рядків ( $m$ ) даної матриці визначається кількістю типів планових заходів, а кількість стовпців ( $n$ ) – кількістю підпорядкованих підрозділів. Елемент даної матриці  $y_{jk}$ , ( $j = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n$ ) є величиною, яка відображає міру участі  $k$ -го підрозділу в  $j$ -му заході. В загальному випадку дана матриця має вигляд

$$Y = \left\| \begin{array}{ccc} y_{11} & y_{12} & \dots y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots y_{2n} \\ \dots & & \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots y_{mn} \end{array} \right\|.$$

До основних факторів, що впливають на величину коефіцієнтів участі підрозділів у планових заходах, слід віднести:

повноту реалізації заходу  $j$ -го типу у  $k$ -му підрозділі;



кількість повторів заходу  $j$ -го типу у  $k$ -му підрозділі впродовж планового періоду;

оцінку рівня підготовки  $k$ -го підрозділу на початку планового періоду.

Враховуючи дані фактори, коефіцієнти участі підрозділів можна розрахувати за формулою

$$y_{jk} = \lambda_{jk} \cdot d_{jk} \cdot n_{jk},$$

де  $\lambda_{jk}$  – параметр участі в заході  $j$ -го типу  $k$ -го підрозділу;  $d_{jk}$  – коефіцієнт повноти реалізації планового заходу  $j$ -го типу в  $k$ -му підрозділі;  $n_{jk}$  – кількість заходів  $j$ -го типу з участю  $k$ -го підрозділу.

Параметр участі у заході  $j$ -го типу  $k$ -го підрозділу є величиною, яка може приймати два значення

$$\lambda_{jk} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } j\text{-й захід в } k\text{-му підрозділі не планується} \\ 1, & \text{якщо } j\text{-й захід в } k\text{-му підрозділі планується} \end{cases}$$

Коефіцієнт повноти реалізації планового заходу визначається як доля витрат на проведення заходу  $j$ -го типу в  $k$ -му підрозділі від максимальних (економічно обґрунтованих для складних умов діяльності) витрат на один захід  $j$ -го типу. Тоді, чисельне значення  $d$  буде належати інтервалу  $[0,1]$ . З різних причин, в першу чергу з причини обмеженості ресурсів (коштів), планові заходи можуть спрощуватися за своїм змістом, а значить знижуватися у вартості. Така ситуація є вимушеною, але прийнятною. Очевидно, що спрощення стосується переліку операцій (дій) планового заходу. Будь-який захід може бути розкладеним на окремі операції (дії). Витрати можуть бути оцінені як сума витрат на такі операції (дії). Тоді, зменшивши кількість окремих дій в ході заходу, нескладно оцінити їх зменшену вартість та сформулювати деякий типовий набір значень коефіцієнта повноти реалізації планового заходу  $j$ -го типу. При прийнятті рішень на спрощення змісту заходів необхідно враховувати, перш за все, неекономічні фактори, а саме фактичний рівень підготовки  $k$ -го підрозділу та вимоги до ступеню його підготовки в плановому періоді.

Параметр участі в заході  $j$ -го типу  $k$ -го підрозділу та коефіцієнти участі підрозділів у планових заходах слід розглядати як па-

раметри, що управляються керівниками (розпорядниками ресурсів). Задаючи їх здійснюється управління розподілом ресурсів.

Матриці  $C$  та  $Y$  є узгодженими за розмірністю. Результатом їх перемноження буде матриця-рядок розмірності  $1 \times n$ . Елементи такої матриці розраховуються згідно визначення добутку матриць за формулою

$$z_{1k} = \sum_{j=1}^m c_{1j} \cdot y_{jk}.$$

Елементами результуючої матриці є витрати на проведення в плановому періоді сукупності заходів у кожному підпорядкованому підрозділі. Сума елементів отриманої матриці-рядка  $Z$  дорівнює плановим витратам на організацію в цілому.

**Висновки.** Запропонована формалізація задачі розподілу ресурсів дозволяє забезпечити наочність та оперативність прийняття рішення керівником організації щодо розподілу ресурсів (коштів) між підпорядкованими підрозділами. Шляхом визначення параметрів участі підрозділів у планових заходах, керівник має можливість впливати на рівень їх готовності, кількісно обґрунтувати необхідну суму коштів за різними варіантами розподілу з можливістю подальшого вибору (за окремою методикою) найбільш ефективного варіанту. Дана матрична формалізація задачі може бути покладена в основу методики розподілу ресурсів для забезпечення діяльності підпорядкованих підрозділів цивільного захисту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Альбоцій О.В. Основи матричної моделі фінансово-економічного розрахунку витрат на бойову підготовку військових формувань / О.В. Альбоцій, І.В. Мазур // Системи обробки інформації. Вип. 6. – Х.: ХВУ, 2004. – С.234-237.
2. Облік у бюджетних установах: Навчальний посібник / За заг. ред. О.А. Заїнчковського та Т.М. Сторожук. – Ірпінь: Академія ДПС України, 2002, .– 535 с.
3. Прогноз основних показників статистики пожеж в Україні на 2011 рік. [http://firesafety.at.ua/\\_ld/0/49\\_Prognoz\\_2011.pdf](http://firesafety.at.ua/_ld/0/49_Prognoz_2011.pdf)
4. Словник офіцера внутрішніх військ з воєнно-наукових питань / О.М. Шмаков. – Х.: Військ.ін-т ВВ МВС України, 2005. – 362 с.

5. Сток Дж., Ламберт Д. Стратегическое управление логистикой // Пер. с 4-го изд. / Дж. Сток, Д. Ламберт – М: ИНФРА\_М, 2005. – 797 с.
6. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер.с англ. / Хемди А .Таха – М.: Издательский дом «Вильяс», 2005. – 912 с.

Альбоций А.В., Семкив О.М.

**К вопросу управления ресурсами при обеспечении деятельности подразделений гражданской защиты**

Рассматриваются задача распределения ресурсов между структурными подразделениями организации на основе матричного подхода к расчету финансово-экономических затрат на проведение совокупности плановых мероприятий.

**Ключевые слова:** распределение ресурсов, подразделения гражданской защиты, матрица, коэффициент участия

Al'boschiy A.V., Semkiv O.M.

**Indicators of performance of civilian protection as a function of the dynamics of technological hazards**

Examined task of allocation of resources between structural subdivisions of organization on the basis of the matrix going near the calculation of financial-economic expenses on conducting of aggregate of planned measures

**Key words:** allocation of resources, subdivisions of civil defence, matrix, coefficient of participation

УДК 614.84

*Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ,  
Говаленков С.С., мл. науч. сотр., НУГЗУ,  
Васильев М.В., ад'юнкт, НУГЗУ*

## **ЗОНИРОВАНИЕ МЕСТНОСТИ В РАЙОНЕ НЕПРЕРЫВНО ДЕЙСТВУЮЩЕГО ИСТОЧНИКА ОПАСНОГО ХИМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА**

Предложен метод зонирования местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества, гарантирующий, что с заданной доверительной вероятностью концентрации вещества в воздухе в пределах этих зон не превысят некоторых критических значений

**Ключевые слова:** опасное химическое вещество, поле концентраций, интенсивность, коэффициент защиты

**Постановка проблемы.** В отличие от чрезвычайной ситуации с мгновенным выбросом опасных химических веществ (ОХВ), когда перед подразделениями МЧС в качестве главной стоит задача ликвидации последствий [1] аварии, при непрерывно действующем источнике перед оперативно-спасательными подразделениями возникает задача ликвидации источника выброса и, следовательно, пребывания личного состава в зоне высоких концентраций ОХВ. В то же время, находящиеся на вооружении в пожарно-спасательных подразделениях, которые первыми прибывают к месту чрезвычайной ситуации, средства индивидуальной защиты рассчитаны для работы только при пожаре [2], условия которого могут существенно отличаться от условий, связанных с выбросом ОХВ. Таким образом, возникает необходимость определения зон, в которых может находиться личный состав в соответствующих средствах индивидуальной защиты.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ основного документа, которым руководствуются в МЧС Украины [3] показал, что он опирается только на свойства рассматриваемых ОХВ. При этом интенсивность источника выброса не учитывается. В результате зоны, в которых предписывается работать в изолирующих костюмах, имеют настолько большие размеры, что

при их преодолении, если подходить формально, может быть исчерпан весь запас защитного действия изолирующего аппарата.

В стандарте NFPA 1991 [4] США защитная одежда, а соответственно и зоны работ спасателей, делится на четыре уровня. В основе выбора лежат внешние признаки, характеризующие место работы. Аналогичная ситуация наблюдается и в Европе [5,6], где защитные костюмы делятся на шесть типов. Последние достаточно сильно коррелируют с уровнями, которые используются в США.

В РФ требования к выбору комплекса средств индивидуальной защиты (КСИЗ) приведены в [7]. При этом наряду с внешними признаками чрезвычайной ситуации там приведены и конкретные значения концентрации наиболее опасных химических веществ, которым должны удовлетворять как КСИЗ, так и зоны, в которых работает личный состав: горячая, теплая или холодная. В соответствии с последними в [1,8] рассматриваются аварийно-спасательные работы, проводимые как по локализации очага чрезвычайной ситуации, так и по ликвидации ее последствий.

Таким образом, видно, что существующие подходы к зонированию местности в районе выброса ОХВ основываются, в лучшем случае, на оценке среднего значения концентрации рассматриваемого ОХВ (или совокупности ОХВ [9]), т.е. в качестве критерия используется требование о не превосходстве математическим ожиданием концентрации ОХВ  $\bar{q}$  некоторого критического значения

$q_{кр}$

$$\bar{q} \leq q_{кр}. \quad (1)$$

При этом не учитывается возможность случайных изменений концентрации, вызванная, например, случайными пульсациями направления и скорости ветра. Не существует также и оценок погрешностей прогнозирования концентрации ОХВ в воздухе.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является зонирование местности в районе непрерывно действующего источника ОХВ, гарантирующее, что с заданной доверительной вероятностью концентрация вещества в этих зонах не превзойдет некоторых критических значений.

Для ее решения предлагается при разбиении местности в районе аварии на зоны в качестве критерия использовать требование о том, что с заданной доверительной вероятностью  $P_{дов}$  кон-

центрація ОХВ  $q$  не превосходит некоторого критического значения  $q_{кр}$

$$P(q \leq q_{кр}) \geq P_{дов}. \quad (2)$$

Для применения подхода, основанного на (2), необходимо помимо математического ожидания и дисперсии случайной величины  $q$  знать и закон ее распределения. Использование неравенства Чебышева [1] для критерия (2), позволяющее обойтись без закона распределения случайной величины

$$P(q \leq q_{кр}) \geq 1 - \frac{\sigma_q^2}{(q_{кр} - \bar{q})^2}, \quad \bar{q} < q_{кр}, \quad (3)$$

нецелесообразно, т.к. дает сильно заниженную оценку вероятности события  $q \leq q_{кр}$  [10].

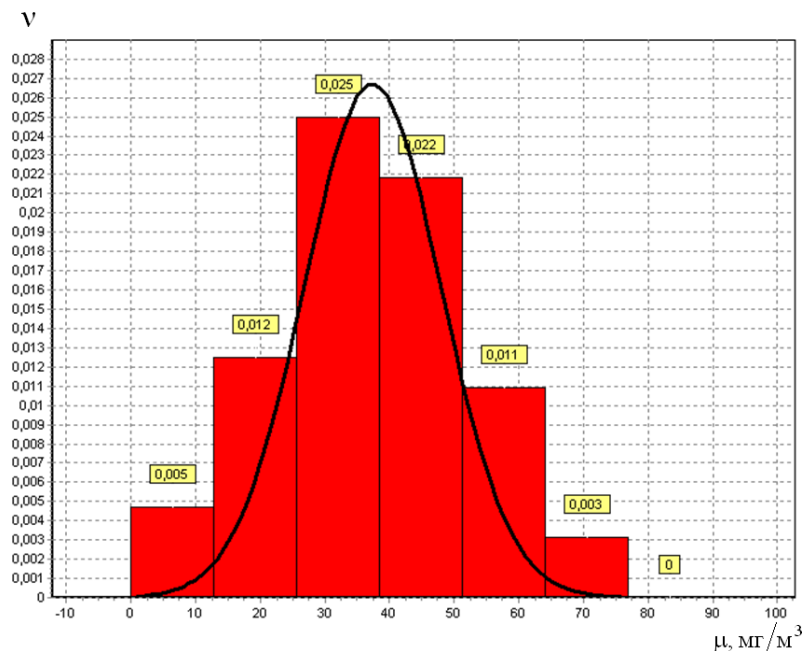
Используя результаты, приведенные в [11], концентрация ОХВ в точке  $(x, y, z)$  в момент времени  $t$  может быть описана следующим образом

$$\begin{aligned} \mu = & \frac{E}{8\pi^{3/2} a \sqrt{a_z}} \cdot \int_0^t \frac{1}{\tau^{3/2}} \times \exp \left[ - \frac{\left( x - \int_{t-\tau}^t \xi(s) ds \right)^2 + \left( y - \int_{t-\tau}^t \eta(s) ds \right)^2}{4a\tau} \right] \times \\ & \times \left\{ \exp \left[ - \frac{(z - v_z \tau - z_0)^2}{4a_z \tau} \right] + \exp \left[ - \frac{(z - v_z \tau + z_0)^2}{4a_z \tau} \right] \right\} d\tau, \quad (4) \end{aligned}$$

где  $E$  - интенсивность источника выброса ОХВ, кг/с;  $a, a_z$  - коэффициент турбулентной диффузии в горизонтальном и вертикальном направлении соответственно, м<sup>2</sup>/с;  $V_z$  - вертикальная составляющая скорости ветра (детерминированная) м/с;  $\xi(s), \eta(s)$  - нормальные стационарные случайные процессы, описывающие скорость ветра в направлении осей  $X$  и  $Y$  соответственно;  $z_0$  - высота, на которой произошел выброс ОХВ, м.

Случайная величина  $\mu$  имеет распределение, близкое к нормальному распределению (рис. 1). В качестве примера, подтверждающего это, на рис. 1 приведена гистограмма, полученная в результате 50 численных экспериментов с выборочным распределением (4), и плотность нормального закона распределения с параметрами  $\bar{q} = 38,1 \text{ мг/м}^3$ ,  $\sigma_q = 16,3 \text{ мг/м}^3$ . Проверка гипотезы о нормальном распределении концентрации по критерию  $\chi^2$  на уровне значимости 0,05 показала непротиворечивость выдвинутой гипотезы результатам численных экспериментов.

Наличие (4) позволяет проанализировать то, как меняются поля концентраций при выбросе ОХВ с заданными интенсивностью  $E$  и скоростными параметрами ветра. Так, на рисунках 2-4 приведены области, соответствующие различным значениям предельно допустимой концентрации (ПДК) при выбросе аммиака с интенсивностью  $E = 0,05 \text{ кг/с}$  из приземного источника при ветре с параметрами  $\bar{v}_x = 2 \text{ м/с}$ ,  $\bar{v}_y = 0 \text{ м/с}$ ,  $\sigma_x = 0,4 \text{ м/с}$ ,  $\sigma_y = 0,2 \text{ м/с}$ , полученные путем усреднения результатов 10, 50, 100 численных экспериментов. На рис.5 приведено поле концентраций, когда для оценки его характеристик использовались математические ожидания параметров ветра.



**Рис. 1 – Гистограмма выборочного распределения случайной величины  $\mu$  и функция плотности нормального закона распределения**

Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества

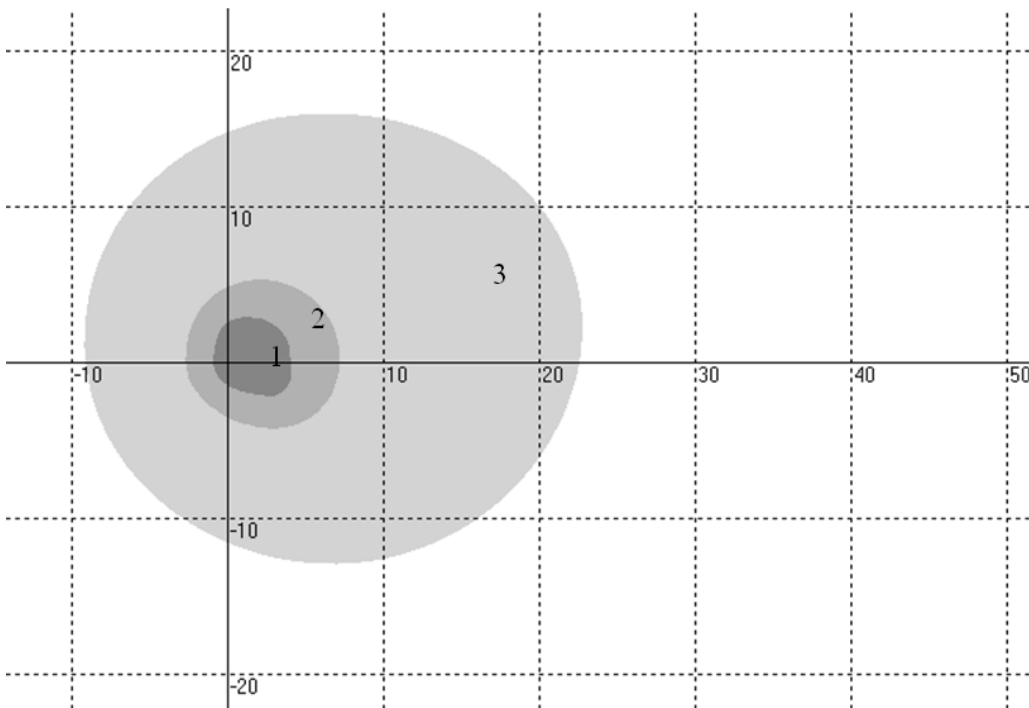
Анализ рисунков 2-5 показывает не только сходимость средней концентрации к математическому ожиданию с ростом числа испытаний, но и возможность значительного отклонения концентрации в отдельном эксперименте от математического ожидания. Поэтому для оценки вероятности события  $P(q \leq q_{кр})$ , входящей в критерий (2), будем предполагать, что случайная величина  $q$  распределена нормально. Тогда критерий (2) принимает вид

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_q} \int_{-\infty}^{q_{кр}} \exp\left[-\frac{(t - \bar{q})^2}{2\sigma_q^2}\right] dt \geq p_{дог}, \quad (5)$$

что эквивалентно неравенству [10]

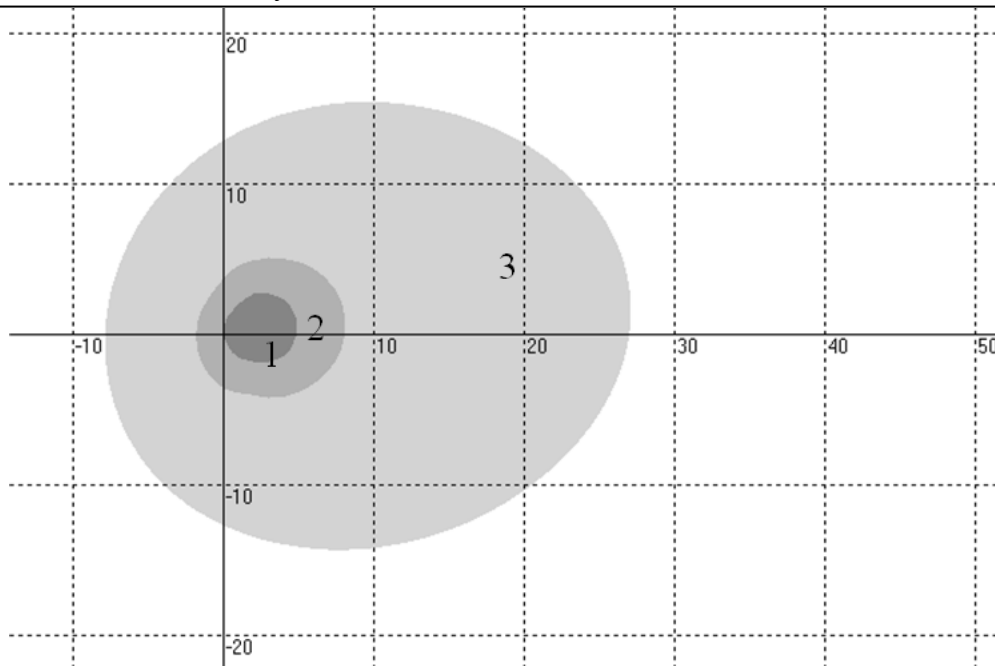
$$\frac{q_{кр} - \bar{q}}{\sigma_q} \geq F^{-1}(p_{дог}), \quad (6)$$

где  $F^{-1}(x)$  – обратная функция нормального стандартного распределения.

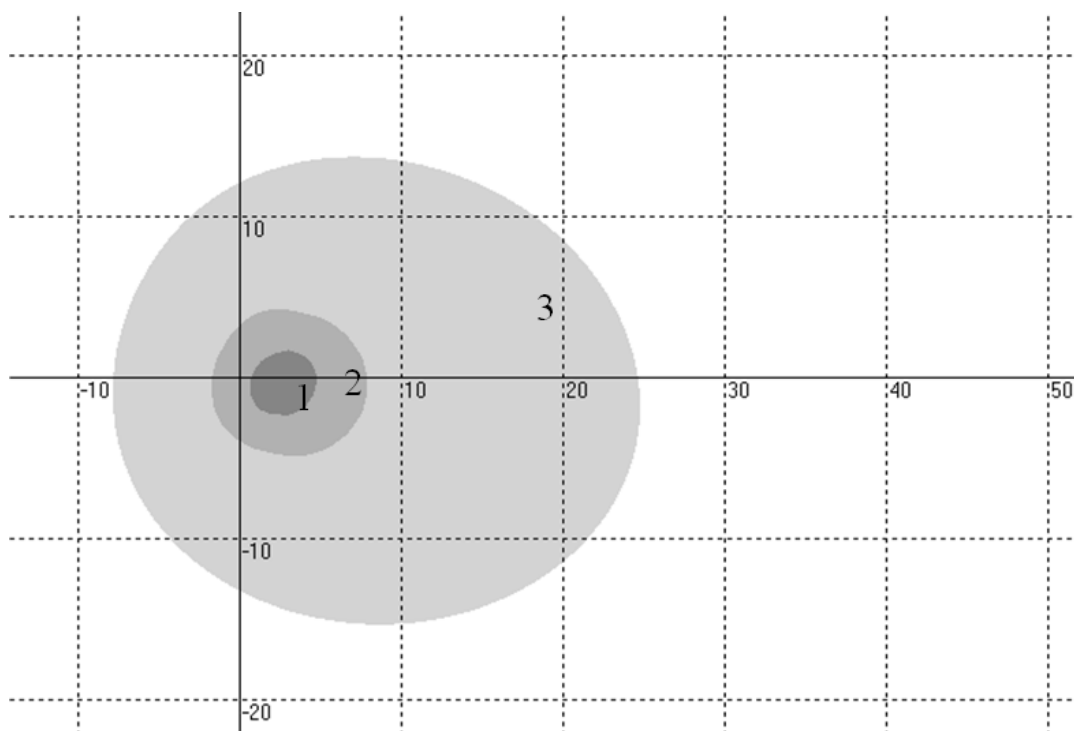


**Рис. 2 – Поле концентраций при выбросе аммиака (усреднение по результатам 10 численных экспериментов): 1 –  $q > 10$  ПДК; 2 –  $q = (5 \div 10)$  ПДК; 3 –  $q = (1 \div 5)$  ПДК**

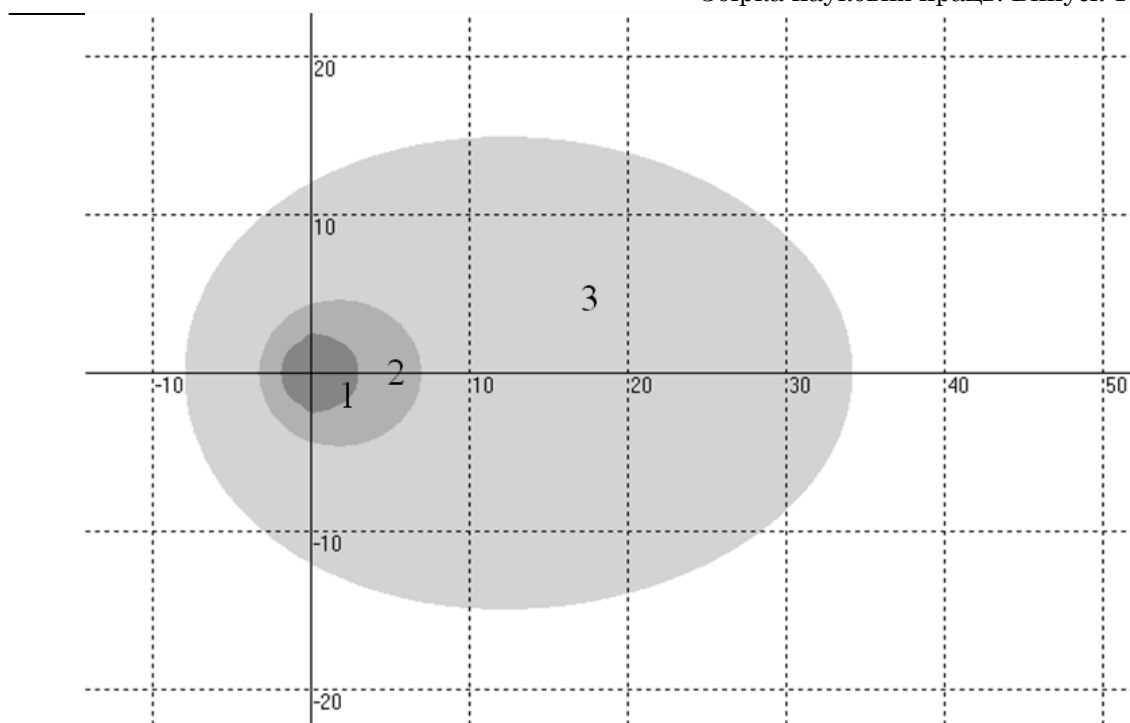




**Рис. 3 – Поле концентрацій при выбросе аммиака (усреднение по результатам 50 численных экспериментов): 1 –  $q > 10$  ПДК; 2 –  $q = (5 \div 10)$  ПДК; 3 –  $q = (1 \div 5)$  ПДК**



**Рис. 4 – Поле концентрацій при выбросе аммиака (усреднение по результатам 100 численных экспериментов): 1 –  $q > 10$  ПДК; 2 –  $q = (5 \div 10)$  ПДК; 3 –  $q = (1 \div 5)$  ПДК**



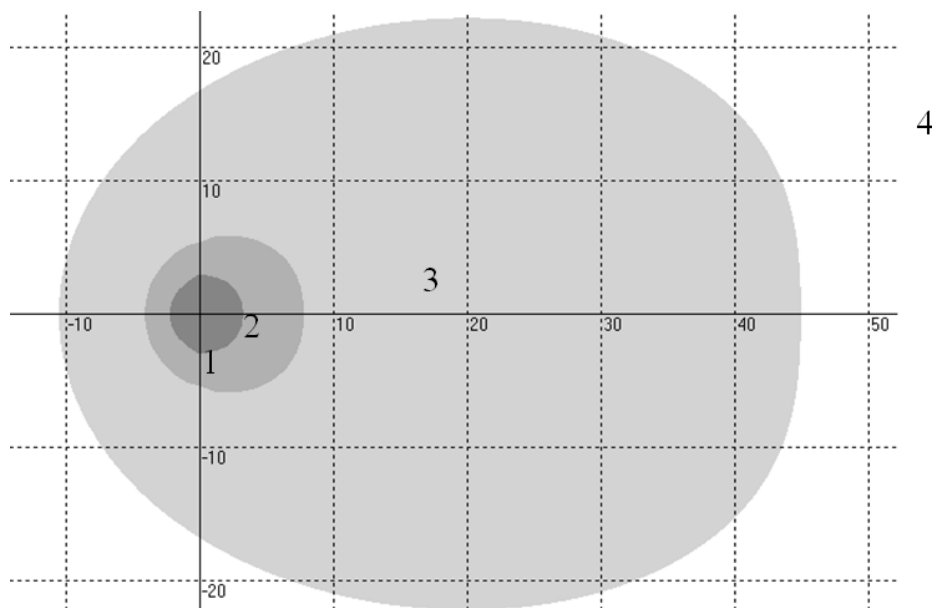
**Рис. 5 – Поле концентраций при выбросе аммиака (математическое ожидание концентрации): 1 –  $q > 10$  ПДК; 2 –  $q = (5 \div 10)$  ПДК; 3 –  $q = (1 \div 5)$  ПДК**

Использование выбора доверительной вероятности для разбиения территории, прилегающей к месту аварии, на зоны, в которых с заданной доверительной вероятностью концентрация ОХВ не будет превосходить некоторой критической величины, проиллюстрировано на рисунках 6 и 7, где интенсивность выброса и параметры скорости ветра приняты такими же, как и для ситуаций, приведенных на рисунках 2-5.

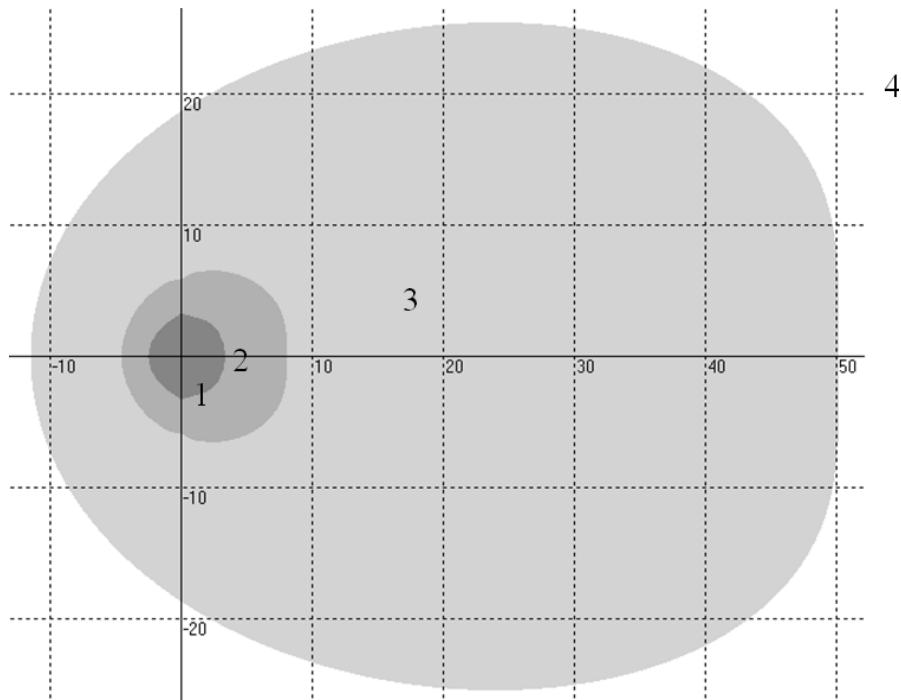
Сравнение полей концентраций на рисунках 5-7 показывает, увеличение линейных размеров зон 1, 2, 3 примерно на 30% при использовании в качестве критерия разбиения требования о том, чтобы концентрация не превосходила критического значения с вероятностью 0,95 (формула (6)), вместо критерия (1), использующего только математическое ожидание концентрации. Отметим, что критерий (6) становится эквивалентен критерию (1) при величине доверительной вероятности равной 0,5.

Увеличение доверительной вероятности с 0,95 до 0,99 приводит к увеличению линейных размеров зон 1, 2, 3 еще примерно на 10% (рис. 6, 7). Анализ рисунков 2-7 также свидетельствует о том, что зона высоких концентраций (зона 1) имеет форму близкую к

круговой, в то время как зона 3 имеет форму, вытянутую в направлении ветра.



**Рис. 6 – Разбиение территории, прилегающей к месту выброса аммиака, на зоны, в которых концентрация с вероятностью 0,95 не превосходит: 1 – 100 ПДК; 2 – 10 ПДК; 3 – 5 ПДК; 4 – 1 ПДК**



**Рис. 7 – Разбиение территории, прилегающей к месту выброса аммиака, на зоны, в которых концентрация с вероятностью 0,99 не превосходит: 1 – 100 ПДК; 2 – 10 ПДК; 3 – 5 ПДК; 4 – 1 ПДК**

Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества

Этот результат качественно согласуется с представлениями [8] о том, что размеры «горячей зоны» определяются только видом вещества и интенсивностью его истечения и практически не зависят от направления и скорости ветра.

Наличие оценок математического ожидания и среднеквадратического отклонения концентрации ОХВ в воздухе позволяет определить необходимый КСИЗ, который обеспечит безопасное пребывание спасателей на месте проведения аварийно-спасательных работ. Критерием выбора является [9] выполнение соотношения

$$K_z \geq K_{mo}, \quad (7)$$

где  $K_z$  – коэффициент защиты КСИЗ;  $K_{mo}$  – коэффициент токсической опасности среды

$$K_{mo} = \frac{q_{факт}}{q_{ПДК}}, \quad (8)$$

где  $q_{факт}$  – фактическая концентрация ОХВ в воздухе, мг/м<sup>3</sup>;  $q_{ПДК}$  – предельно допустимая концентрация ОХВ, мг/м<sup>3</sup>.

Тактико-технические характеристики средств индивидуальной защиты, приведенные в [9,12,13], позволяют определить границы зон, в которых должен использоваться КСИЗ:

- 1-я («горячая») зона –  $q > 5000$  ПДК;
- 2-я («теплая») зона –  $q = (200 \div 5000)$  ПДК;
- 3-я («холодная») зона –  $q = (1 \div 200)$  ПДК.

Таким образом, границы зон определяются отношением концентрации вещества в воздухе  $q$  к величине его ПДК  $q_{ПДК}$

$$\phi = \frac{q}{q_{ПДК}}. \quad (9)$$

Поскольку концентрация вещества в воздухе пропорциональна интенсивности его выброса  $E$

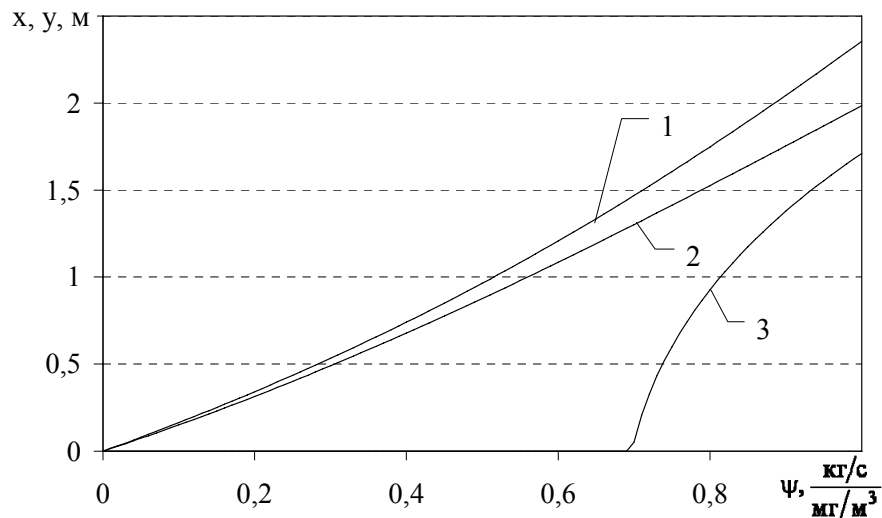
$$q = E \cdot F(x, y, z, t), \quad (10)$$

то границы зон будут определяться приведенной интенсивностью выброса  $\psi$

$$\psi = \frac{E}{q_{ПДК}}. \quad (11)$$

Пример использования (11) приведен на рисунках 9 и 10, где оцениваются границы зон с подветренной и наветренной сторон, соответственно, и на рис.11, где оценивается ширина зоны в поперечном к ветру направлении, т.е. максимальное значение удвоенного расстояния от оси  $X$  до границы зоны. Зоны рассчитаны с использованием критерия (6). Таким образом, в этих зонах с доверительной вероятностью  $p_{дов} = 0,95$  концентрация вещества не превосходит соответствующей величины. Параметры скорости ветра принимались такими же, как и на рисунках 2-5:  $\bar{v}_x = 2$  м/с,  $\bar{v}_y = 0$  м/с,  $\sigma_x = 0,4$  м/с,  $\sigma_y = 0,2$  м/с. При этом для наглядности граница первой зоны на рис. 8 отложены по правой оси.

Анализ зависимостей, приведенных на рисунках 8-10, показывает, что даже для такого высокотоксичного вещества как хлор ( $q_{ПДК}(\text{Cl}_2) = 1$  мг/м<sup>3</sup> [14]) и значительной интенсивности выброса (1 кг/с) размеры 1-й зоны составляют порядка 2 м.



**Рис. 8 – Зависимость размеров 1-й зоны от приведенной интенсивности выброса  $\psi$ : 1 – с наветренной стороны; 2 – максимальная ширина зоны в направлении, поперечном направлению ветра; 3 – с подветренной стороны**

Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества

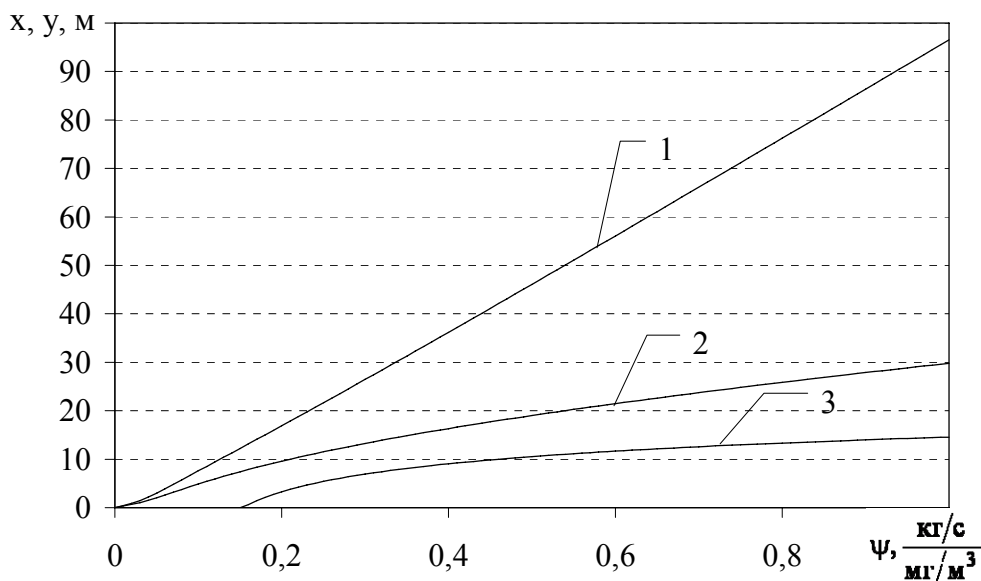


Рис. 9 – Зависимость размеров 2-й зоны от приведенной интенсивности выброса  $\psi$ : 1 – с наветренной стороны; 2 – максимальная ширина зоны в направлении, поперечном направлению ветра; 3 – с подветренной стороны

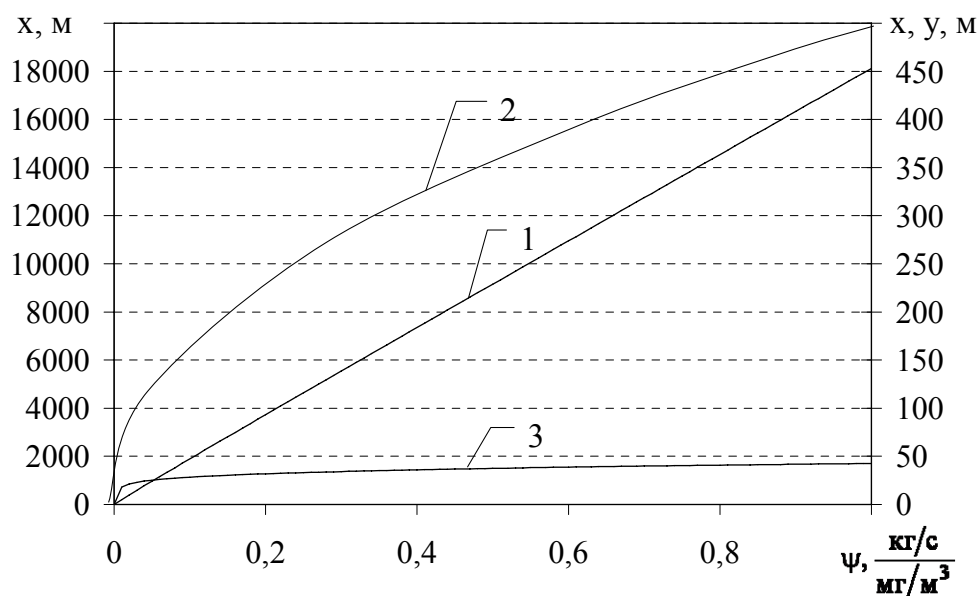


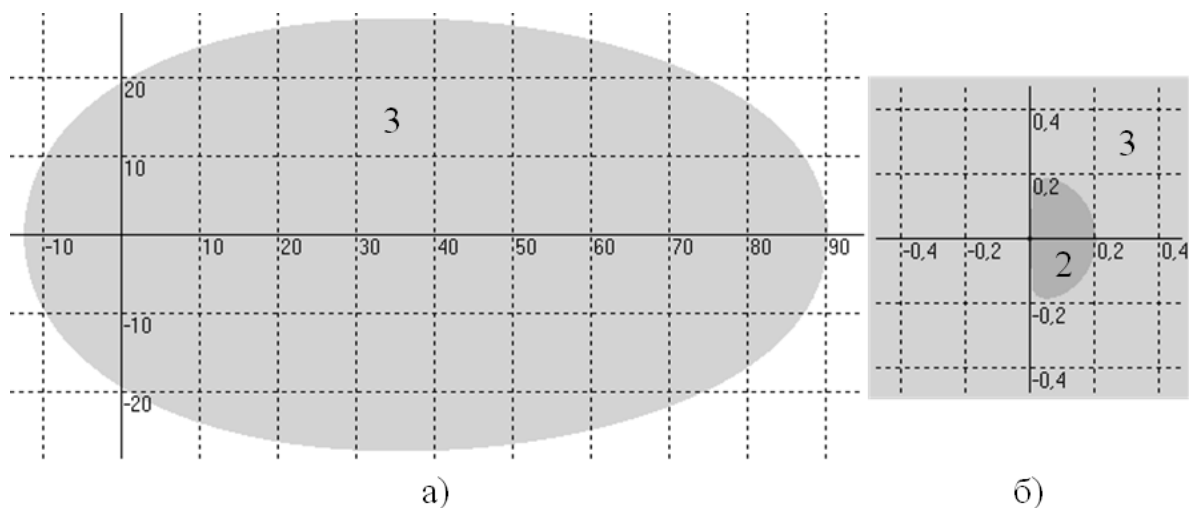
Рис. 10 – Зависимость размеров 3-й зоны от приведенной интенсивности выброса  $\psi$ : 1 – с наветренной стороны; 2 – максимальная ширина зоны в направлении, поперечном направлению ветра (по правой оси); 3 – с подветренной стороны (по правой оси)

Это означает, что только личный состав, непосредственно участвующий в ликвидации непрерывно действующего источника

высокотоксичного ОХВ, нуждается в средствах с максимальной защитой (такой комбинации изолирующего костюма и изолирующего аппарата, когда последний находится внутри защитной одежды [9]). На больших расстояниях (при проведении, например, работ по постановке водяных завес) спасатели могут быть в изолирующих аппаратах поверх защитной одежды. Анализ рисунков 8-10 подтверждает то, что форма 1-й зоны близка к круговой, т.е. ветер не оказывает существенного влияния на ее границы.

В качестве примера ситуации с менее токсичным веществом, которое выбрасывается с меньшей интенсивностью, была рассмотрена утечка аммиака с интенсивностью  $E = 0,1 \text{ кг/с}$  при тех же параметрах ветра, что и на рисунках 8-10. На рис.11 приведены 2-я и 3-я зоны.

За пределами 3-й зоны с доверительной вероятностью  $p_{\text{доп}} = 0,95$  концентрация аммиака в воздухе не превосходит ПДК. Ее граница (рис. 11а) позволяет выбрать места для расположения постов газовой безопасности, штаба ликвидации аварии, высадки личного состава из автомобилей и одевания средств индивидуальной защиты. Для нахождения внутри 3-й зоны достаточно иметь фильтрующий противогаз.



**Рис. 11 – Определение зон при выбросе аммиака**

Из анализа рис. 11 следует также, что в данном случае фактически отсутствует 1-я и 2-я зоны: граница 2-й зоны расположена на расстоянии не более 0,2 м от точки выброса ОХВ (рис.11б). Таким образом, только личный состав, непосредственно задейство-

ванний в ликвидации утечки, должен быть обеспечен изолирующими аппаратами.

**Выводы.** Разработан вероятностный подход к выделению «горячей», «теплой» и «холодной» зон в районе непрерывно действующего источника ОХВ, гарантирующий, что с заданной достоверной вероятностью концентрация вещества в воздухе не превысит некоторых критических значений. Показано, что зона высоких концентраций имеет форму близкую к круговой. Размеры «горячей зоны» определяются только видом вещества и интенсивностью его истечения и практически не зависят от направления и скорости ветра. Это означает что в процессе ликвидации мощного непрерывно действующего источника высокотоксичного ОХВ, находящегося на открытом пространстве, в изолирующий костюм, внутри которого находится изолирующий аппарат, должны быть одеты спасатели, работающие в непосредственной близости (до 2-5 м) от очага чрезвычайной ситуации. На больших расстояниях (при проведении, например, работ по постановке водяных завес) личный состав может быть в изолирующих аппаратах поверх защитной одежды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В.А., Лукьянченков А.Г., Павлов К.Н. и др.]; под ред. В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
2. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ. / Н.С.Диденко – М.: Недра, 1984. – 296 с.
3. Рекомендації щодо захисту особового складу підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків аварій за наявності небезпечних хімічних речовин (аміак, хлор, азотна, сірчана, соляна та фосфорна кислоти): Наказ N 733 МНС України від 13.10.2008. – Офіц. вид. – Київ: МНС України, 2008. – 88 с. – (Нормативний документ МНС України, Рекомендації)
4. Standard on Vapor-Protective Ensembles for Hazardous Materials Emergencies: NFPA 1991: 2005 Edition – Режим доступу: <http://www.normas.com/NFPA/PAGES/NFPA-1991.html>
5. Protective clothing against liquid and gaseous chemicals, including liquid aerosols and solid particles Part 1: Performance



- requirements for ventilated and non-ventilated “gas-tight” (Type 1) and “non-gas-tight” (Type 2) chemical protective suits: prEN 943-1:2002 – Режим доступу: [http://www.standardsdirect.org/standards/standards2/Standards\\_Catalogue24\\_view\\_17935.html](http://www.standardsdirect.org/standards/standards2/Standards_Catalogue24_view_17935.html)
6. Liquid chemicals for limited life/use (liquid-tight) Type 3 equipment: prEN 1511 – Режим доступу: <http://www.outsource-safety.co.uk/freehelp/49-british-standards.html>
  7. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования: ГОСТ Р 22.9.05-95. – Режим доступу: <http://www.gr-obor.narod.ru/document.htm>
  8. Рятувальні роботи при ліквідації надзвичайних ситуаціях. Навчальний посібник: Частина 1 / Аветисян В.Г., Сенчихін Ю.М., Куліш Ю.О. та ін. – Київ: Основа, 2006. – С. 85-122.
  9. Васильєв М.В. Аналіз герметичності комплексу засобів індивідуального захисту першого типу / Васильєв М.В., Коврегін В.В., Стрілець В.М. // Проблеми надзвичайних ситуацій - № 11 – Харків, Фоліо, 2010 – с.29-38
  10. Боровков А.А. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1986. – 432 с.
  11. Басманов А.Е. Математическая модель диффузии опасных химических веществ в воздухе / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Проблеми надзвичайних ситуацій - № 8 – Харків, Фоліо, 2008 – с.29-39

Басманов О.Є., Говаленков С.С., Васильєв М.В.

**Зонування місцевості в районі безперервно діючого джерела небезпечної хімічної речовини**

Запропоновано метод зонування місцевості в районі безперервно діючого джерела небезпечної хімічної речовини, який гарантує, що з заданою довірчою імовірністю концентрації речовини у повітрі в межах цих зон не перевищують деяких критичних значень

**Ключові слова:** небезпечна хімічна речовина, поле концентрацій, інтенсивність, коефіцієнт захисту

Basmanov A.E., Govalenkov S.S., Vasil`ev M.V.

**Zoning areas in the continuously acting source of the hazardous chemical**

A method of zoning areas near the continuously acting source of hazard chemical is proposed. It ensures that levels of concentration of chemical in the air in these zones are less than critical values.

**Key words:** dangerous chemicals, the concentration field, intensity, rate of protection

УДК 614.8

*Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ,  
Михайлюк А.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НУГЗУ,  
Туркин И.Б., д-р техн. наук, зав. каф., НАКУ «ХАИ»*

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРА МОДЕЛИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Проведена экспериментальная оценка параметра модели локализации чрезвычайной ситуации техногенного характера на примере охлаждения горящего резервуара пожарными стволами

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация техногенного характера, локализация чрезвычайной ситуации, коэффициент теплоотдачи

**Постановка проблемы.** Первоочередной задачей подразделений МЧС, участвующих в локализации и ликвидации чрезвычайной ситуации в резервуарном парке, вызванной горением нефтепродукта в резервуаре, является охлаждение горящего резервуара [1]. Одной из проблем, которые возникают при этом, является определение необходимой интенсивности подачи воды. Особенно актуальным это является при ограниченном количестве сил и средств, что имеет место после прибытия первых подразделений МЧС к месту вызова.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [2] построена модель охлаждения резервуара водными струями, а в [3] – модель взаимодействия водной струи с вертикальной поверхностью. Однако оценка коэффициента конвективной теплоотдачи в водную пленку отсутствует.

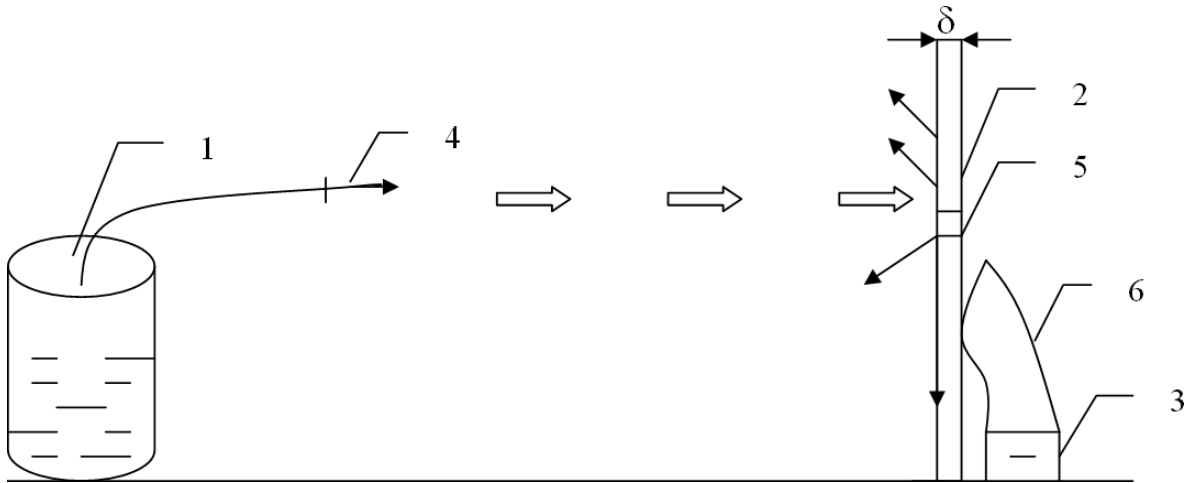
**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является идентификации параметра модели локализации чрезвычайной ситуации на примере экспериментальной оценки коэффициента конвективной теплоотдачи в водную пленку при охлаждении горящего резервуара пожарными стволами.

При проведении эксперимента в качестве модели сухой стенки горящего резервуара использовался стальной лист (плотность  $\rho = 7880 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкость  $c_c = 440 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ) толщиной 2 мм (рис. 1). В качестве источника нагрева листа использовался горящий бензин в поддоне. Вода подавалась с помощью насоса и по-

жарного ствола РС-50 (диаметр насадка 13 мм). Температура листа измерялась термопарой (мультиметр DT-838). Площадь нагрева составляла около 0,25 м<sup>2</sup>.

Алгоритм проведения эксперимента заключался в следующем:

- производился поджиг бензина в поддоне 3 и в течение одной минуты стальной лист 5 нагревался под действием пламени 6;
- проводилось измерение температуры листа 2 с помощью термопары;
- начиналось охлаждение листа 5 пожарным стволом 4;
- в ходе охлаждения через каждые пять секунд проводились повторные замеры температуры листа.



**Рис. 1 – Охлаждение водной струей стальной стенки: 1 – емкость с водой; 2 – стенка; 3 – поддон с горящим бензином; 4 – пожарный ствол; 5 – элементарная площадка стальной стенки; 6 – пламя**

Для построения модели охлаждения струями воды запишем уравнение теплового баланса для элементарной площади  $\Delta S$ :

$$(q - q_{охл}) \Delta S dt = \Delta m c dT, \quad (1)$$

где  $\Delta m = \Delta V \rho = \Delta S \delta \rho$  – масса элементарной площадки стального листа;  $c$  – теплоемкость стали;  $\delta$  – толщина стального листа;  $\rho$  – плотность стали.

Тогда

$$(q - q_{охл}) \Delta S dt = \rho \delta c dT. \quad (2)$$

Преобразуя формулу (2) при  $T(0) = T_{\max}$ , получим

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho\delta c} (q - (T - T_0)\alpha_{охл}). \quad (3)$$

Пусть

$$\theta = q - (T - T_0)\alpha_{охл}, \theta(0) = q - (T_{\max} - T_0)\alpha_{охл}, \quad (4)$$

где  $T_{\max}$  – максимальная температура, до которой была нагрета стенка. Тогда

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{dT}{dt}\alpha_{охл},$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{1}{\alpha_{охл}} \frac{d\theta}{dt},$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{\alpha_{охл}}{\rho\delta c},$$

$$\theta = c \cdot \exp\left(-\frac{\alpha_{охл}}{\rho\delta c} t\right).$$

Из начального условия (4) получим

$$\theta(t) = (q - (T_{\max} - T_0)\alpha_{охл}) \exp\left(-\frac{\alpha_{охл}}{\rho\delta c} t\right),$$

$$q - (T - T_0)\alpha_{охл} = (q - (T_{\max} - T_0)\alpha_{охл}) \exp\left(-\frac{\alpha_{охл}}{\rho\delta c} t\right),$$

$$T = T_0 + \frac{q}{\alpha_{охл}} - \left(\frac{q}{\alpha_{охл}} - (T_{\max} - T_0)\right) \exp\left(-\frac{\alpha_{охл}}{\rho\delta c} t\right). \quad (5)$$

Входящий в (5) коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha_{охл}$  оценим по методу наименьших квадратов

$$\sum_k (T_{\text{експ}}(t_k) - T(t_k))^2 \rightarrow \min_{\alpha_{\text{охл}}}, \quad (6)$$

где  $T_{\text{експ}}(t_k)$ ,  $T(t_k)$  – температуры в момент времени  $t_k$ , полученные в эксперименте и расчетным путем по формуле (5). Решение задачи (6) дает оценку  $\alpha = 634 \text{ Вт/м}^2$

Сравнение расчетного изменения температуры листа при охлаждении его водными струями с экспериментальными значениями (рис. 2) показывает, что погрешность не превосходит 7%.

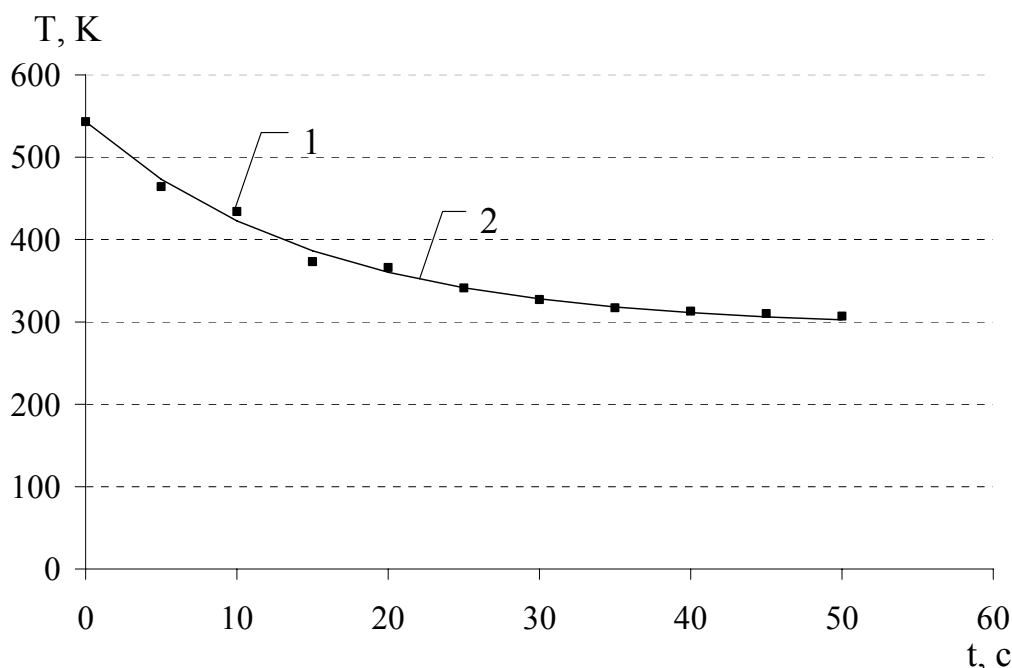


Рис. 2 – Зависимость изменения температуры стенки листа от времени при ее охлаждении водными струями: 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные значения

**Выводы.** Проведена идентификация параметра модели локализации чрезвычайной ситуации на примере экспериментальной оценки коэффициента конвективной теплоотдачи в водную пленку при охлаждении горящего резервуара пожарными стволами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

2. Басманов А.Е. Моделирование нагрева водной пленки, стекающей по стенке резервуара / А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. – №28. – С. 42–46.
3. Басманов А.Е. Взаимодействие водной струи со стенкой резервуара при его охлаждении в условиях пожара / А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – №25. – С. 14–20.

Басманов О.Є., Михайлюк А.А., Туркін І.Б.

**Ідентифікації параметрів моделі локалізації надзвичайної ситуації**

Проведена експериментальна оцінка параметра моделі локалізації надзвичайної ситуації техногенного характеру на прикладі охолодження палаючого резервуару пожежними стволами

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація техногенного характеру, локалізація надзвичайної ситуації, коефіцієнт тепловіддачі.

Basmanov A.E., Mikhailyuk A.A., Turkin I.B.

**Identification of model parameters of location of emergency**

The experimental estimate of the parameter model of localization of an emergency man-made disasters on the example of the cooling tank on fire fire barrel

**Key words:** technogenic emergencies, the localization of an emergency, heat transfer coefficient

*Беляев В.Ю., адъюнкт, НУТЗУ,  
Тарасенко А.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НУТЗУ,  
Туркин И.Б., д-р техн. наук, зав. каф., НАКУ «ХАИ»*

## **НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ЭВАКУАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ ПО СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СЕТИ АВТОДОРОГ**

Предложена процедура нахождения оптимального маршрута эвакуации населения по сети автодорог в случае угрозы поражения аварийно химически опасными веществами с возможностью ее реализации в рамках геоинформационных систем

**Ключевые слова:** эвакуация населения, маршруты эвакуации, токсодоза, аварийно химически опасные вещества

**Постановка проблемы.** На территории Украины размещены более 1,5 тыс. химически опасных объектов, деятельность которых связана с производством, использованием, хранением и транспортировкой аварийно химически опасных веществ, а в зонах их размещения проживает более 22,0 млн. человек.

Аварийно химически опасное вещество (АХОВ) — это вещество, применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (разливе) которого может произойти заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях (токсодозах) [1].

Одним из основных путей уменьшения человеческих потерь в случае выброса АХОВ является эвакуация населения из зон возможного воздействия поражающих факторов [2-4]. В то же время, масштабность зоны поражения и ее динамический характер приводят к возможности нанесения ущерба здоровью людей непосредственно во время проведения эвакуации.

Одним из факторов, влияющих на эффективность проведения эвакуации, является выбор маршрутов эвакуации (которые являются составной частью плана эвакуации). При этом для быстроразвивающихся техногенных ЧС (химических, радиационных выбросов) заблаговременное определение пути эвакуации возможно лишь при дополнительных предположениях о метеорологических условиях и об объеме выброса [5]. Альтернативой плану эвакуации может стать оперативный план эвакуации населения,

который должен разрабатываться в режиме реального времени на основе текущей информации о ходе развития ЧС. Разработка такого плана возможна лишь при создании соответствующего программного обеспечения, в основе которого должен лежать прогноз развития динамической ЧС и математические модели нахождения оптимальных маршрутов. Наличие такого плана способно значительно повысить эффективность процесса эвакуации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [6] рассмотрена модель зоны безопасности населенного пункта в случае распространения области поражения ЧС природного характера. Модель может оказаться полезной для получения критерия принятия решения о начале проведения эвакуации.

В работе [7] рассматривается оптимизация процесса эвакуации населения из зоны поражения после радиационной аварии. При этом область загрязнения и сеть автодорог являются неизменными за время проведения эвакуации, т.е. расчет происходит на основе ретроспективной, а не прогностической информации.

В работе [8] построена развернутая модель, обеспечивающая планирование эвакуации населения города, но не учитывающая динамику ЧС и возможных изменений в сети дорог.

В работе [9] формализовано задачу нахождения оптимальных маршрутов эвакуации населения в случае расширения области поражения ЧС природного и природно-техногенного характера. Обозначены этапы решения указанной задачи. При этом в работе не рассматривается скорость эвакуации и ее зависимость от ингаляционной токсодозы.

В литературе отсутствуют модели эвакуации населения при угрозе со стороны динамической области воздействия опасных факторов ЧС, поэтому актуальной является задача отыскания оптимальных маршрутов эвакуации населения по доступной сети дорог с динамической топологией.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является отыскание оптимальных (по критерию минимума токсодозы) маршрутов эвакуации населения по доступной сети дорог с динамической топологией.

Имеются два основных способа наземной эвакуации – пешая (индивидуальная и организованная в виде пешей колонны) и с помощью автотранспорта. Будем различать собственно эвакуацию, когда эвакуируемые лица перевозятся автосредством в качестве



пассажирам, і самоєвакуацію, яку здійснюють піші евакуйовані, а також водій автотранспорту.

В загальному випадку швидкість евакуації  $V$  залежить від власної швидкості евакуації  $v_T$ , визначеної способом евакуації (ТТХ автотранспорту в разі евакуації автотранспортом), типу поверхні, по якій здійснюється рух (грунтові або шосейні дороги, бездоріжжя, непрохідні перешкоди). При евакуації автотранспортом необхідно враховувати особливості вздовж маршруту  $L$  евакуації (хвилюватість і пропускну здатність дороги). І для пішої, і для транспортної евакуації необхідно враховувати вплив рельєфу  $Z(x, y)$  вздовж маршруту  $L$  руху. При пішій евакуації має місце зниження швидкості руху з часом  $t$ . Крім того, в разі самоєвакуації має місце залежність швидкості евакуації від інгаляційної токсодози  $C$ . Таким чином, швидкість евакуації

$$V = f(v_T, x, y, L, Z(x, y), t, C). \quad (1)$$

Інгаляційна токсодоза  $C$  в точці  $(x, y, z)$  за час експозиції  $T$

$$C(x, y, z, T) = \int_0^T q(x, y, z, t) dt, \quad (2)$$

де  $q(x, y, z, t)$  - динамічне поле концентрації АХОВ.

При русі вздовж відомого маршруту евакуації  $L(x, y) = 0$ , заданого явно в формі  $y = Y(x)$ , токсодоза рівна криволінійному інтегралу

$$C = \int_L q(x, y, Z(x, y), t) \frac{dl}{V} = \int_{x_1}^{x_2} q(x, Y(x), Z(x, Y(x)), t) \frac{\sqrt{1 + (Y'(x))^2}}{V} dx, \quad (3)$$

де  $x_1$  і  $x_2$  - абсциси точок початку і кінця руху.

В силу залежності (1) вираження (3) представляє собою інтегральне рівняння, рішення якого в загальному вигляді не представляється можливим. В зв'язі з цим, необхідно додатково ввести ряд модельних обмежень.

Будем рассматривать лишь эвакуацию населения автотранспортом, осуществляемую силами специальных подразделений (т.е. предполагается наличие защиты органов дыхания у водителя). Кроме того, сделаем допущение о независимости скорости движения автосредства от параметров маршрута и о равнинном рельефе в рассматриваемой области. В этом случае скорость эвакуации будет постоянной в пределах однородных участков. Данная постановка задачи включает в виде частного случая возможность рассмотрения эвакуации по существующей сети дорог.

При этом выражение (3) содержит время  $t$ , которое может быть выражено через  $x$  в виде

$$t(x) = \int_{x_1}^x \frac{\sqrt{1 + (Y'(x))^2}}{V(x, Y(x))} dx. \quad (4)$$

Рассмотрим процедуру нахождения ингаляционной токсодозы при эвакуации населения из зоны поражения, образованной мгновенным приповерхностным выбросом АХОВ и распространением первичного облака над равнинной местностью (данная ситуация может иметь место при разгерметизации железнодорожной цистерны, перевозящей АХОВ). В этом случае динамика концентрации АХОВ будет описываться выражением [10]

$$q(x, y, z, t) = \frac{m}{4(\pi t)^{3/2} \sqrt{a_x a_y a_z}} \times \exp \left[ -\frac{(x - v_x t)^2}{4a_x t} - \frac{(y - v_y t)^2}{4a_y t} - \frac{(z - v_z t)^2}{4a_z t} \right], \quad (5)$$

где  $m$  – масса выброса;  $a_x, a_y, a_z$  – коэффициенты турбулентной диффузии;  $v_x, v_y, v_z$  – компоненты вектора  $\vec{v}$  скорости ветра в глобальной системе координат OXYZ. При этом под скоростью  $v_z$  подразумевается скорость осаждения (для тяжелого АХОВ).

Сориентируем ось  $OX'$  локальной системы координат вдоль скорости ветра. Тогда  $v_{x'} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ , а  $v_{y'} = 0$ . Полагая [11]  $a_x = a_y = a_z = a$ , для наземной концентрации (при  $z = 0$ ) получим

$$q(x, y, t) = \frac{m}{4(\pi ta)^{3/2}} \exp \left[ -\frac{(x - v_x t)^2 + y^2 + (v_z t)^2}{4at} \right]. \quad (6)$$

Задавая уровень концентрации  $q = Q$  [12], из (6) можно найти явное уравнение  $Y_Q(x)$  контура зоны поражения в виде

$$Y_Q^\pm = \pm \sqrt{-v_z^2 x^2 - 2 \ln \left( \frac{16Q^2 (\pi x a / v_x)^3}{m^2} \right) a v_x x} / v_x. \quad (7)$$

Осуществляя обратный переход в глобальную систему координат, получим параметрическое уравнение контура  $U$  зоны поражения в виде

$$U = \begin{cases} X = x_0 + x \cos \phi + Y_Q^\pm \sin \phi; \\ Y = y_0 - x \sin \phi + Y_Q^\pm \cos \phi, \end{cases} \quad (8)$$

где  $\phi = \arctg(-v_y, v_x)$ ;  $(x_0, y_0)$  - координаты точки выброса.

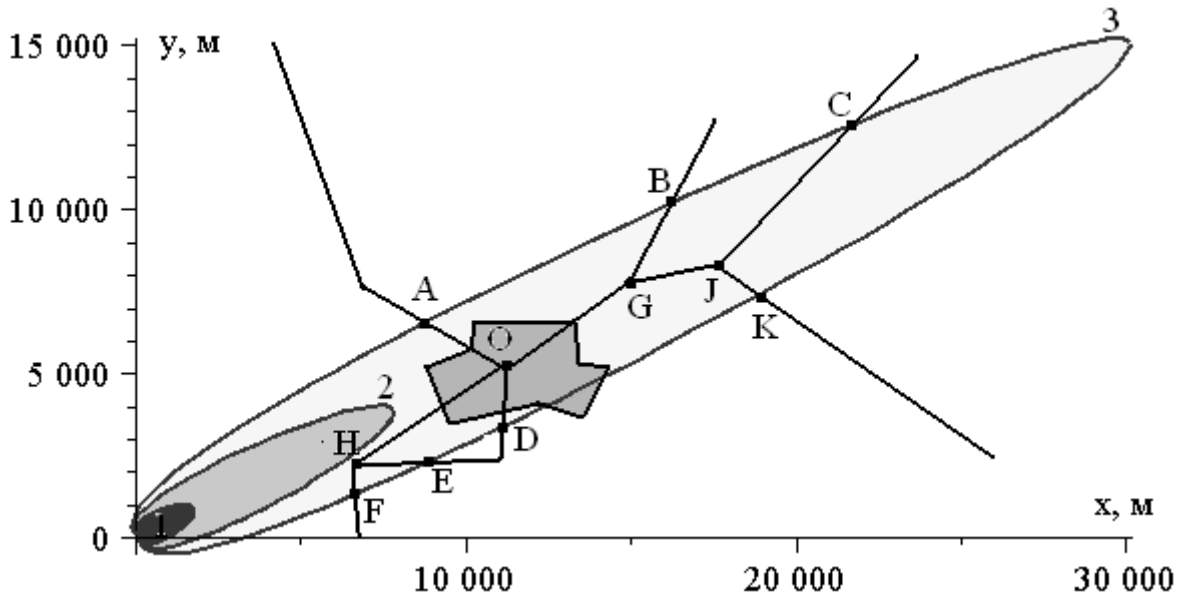


Рис. – Изображение зоны заражения и план эвакуируемого населенного пункта и сети автодорог

На рис. представлен расчет зоны поражения при разгерметизации 60-тонной ж/д цистерны с хлором при слабом юго-западном

---

Нахождение оптимального маршрута эвакуации населения по существующей сети автодорог

ветре  $\vec{v}(0.2, 0.1)$ . При этом полагалось, что  $\alpha = 10 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $v_z = -0.01 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ . Цифрами на рисунке обозначены: 1- граница зоны летальной концентрации ( $10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ); 2- граница зоны с возможным временем пребывания до 20 мин ( $10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ); 3- граница зоны предельно допустимой концентрации ( $10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ).

Дальнейшие действия предполагают выполнения следующих этапов:

1. Получение всех возможных маршрутов движения в виде остоного дерева графа [13].
2. Получение параметрических уравнений каждого из маршрутов согласно процедуре, описанной в [14].
3. Нахождение точек пересечения маршрутов и границы ПДК, заданной в виде (8) путем решения систем уравнений.
4. Получение явных уравнений для каждого из прямолинейных участков маршрута движения.
5. Вычисление ингаляционных токсодоз для каждого из маршрутов согласно (3), (4).
6. Отыскание среди множества маршрутов такого, ингаляционная токсодоза, получаемая при движении вдоль которого, является минимальной.
7. В случае непревышения минимальной токсодозой порогового значения, выбор данного маршрута в качестве оптимального для проведения эвакуации.

Достоинством предлагаемой процедуры является возможность ее реализации в рамках ГИС (при наличии электронных карт местности), что обеспечивает оперативность нахождения оптимального маршрута эвакуации.

**Выводы.** Анализ литературы продемонстрировал отсутствие моделей, которые позволяют найти оптимальные маршруты эвакуации в результате распространения области ЧС, поэтому проблема является актуальной и требует решения. Предложена процедура нахождения оптимального маршрута эвакуации населения по сети автодорог в случае угрозы поражения аварийно химически опасными веществами с возможностью ее реализации в рамках ГИС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические тре-

- бования. Обозначение: ГОСТ Р 22.9.05-95. - ГОСТ Р 22.9.05-95. [Дата введения 1996-07-01]. – М. : Государственный стандарт РФ, 1996.
2. Про єдину державну систему запобігання і реагування на НС техногенного та природного характеру. Постанова КМУ № 1198, 1998 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1198-98-%EF>
  3. Концепція захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій. Указ Президента України, 1999 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/txt/?doc=laws/laws/law284\\_99](http://www.mns.gov.ua/txt/?doc=laws/laws/law284_99)
  4. Про затвердження Положення про порядок проведення евакуації населення у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Постанова КМ України N 1432, 2001 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/КР011432.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/КР011432.html)
  5. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Учебное пособие / Под ред. Фалеева М.И. - Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. – 259 с.
  6. Абрамов Ю.А. Математическая модель зоны уязвимости объекта «заботы» поражающими факторами чрезвычайной ситуации. / Ю.А. Абрамов, О.А. Тарасенко // Пожежна безпека. Вип. 14. – Львів: АБЖ, 2009. – С. 67-73.
  7. Глушкова В.В. Оптимизация процесса эвакуации населения в случае радиационной аварии / В.В. Глушкова, А.А. Седлецкий, Д.А. Седлецкий // Математические машины и системы. – 1998. - №1.– С. 89-94.
  8. Косоруков О.А. Управляющая система проведения эвакуации из крупных городов на основе комплекса оптимизационных математических моделей / О.А. Косоруков, А.И. Овсяник, О.В. Виноградов // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: КГТУ. – 2006. - №6. – С. 163-169.
  9. Беляев В.Ю. Пути повышения эффективности эвакуации населения при чрезвычайных ситуациях. / В.Ю. Беляев // Проблемы чрезвычайных ситуаций. Вып. 12. – Харьков: НУГЗУ, 2010. – С. 37-43.
  10. Басманов А.Е. Математическая модель диффузии паров опасных химических веществ в воздухе. / А.Е. Басманов, С.С. Го-

- валенков // Проблеми надзвичайних ситуацій. Вип.8. – Харків: УЦЗУ, 2008. — С. 29-39.
11. Замай С.С. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города./ С.С. Замай, О.Э. Якубайлик: Учеб. пособие / Краснояр. гос. ун-т. Красноярск, 1998. – 109 с.
  12. Беспмятное Г.П. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. / Г.П. Беспмятное, К.К. Богущевская, А.В. Беспмятнова, Ю. А. Кротов, Л. А. Зеленская, В. Ф. Плехоткин, Г. Г, Смирнов // Изд. 2-е, пер. и доп. Л., «Химия», 1975.- 456 с.
  13. Алексеев В.Е. Графы. Модели вычислений. Структуры данных / В.Е. Алексеев, В.А. Таланов. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. - 307 с.
  14. Тарасенко О.А. Математичне моделювання вихідних параметрів областей надзвичайних ситуацій. / О.А. Тарасенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. Вип. 8. – Харків: УЦЗУ, 2008. – С. 185-193.

Беляев В.Ю., Тарасенко О.А., Туркін І.Б.

**Знаходження оптимальних маршрутів евакуації населення по існуючій мережі автошляхів**

Запропоновано процедуру знаходження оптимального маршруту евакуації населення по мережі автодоріг у разі загрози ураження аварійно хімічно небезпечними речовинами з можливістю її реалізації в рамках ГІС.

**Ключові слова:** евакуація населення, маршрути евакуації, токсодоза, аварійно хімічно небезпечні речовини

Belyaev V.U., Tarasenko O.A., Turkin I.B.

**Finding an optimal escape routes population on the existing road network**

A procedure is proposed for finding the optimal route for evacuation of the road network in the event of defeat emergency chemically hazardous substances (poisoning substances) with the possibility of its implementation in a GIS

**Key words:** population evacuation, evacuation routes, toxic dose, emergency chemically hazardous substances

*Бородич П.Ю., канд. техн. наук, викл., НУЦЗУ,  
Ковальов П.А., канд. техн. наук, заст. нач. каф., НУЦЗУ,  
Росоха С.В., д-р техн. наук, нач. фак., НУЦЗУ,  
Стрілець В.М., канд. техн. наук, нач. лаб., НУЦЗУ*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ РЯТУВАЛЬНИКІВ В ІЗОЛЮЮЧИХ ПРОТИГАЗАХ** (представлено д-ром техн. наук Яковлевою Р.А.)

Показано, що організація професійної діяльності газодимозахисників вимагає того, щоб обов'язково було враховано, що рівень підготовленості особового складу ГДЗС та екстремальність ситуації впливають на час виконання операцій, пов'язаних з рятуванням живих людей, фактично незалежно. При цьому нестандартна екстремальна ситуація різко не тільки погіршує результати виконання навіть добре відпрацьованих у ході підготовки спеціальних тактичних прийомів, але й призводить до суттєвого збільшення витрат повітря при роботі в апаратах на стисненому повітрі.

**Ключові слова:** газодимозахисник, екстремальна ситуація, рятування, операція, розподіл часу виконання

**Постановка проблеми.** Діяльність особового складу газодимозахисної служби (ГДЗС) МНС України є однією з найбільш складних та напружених, оскільки саме газодимозахисники безпосередньо виконують основні види бойової роботи (рятування людей, проведення розвідки, ліквідацію надзвичайних ситуацій, евакуацію найбільш дорогоцінного майна...) в непридатному для дихання середовищі. При цьому, на небезпеку для газодимозахисників впливають не тільки зовнішні фактори надзвичайної ситуації, але й автономні ізолюючі апарати, які вони використовують.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** показав, що є два основних напрямки, за якими відбувається дослідження роботи особового складу ГДЗС. По-перше, це дослідження [1,2,3] характеристик виконання типових операцій в ізолюючих апаратах без визначення тих особливостей, які є пов'язаними не тільки з роботою в непридатному для дихання середовищі. Достатньо ефективним для визначення практичних рекомендацій тут є підхід, в основі якого лежить аналіз розподілу часу виконання типових опе-

рацій [3]. Проте, в [4,5,6] відмічена необхідність враховувати фактори, які пов'язані з необхідністю концентрації уваги, швидкості та правильності прийняття рішення рятувальниками за умов дефіциту часу та інформації, емоціями негативного характеру, тощо.

По-друге, це дослідження того, як характеристики рятувальника, що є пов'язаними з мотивацією людини [7,8] або з її здатністю до ризику в найбільш небезпечних, екстремальних умовах [9], впливають на його діяльність. При цьому не враховувалось, що робота в ізолюючих апаратах вже сама по собі є небезпечною.

**Постановка завдання та його вирішення.** Виходячи з вищевикладеного для визначення особливостей роботи особового складу пожежно-рятувальних підрозділів МНС в ізолюючих апаратах під час проведення аварійно-рятувальних робіт були проаналізовані розподіли часових характеристик виконання операцій, які є характерними для екстремальної діяльності газодимозахисників.

У якості останніх було розглянуто роботу на висоті, в приміщеннях підвальних та цокольних поверхів, а також під час проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену (АРР СМ).

Найбільш точні закономірності могли б бути отримані за результатами статистичної оцінки конкретних випадків проведення рятувальних робіт. Проте, такий підхід дасть недостовірні результати у зв'язку з обмеженою вибіркою й труднощами виділення для аналізу окремих операцій безпосередньо в ході бойової роботи. Використовувати ж повномасштабні тренажери, такі, як, наприклад, у США [10], найближчим часом не буде можливим, оскільки він обійшовся міській владі Нью-Йорку більш ніж у 8 мільйонів доларів.

Тому нами використовувались такі способи фізичного моделювання як тактико-спеціальні навчання (ТСН), рішення тактичних завдань і виконання окремих операцій особовим складом оперативно-рятувальної служби. За рахунок того, що досить часто газодимозахисники виконують однотипні операції в схожих умовах, оцінка результатів виконання окремих операцій на ТСН й під час практичних занять у ході рішення тактичного завдання є інформативною.

У якості типових операцій, які виконуються газодимозахисниками на висоті, були обрані операції, які здійснює ланка ГДЗС у випадку порятунку потерпілих з вікна четвертого поверху, коли



шляхи підйому на відповідний поверх по маршовим драбинам є відрізнаними вогнем.

У зв'язку з останньою умовою ланка рухалась у вікно четвертого поверху по штурмовим драбинам, які підвішувались «ланцюгом». Особовий склад працював в ізолюючих апаратах. Перед особовим складом було поставлене завдання: провести відшукання та евакуацію постраждалих з четвертого поверху. При такій послідовності вирішення поставленого завдання обмеження, пов'язані з використанням чотирьохповерхової будівлі, істотно послаблюються, а отримані пропозиції можуть використовуватися і для підготовки ланок ГДЗС до робіт на поверхах, до яких не дістають існуючі автодрабини.

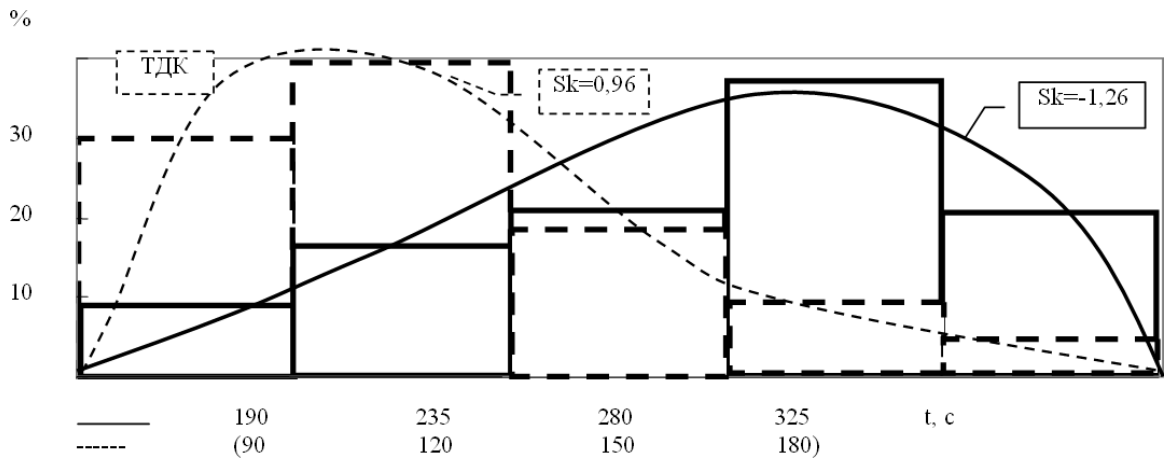


Рис. 1 – Розподіл часу підготовки ланки

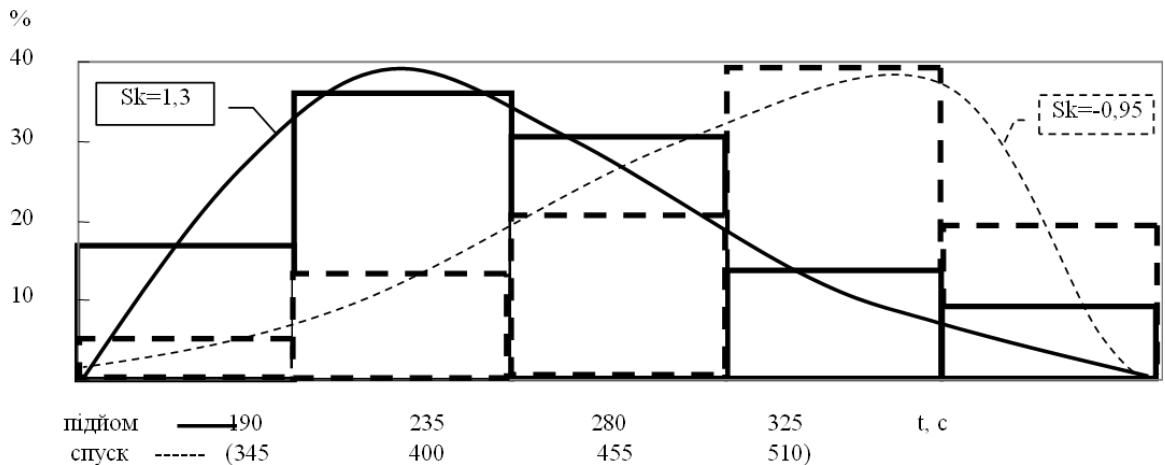


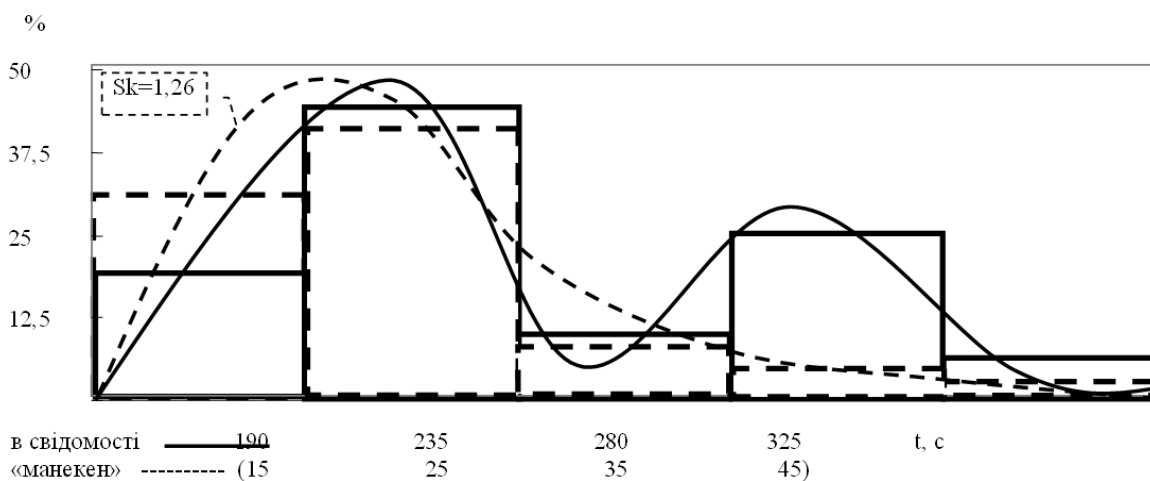
Рис. 2 – Розподіл часу підйому (спуску) ланки

Отримані експериментальні дані були оброблені за допомогою стандартних статистичних методів. Деякі з отриманих результатів визначення особливостей роботи рятувальників в ізолюючих протигазах

татів в узагальненому вигляді наведені на рисунках 1 ÷ 3. Аналіз отриманих результатів показав, що, як правило (виключення становив випадок, наведений на рис.3), розподіл часу виконання характеризується наявністю однієї вершини та скошеністю. За величиною показника останнього

$$Sk_j = \frac{1}{n \cdot G_j^3} \cdot \sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_j)^3, \quad (1)$$

(де  $n$  - число незалежних дослідів,  $x_{ji}$  - результат  $i$ -го вимірювання  $j$ -го параметру,  $\bar{x}_j$ ,  $G_j$  - відповідно оцінка його математичного очікування та середньоквадратичного відхилення) можна судити про рівень підготовленості особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, виходячи з того, що розподіл часу виконання операцій, до виконання яких рятувальники підготовлені добре, має позитивну скошеність, а до виконання яких недостатньо - негативну [10].



**Рис. 3 – Розподіл часу страховки потерпілого**

Відмічено, що серед тих операцій, на скорочення часу яких необхідно звернути особливу увагу, слід виділити підготовку ланки до роботи (оснащення її засобами страховки та рятування потерпілих, зв'язку, спеціальним озброєнням, виконання бойової перевірки та ін.). Розкид часу виконання цієї операції в ході експериментів по дослідженню особливостей роботи на висоті (див. суцільну лінію на рис. 1) був дуже великим (від трьох до семи з половиною хвилин), а сама операція, при всій її удаваній другоряд-

ності, займала до 20% тривалості рішення всього завдання в цілому. У той же час, коли особовий склад добре знає всі свої дії, пов'язані з підготовкою до роботи (підготовка ланки ГДЗС до роботи в теплодимоканалі), основна увага може бути приділена іншими операціями. Експерименти, у тому разі коли розглядалась робота в підвальних приміщеннях та в метрополітені, показали, що необхідно підвищити увагу підготовці постового на посту безпеки, розширенню його обов'язків на початковому етапі роботи ланки.

Порівняння розподілів часу підйому ланки у вікно четвертого поверху (див. суцільну лінію на рис.2) і часу виконання завершальної операції розглянутого процесу (спуску з прибиранням драбин) (див. штрихових лінію на рис.2) показало: у першому випадку скошеність розподілу була позитивною (це свідчить про те, що кожний, хто брав участь в експерименті, був досить координуваним, сильними і професійно підготовленим), а в другому - негативною. З огляду на це, можна зробити висновок про необхідність звернути особливу увагу на вдосконалення витривалості рятувальників.

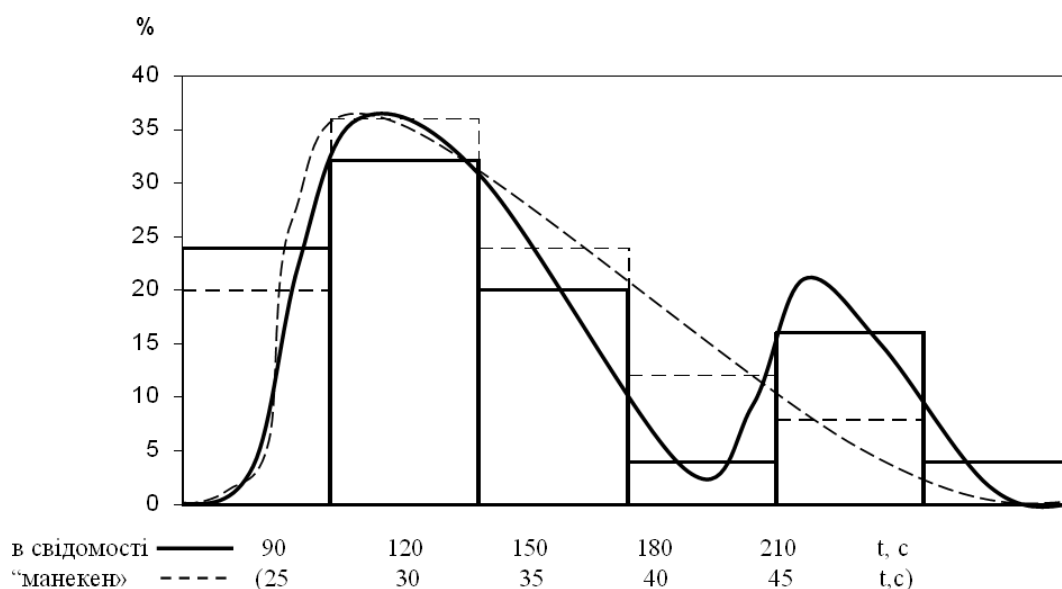
У той же час, окремо необхідно розглядати випадок (див. рис.3), коли рятувальники виконували екстремально-насичену операцію (страховка потерпілого у свідомості перед його спуском уздовж зовнішньої стіни багатоповерхового будинку за допомогою рятувальної мотузки).

Зокрема, характерною особливістю розподілу часу виконання психологічно насичених операцій (зв'язування рятувальної петлі на людині, яка після цього буде евакуюватися за допомогою рятувальної мотузки вздовж зовнішньої стіни) добре підготовленим особовим складом (норматив виконання аналогічної операції, розподіл часу здійснення якої наведено штриховою лінією на рис.3, більшістю рятувальників відпрацьовується на добру й відмінну оцінку) є наявність двох вершин (див. суцільну лінію на рис.3). Аналіз отриманих результатів показав, що у деяких піддослідних (близько 10-20%) нестандартна екстремальна ситуація різко погіршує результати виконання навіть добре відпрацьованих у ході підготовки спеціальних тактичних прийомів, не кажучи вже про ті операції, порядок виконання яких доведеться обирати самостійно, виходячи з конкретної обстановки.

Аналогічна ситуація мала місце і в тому випадку, коли ми розглядали роботу газодимозахисників в підвальних та цокольних поверхах будівель. Для імітації умов, характерних для роботи осо-

бового складу ГДЗС, використовувалася гарнізонна теплодимокамера, яка складається з ділянок, що дозволяють моделювати діяльність газодимозахисників. За допомогою димової шашки забезпечувалась висока концентрація диму і, відповідно, обмежена видимість. Через динаміки відтворювався шум, властивий пожежі (обвалення конструкцій, крики потерпілих і тому подібне).

За умов ввідної пожежа охопила приміщення в підвалі будинку. Перед особовим складом стояла задача провести розвідку та після виявлення в одному з приміщень потерпілого, роль якого виконував манекен, винести його на свіже повітря. Залежно від вказівок керівника експерименту виносився як безпосередньо манекен, так і один з членів ланки. Отримані експериментальні результати показав, що в цьому випадку першочергового тренування вимагають операції, які вимагають доброї здатності орієнтуватись в просторі. Як і під час розгляду роботи газодимозахисників на висоті, із загальної сукупності розподілів виділявся розподіл часу виконання психологічно насиченої операції виносу «потерпілого в свідомості» по лабіринту (дивись суцільну лінію на рис.4). Видно, що і в цьому випадку у деяких бійців (порядку 10 %) нестандартна екстремальна ситуація різко погіршує результати виконання операцій, до яких вони, коли працюють без екстремального навантаження, підготовлені добре.



**Рис. 4 – Розподіл часу виносу потерпілого**

Проведені розрахунки, в основі яких лежало обчислення критерію Колмогорова, показали, що у тому разі, коли має місце дво-

поверховий розподіл, з 10%-вим рівнем значущості його можна представити у вигляді суми двох незалежних розподілів

$$f(t) = \begin{cases} \frac{(t - t_{1\min})^{\alpha_1 - 1} \cdot (t_{1\max} - t)^{\beta_1 - 1}}{(t_{1\max} - t_{1\min})^{\alpha_1 + \beta_1 + 1} \cdot B(\alpha_1, \beta_1)} & \text{при } t_{1\min} \leq t < t_{1\max}; \\ \frac{(t - t_{2\min})^{\alpha_2 - 1} \cdot (t_{2\max} - t)^{\beta_2 - 1}}{(t_{2\max} - t_{2\min})^{\alpha_2 + \beta_2 + 1} \cdot B(\alpha_2, \beta_2)} & \text{при } t_{1\max} = t_{2\min} \leq t \leq t_{2\max}; \\ 0 & \text{при } t \leq t_{1\min}, t \geq t_{2\max}. \end{cases} \quad (2)$$

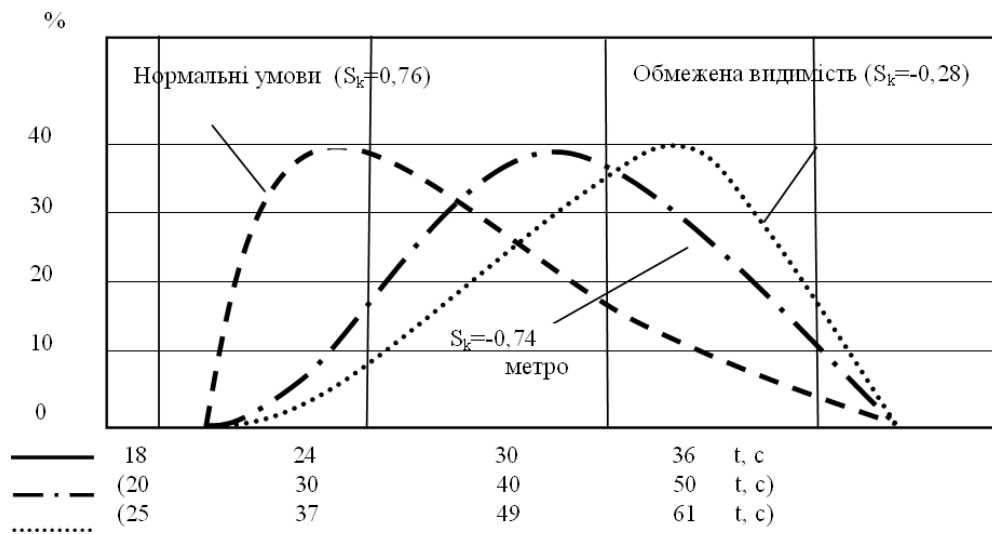


Рис. 5 – Розподіл часу приєднання рукава до пожежного крану

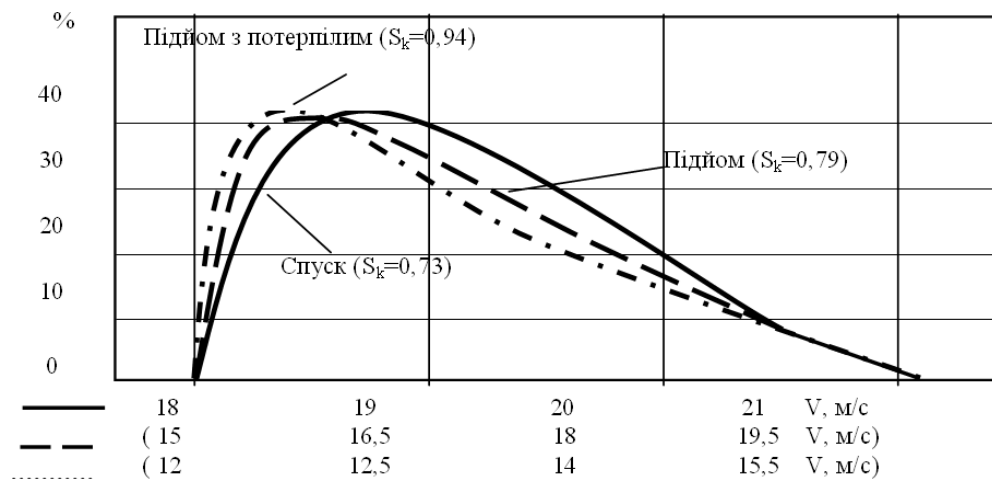


Рис. 6 – Розподіл швидкості руху по нерухомому ескалатору

де  $\alpha_{1(2)}, \beta_{1(2)}$  - параметри  $\beta$ -розподілів, що становлять загальний розподіл;  $B(\alpha_{1(2)}, \beta_{1(2)})$  - відповідні  $\beta$ -функції Ейлера;  $t_{1(2)\min}, t_{1(2)\max}$  - мінімальний та максимальний час виконання відповідної складової загального розподілу, с.

Це дозволяє вважати, що такі чинники, як підготовленість особового складу та екстремальність ситуації, впливають на час виконання психологічно насичених операцій, пов'язаних з рятуванням живих людей, фактично незалежно.

Під час експериментальних досліджень під час ТСН на станціях Харківського метрополітену поряд з відпрацюванням питань взаємодії пожежно-рятувальних підрозділів з іншими оперативними службами, вивчались закономірності виконання типових операцій газодимозахисниками.

Аналіз отриманих розподілів показав, що, з одного боку, розподіл часу виконання більшості операцій фактично не відрізнявся від аналогічних, коли вони розглядались під час роботи в підвальних та цокольних приміщеннях, з іншого боку, всі розподіли часу виконання типових операцій, характерних тільки для загального процесу АРР СМ, мають негативну скошеність (дивись, наприклад, рис.5, де наведено розподілу часу приєднання рукава до пожежного крану при виконанні цієї операції в різних умовах), а розподіли швидкості виконання - позитивну (дивись, рис.6). Порівняння показників скошеності розподілу часу приєднання рукава до пожежного крану (рис. 5) при виконанні цієї операції в різних умовах дозволяє говорити про необхідність у процесі підготовки рятувальників до АРР СМ використовувати спеціальні вправи для тренування координаційних якостей на тлі втоми.

Оскільки в Харківському гарнізоні газодимозахисники поміняли морально застарілі регенеративні дихальні апарати КИП-8, які виробили свій ресурс, на сучасні апарати на стисненому повітрі (АСП), основна увага в процесі дослідження була приділена аналізу можливостей останніх. Зважаючи на те, що конкретні конструкції ізолюючих апаратів принципово відрізняються друг від друга об'ємом балона (балонів), для узагальнення результатів експериментальної оцінки використовувався показник  $\omega_l$  легеневої вентиляції, розрахунок якого для кожного ( $i$ -го) газодимозахисника виконувався наступним чином

$$\omega_{li} = \frac{(P_{начі} - P_{коні}) \cdot V_{бі}}{P_a \cdot t_i}, \quad (3)$$

де  $P_{начі}$  й  $P_{коні}$  – відповідно початковий і кінцевий тиск у балоні, МПа;  $V_{бі}$  – об'єм балону, л;  $P_a \approx 0.1$  МПа – атмосферний тиск;  $t_i$  – розглянутий проміжок часу, хв.

Отримані розподіли значень витрати повітря по деяких видах робіт, що виконувались в АСП, наведені в [12].

При аналізі враховувалося те, що в науково-технічній і керівній літературі [13,14] наведені значення легеневої вентиляції, що відповідають виконанню робіт різного ступеня важкості. Проте, при цьому особливості витрати запасу газоповітряної суміші, пов'язані зі специфікою проведення АРР СМ (виконання важких робіт у поєднанні з високою психоемоційною напруженістю), не розглядалися. Так, при роботі в АСП рекомендується використовувати при проведенні розрахунків  $\omega_n = 30$  л/хв., коли рятувальники працюють у вітчизняних апаратах (АСП-2, АИР-317, АВІМ та ін.) або  $\omega_n = 40$  л/хв., коли використовуються закордонні (Дрегер, Ауэр та ін.), незалежно від характеру надзвичайної ситуації.

З отриманих результатів видно, що допустимий час виконання окремих операцій визначає не стільки показник легеневої вентиляції, що залежить від ступеня важкості конкретної роботи, скільки витрата повітря при роботі в АСП, що також залежить і від рівня психологічної підготовленості рятувальників.

**Висновки.** Нестандартна екстремальна ситуація у 10-20% газодимозахисників різко погіршує результати виконання навіть добре відпрацьованих у ході підготовки спеціальних тактичних прийомів. З 10%-им рівнем значимості можна вважати, що такі чинники, як підготовленість особового складу ГДЗС та екстремальність ситуації, впливають на час виконання психологічно насичених операцій, пов'язаних з рятуванням живих людей, фактично незалежно.

Витрати повітря при роботі в апаратах на стисненому повітрі залежать як від ступеня важкості конкретної роботи, так і від рівня психологічної підготовленості газодимозахисників.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н.С. Диденко – М.: Недра, 1984. – 296 с.
2. Грачев В.А. Управление профессиональной подготовкой пожарных на основе исследования закономерностей их физической работоспособности: автореф. дис. на соискание уч.степени канд. техн. наук: 05.01.04 «Эргономика» / В.А. Грачев – Москва, 2001. – 20 с.
3. Стрелец В.М. Особенности выполнения типовых операций, обеспечивающих проведение аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена / В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич, С.С. Беридзе // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2008. – №7. – С. 124-131.
4. Медведев В.И. Психологические реакции человека в экстремальных условиях / В.И. Медведев– М.: Наука, 1981. – 625 с.
5. Дутов В.И. Основные аспекты психофизиологического отбора в эмоциональной напряженности у людей на пожаре / В.И. Дутов // Безопасность людей при пожарах: Сборник научных трудов. – М., Стройиздат, 1994. – С.41-45.
6. Системный подход в инженерной психологии и психологии труда : [сб.статей Рос. акад. наук, Инст. психологии / отв.ред. Бодров В.А. и Венда В.Ф.]. – М.: Наука, 1992. – 156 с.
7. Марьин М. Психологические и социальные проблемы работы пожарных / М. Марьин, С. Ловган // Пожарное дело. – 1994. – N 3. – С.44-47.
8. Самонов А.П. Психологическая подготовка пожарных / А.П. Самонов– М.: Стройиздат, 1987. – 167с.
9. Дутов В.И. Психофизиологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре / В.И. Дутов, И.Г. Чурсин– М.: Стройиздат, 1993. – 231с.
10. Explosion im Dorfkern // Pirchl Christoph. Schweiz.Feuerwehr – Ztg. - 2005, 131, № 2. - P. 53-54.
11. Абрамов Ю.А. Имитационная оценка деятельности боевых расчетов пожарных автомобилей / Ю.А. Абрамов, В.Н. Чучковский, В.М Стрелец // Эргономика на автомобильном транспорте: Сб. науч. тр. – Харьков, ХГАДТУ, 1997. – С. 92-95.
12. Стрелец В.М. Закономерности работы спасателей в изолирующих аппаратах при проведении работ на станциях метропо-



литена / В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич // Проблеми надзвичайних ситуацій – 2006 – № 3. – С.48-57.

13. Respiratory protective devices. Self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus with full face mask. Requirements, testing, marking: BS EN137:2006 – Режим доступу:  
[http://www.standardsdirect.org/standards/standards2/StandardsCatalogue24\\_view\\_17935.html](http://www.standardsdirect.org/standards/standards2/StandardsCatalogue24_view_17935.html)
14. Настанова по газодимозахисній службі пожежної охорони МВС України: Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. – Київ, 1994. – 128 с. – (Нормативний документ МНС України. Настанова)

Бородич П.Ю., Ковалев А.А., Росоха С.В., Стрелец В.М.

#### **Определение особенностей работы спасателей в изолирующих противогазах**

Показано, что организация профессиональной деятельности газодымозащитников требует того, чтобы обязательно учитывалось то, что уровень подготовленности личного состава ГДЗС и экстремальность ситуации влияют на время выполнения операций, связанных со спасением живых людей, фактически независимо. При этом нестандартная экстремальная ситуация не только резко ухудшает результаты выполнения даже хорошо отработанных в ходе подготовки специальных тактических приемов, но и приводит к существенному увеличению расхода воздуха при работе в аппаратах на сжатом воздухе.

**Ключевые слова:** газодымозащитник, экстремальная ситуация, спасение, операция, распределение времени выполнения

Borodich P.Y., Kovalyov P.A., Rosoha S.V., Strelec V.M.

#### **Defining features of rescuer in SCBA**

It is shown that the organization of professional SCBA-rescuers demands that must consider the fact that their level of preparedness and emergency situations affecting the duration of the operations related to the preservation of living people who actually matter. This custom extreme situation not only severely aggravates the execution results, even well-established during the preparation of special tactics, and leads to a significant increase in air flow when operating in SCBA.

**Key words:** SCBA-rescuer, extreme situation, rescue, operation, distribution of the runtime

УДК 331.101

*Васильев М.В., адъюнкт, НУГЗУ,  
Стрелец В.М., канд. техн. наук, нач. лаб., НУГЗУ,  
Тригуб В.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАБОТЫ СПАСАТЕЛЕЙ В СРЕДСТВАХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ТИПА**

(представлено д-ром техн. наук Соловьев В.В.)

Показано, что распределения времен проведения типовых операций при работе спасателей в комплексе средств индивидуальной защиты первого типа характеризуются нормальным законом, тогда как второго –  $\beta$ -распределением. Отмечено, что время облачения в изолирующий костюм в зависимости от количества тренировочных попыток меняется по экспоненциальному закону.

**Ключевые слова:** комплекс средств индивидуальной защиты, распределение времени выполнения, типовые операции

**Постановка проблемы.** Проведение аварийно-спасательных работ в эпицентре чрезвычайных ситуаций с выбросами опасных химических веществ требует того, чтобы спасатели первой категории, входящие в состав специальных подразделений, использовали комплекс средств индивидуальной защиты (КСИЗ) первого типа [1]. При этом КСИЗ 1-го типа существенно [2] отличается от КСИЗ второго типа, в котором работает личный состав пожарно-спасательных подразделений в качестве газодымозащитников [3]. Вследствие этого закономерности выполнения работ в КСИЗ 1-го типа имеют ряд особенностей, которые надо учитывать как при планировании и оценке всего комплекса работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций, так и в процессе подготовки спасателей, например, для обоснования соответствующих нормативов оценки качества выполнения отдельных операций и процессов.

**Анализ последних исследований и публикаций** показал, что к настоящему времени разработан научно-методический аппарат имитационного моделирования экстремальной деятельности [4,5] и обоснования нормативов [6,7] для оценки уровня подготовленности спасателей при выполнении, как операций, так и процессов, которые составляют общий комплекс аварийно-

спасательных работ. Он опирается на оценки распределения времен выполнения операций и процессов.

В частности, в [7,8] показано, что распределения времен выполнения, как операций, так и процессов оперативно-диспетчерским персоналом имеют нормальное распределение. Работа пожарных, а в наихудшем случае они работают в КСИЗ 2-го типа [3], рассматривалась в [6,8], где отмечено, что для описания распределения времени выполнения отдельных операций, а также простых процессов (которые содержат совокупность, не превышающую пяти отдельных операций) целесообразно использовать  $\beta$ -распределение, а для всех более сложных процессов – нормальное. В [9], где рассматриваются особенности проведения аварийно-спасательных работ в метрополитене, показано, что без потери точности вместо  $\beta$ -распределения времени выполнения отдельных операций можно использовать смещенное распределение Эрланга.

Однако при этом особенности выполнения отдельных операций и процессов, связанные с тем, что личный состав вынужден обеспечить свою безопасность для работы в условиях, которые существенно отличаются от наихудших условий пожара [2] (выполнение эмоционально насыщенных работ в изолирующих костюмах, которые достаточно сильно сковывают движение спасателей; использование изолирующих средств индивидуальной защиты органов дыхания с повышенными герметичными свойствами; более низкая подготовленность спасателей по сравнению с газодымозащитниками, связанная с тем, что рассматриваемые ситуации возникают значительно реже пожаров...), не рассматривались.

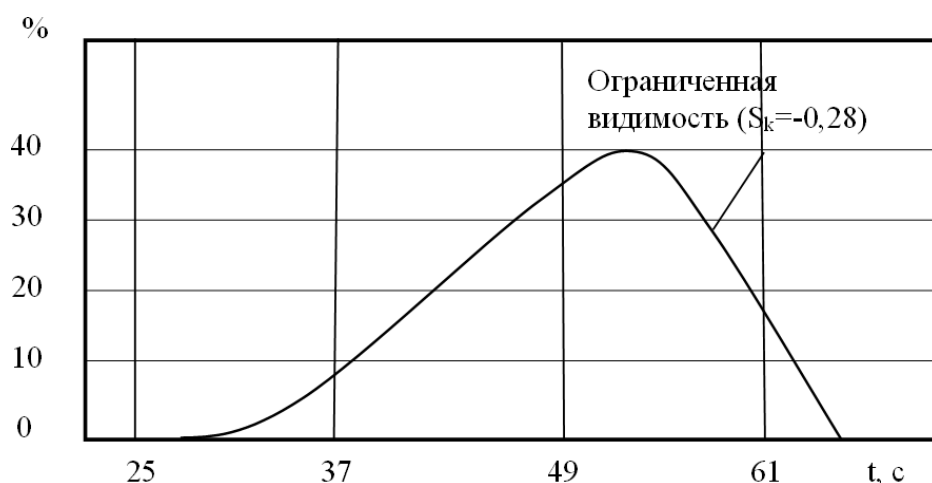
**Постановка задачи и ее решение.** Исходя из этого, поставлена задача сравнительной оценки того, как отличаются распределения времен выполнения типовых операций и процессов, используемых спасателями в КСИЗ первого типа при проведении работ вблизи от очага чрезвычайной ситуации с выбросом опасных химических веществ, от тех, которые имеют место в случае работы личного состава газодымозащитной службы (работают в КСИЗ второго типа).

Результаты экспериментальных исследований, в которых принимали участие испытуемые из числа курсантов Национального университета гражданской защиты Украины и Учебного центра оперативно-спасательной службы гражданской защиты МЧС Украины, показали, что имеют место существенные отличия.

Так, закономерности выполнения типовых операций газоды- мозащитниками описываются с помощью  $\beta$ -распределения. На- пример, распределение времени присоединения рукава к пожар- ному крану в условиях ограниченной видимости (см.рис.1) имеет вид

$$\begin{aligned} \beta(x, \alpha, \beta) &= \frac{1}{B(\alpha; \beta)} \int_0^x x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dy = \\ &= \frac{1}{B(2.89; 2.01)} \int_0^x x^{4.89} (1-x)^{1.01} dy. \end{aligned} \quad (1)$$

Параметры распределения (1)  $\alpha=2.89$  и  $\beta=2.01$  в рамках ста- тистической погрешности с уровнем значимости 0,05 можно счи- тать равными тем, которые приведены в [9].



**Рис. 1 – Распределение времени присоединения рукава к пожарному крану**

Аналогичная ситуация имеет место и в случае, когда рассматривается скорость движения газоды-мозащитников [9]. На- пример, на рис.2 приведены распределения скорости движения газоды-мозащитников при проведении аварийно-спасательных ра- бот в метрополитене.

В то же время, исследования временных характеристик вы- полнения типовых операций применительно к работе в КСИЗ 1-го типа (см. рис.3, 4) показали, что с уровнем значимости  $\alpha=0,05$  они могут описываться нормальным распределением. Это объясняется тем, что показатель скошенности распределений близок к нулю

(распределения являются фактически симметричными, несмотря на то, что первоначальные гистограммы таковыми не казались), а время выполнения операции (скорости движения) является непрерывной случайной величиной.

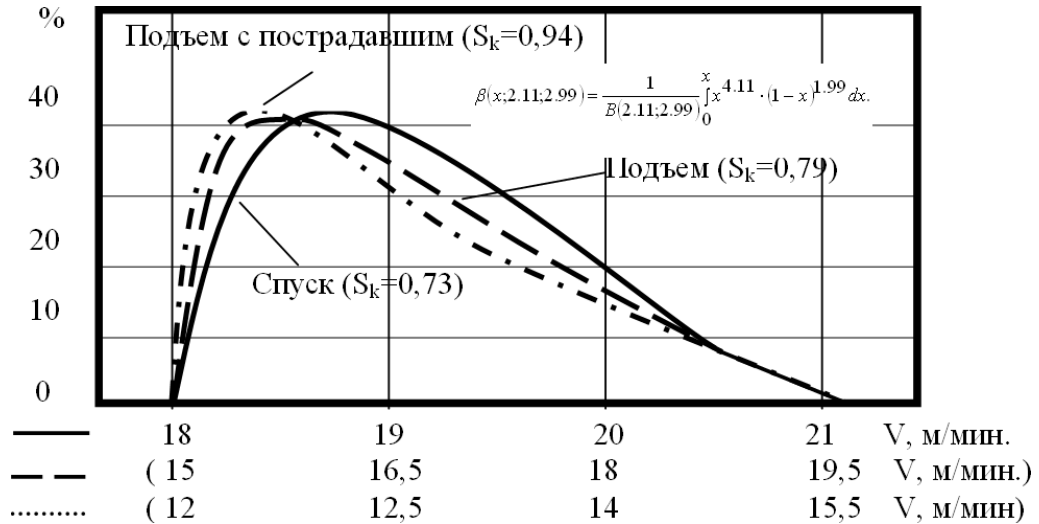


Рис. 2 – Распределение скорости движения газодымозащитников в метрополитене

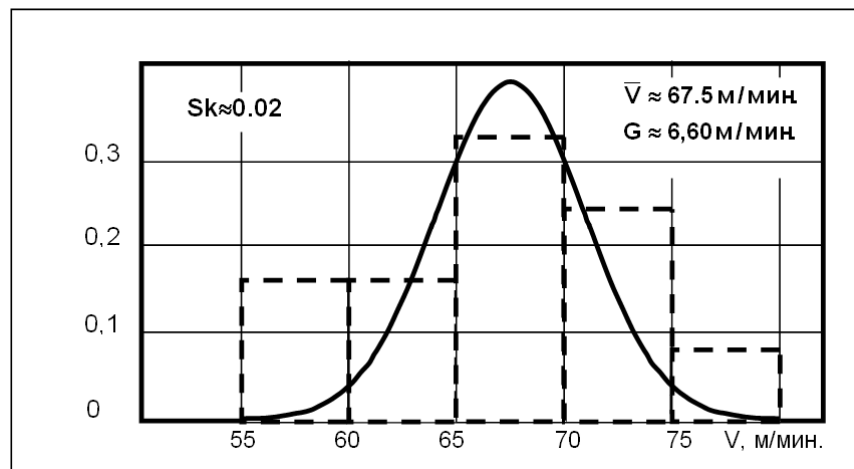
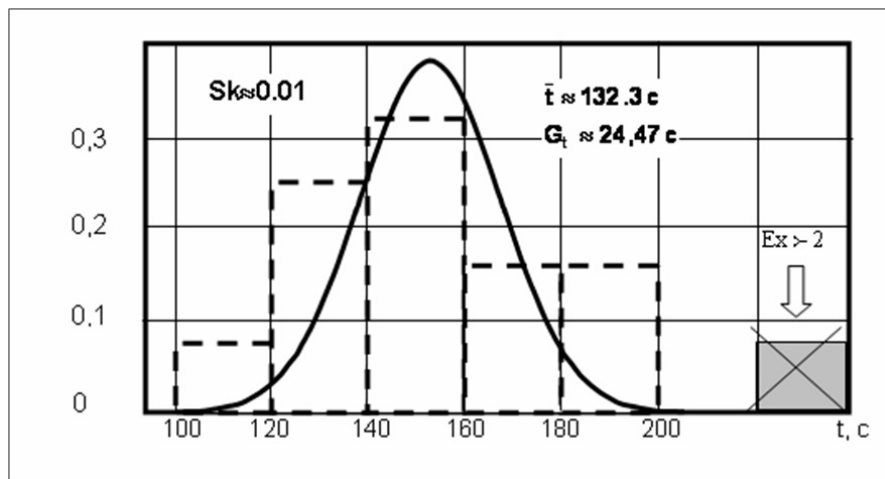


Рис. 3 – Распределение скорости движения спасателей в КСИЗ 1 типа

При этом необходимо обратить внимание на то, что могут иметь место (см. рис. 4) случаи, когда появляются результаты, которые могут существенно отличаться в худшую сторону от общего массива. Свидетельством их разнородности является то, что эксцесс общего распределения  $Ex \approx 2,3$  больше показателя «двух». Эти

Сравнительный анализ закономерностей работы спасателей в средствах индивидуальной защиты первого и второго типа

результаты, естественно, должны быть исключены при оценке параметров нормального распределения. В то же время, они должны учитываться в случае выработки прогнозных управленческих решений.



**Рис. 4 – Распределение времени присоединения рукава к пробоине**

Переход к нормальному распределению в последующем существенно упростит проведение имитационного моделирования процессов ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Особый интерес представил робинг (одевание изолирующего костюма с включением в средство индивидуальной защиты органов дыхания) комплекса средств индивидуальной защиты. Полученные экспериментальные результаты показали (см. рис. 5), что в ходе тренировок время облачения в изолирующий костюм в зависимости от количества  $n$  тренировочных попыток меняется по экспоненциальному закону независимо от того, был ли это КСИЗ 1 типа или изолирующий костюм (ИК) вместе с фильтрующим противогазом (ФП)

$$t = \bar{t}_{\text{гран}} + (\bar{t}_1 - \bar{t}_{\text{гран}}) \cdot e^{-\lambda(n-1)}, \quad (2)$$

где оценка математического ожидания, к которому приближается время робинга КСИЗ,

$$\bar{t}_{\text{сп}} = \begin{cases} 212 \text{ с} & \text{— при использовании КСИЗ первого типа;} \\ 181 \text{ с} & \text{— при использовании ИК с ФП;} \end{cases}$$

математическое ожидание времени робинга КСИЗ в первой попытке

$$\bar{t}_1 = \begin{cases} 657 \text{ с} & \text{— при использовании КСИЗ первого типа;} \\ 545 \text{ с} & \text{— при использовании ИК с ФП;} \end{cases}$$

параметр экспоненциального распределения

$$\bar{\lambda} = \begin{cases} 0,76 & \text{— при использовании КСИЗ первого типа;} \\ 0,85 & \text{— при использовании ИК с ФП.} \end{cases}$$

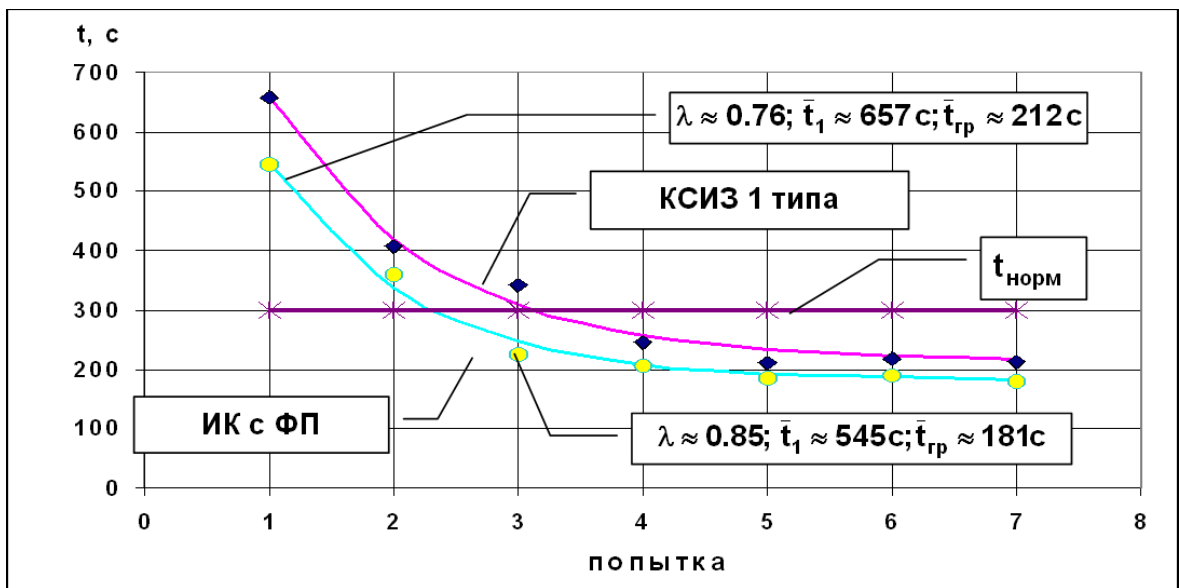


Рис. 5 – Робинг комплекса средств индивидуальной защиты

Это позволяет, учитывая требования нормативных документов [10] о том, что время одевания изолирующего костюма не должно превышать некоторого конкретного значения  $t_{норм}$ , определить то количество тренировочных попыток, после которого можно оценивать качество выполнения этой операции личным составом

$$n = \text{integer} \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{\bar{t}_1 - \bar{t}_{gp}}{t_{норм} - \bar{t}_{gp}} + 0,5 \right) = \begin{cases} 4 & \text{— при робинге КСИЗ первого типа;} \\ 3 & \text{— при робинге ИК с ФП;} \end{cases} \quad (3)$$

т.е. при робинге КСИЗ 1 типа оценивать спасателей можно после 4-х тренировочных попыток, а при робинге изолирующего костюма в комплекте с фильтрующим противогазом – трех.

### **Выводы:**

- несмотря на то, что распределения времен выполнения газодымозащитниками типовых операций, связанных с использованием пожарной техники, достаточно хорошо описывается  $\beta$ -распределением, для описания распределения времени выполнения спасателями простых операций, требующих работы в КСИЗ первого типа, целесообразно использовать нормальный закон;

- среди результатов, связанных с работой в КСИЗ первого типа, могут быть такие, которые существенно отличаются от остальных. Они должны учитываться в процессе планирования работ и прогнозирования результатов их выполнения;

- полученные после исключения «выбросов» параметры распределений целесообразно использовать для обоснования нормативов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования: ГОСТ Р 22.9.05-95. – [Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 20 июня 1995 г. №309]. – М.: Госстандарт, 1995. – 9 с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).
2. Стрілець В.М. Аналіз захисних властивостей засобів індивідуального захисту, які призначені для роботи в умовах викиду небезпечних хімічних речовин / В.М. Стрілець, М.В. Васильєв // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2010. – Вип. 1(23). – С.197-200.
3. Настанова по газодимозахисній службі пожежної охорони МВС України: Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. – Київ, 1994. – 128 с. – (Нормативний документ МНС України. Настанова)
4. Стрелец В.М. Имитационный анализ системы «человек-машина» как метод эргономической оценки функционирования аварийных служб / В.М. Стрілець // Радиоэлектроника и информатика: Научно-технический журнал. – 2001. – № 3(16) – Харьков, ХНУРЭ, 2001. – С.125-128.
5. Фокин Ю.Г. Оператор – технические средства: обеспечение надежности / Фокин Ю.Г. – М.: Воениздат, 1985. – 292 с.



6. Стрелец В.М. Статистический метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения./ В.М. Стрелец, Т.Б. Грицай // Право і безпека: Науковий журнал. – 2002. – Вип.1 – С. 165-171.
7. Ковалев П.А. Особенности обоснования комплексных нормативов для практических занятий / П.А. Ковалев, Р.А. Нередков, В.М. Стрелец // Проблемы надзвичайних ситуацій. – № 5. – Харків, Фоліо, 2006 – С. 129-133
8. Чуковский В.Н. Разработка методов обоснования штатной численности боевых расчетов пожарных автомобилей: дис. ... кандидата техн. наук: 21.06.02 / Чуковский Вячеслав Николаевич – Харьков, 1998. – 155 с.
9. Иванов В.Г. Особенности представления исходных данных для моделирования пожаротушения на станциях метрополитена с помощью аппарата Е-сетей / В.Г. Иванов, В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич // Проблемы пожарной безопасности. – № 14. – Харьков, АПБУ, 2003. – С. 177-182.
10. Специальная защитная одежда пожарных изолирующего типа. Общие технические требования. Методы испытаний: НПБ 162-97 – [Принят и введен в действие приказом ГУ ГПС МВД России от 25.12.1999 №101]. – М., МВД РФ, 1999. – 47 с.

Стрелець В.М., Тригуб В.В., Васильєв М.В.

**Порівняльний аналіз закономірностей роботи рятувальників в засобах індивідуального захисту першого та другого типу**

Показано, що розподіли часів проведення типових операцій при роботі рятувальників в комплексі засобів індивідуального захисту першого типу характеризуються нормальним законом, тоді як другого -  $\beta$ -розподілом. Відзначено, що час одягання в ізолюючий костюм в залежності від кількості тренувальних спроб змінюється за експоненціальним законом.

**Ключові слова:** комплекс засобів індивідуального захисту, розподіл часу виконання, типові операції

Strelec V.M., Trigub V.V., Vasil`ev M.V.

**Comparative analysis of patterns of rescuers in custom-tailored means of protecting the first and second type**

Shown that the time distribution of the standard operations for rescue work in the complex PPE of the first type are characterized by the normal law, while the second - by  $\beta$ -distribution. Noted that while putting on an insulating suit depending on the number of training attempts to change exponentially.

**Key words:** complex PPE, the distribution of run-time, types of operations

УДК.614.8

*Квітковський Ю.В., викл., НУЦЗУ,  
Стельмах О.А., заст. нач., НМЦ НЗ МНС України*

## **ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО РУХУ ЛЮДЕЙ У НАПРЯМКУ ЗАХИСНИХ СПОРУД**

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

У статті наводиться загальні передумови щодо створення, у першому наближенні, математичної моделі для визначення оптимального руху людей у стиснутому просторі

**Ключові слова:** захист, сховище, небезпечні фактори, комплексна надзвичайна ситуація, оцінка, евакуація

**Постановка проблеми.** Як вже зазначалося раніше [1], на території України розташована велика кількість промислових підприємств, третина з яких відноситься до хімічно-потенційно небезпечних об'єктів. Станом на 2009 рік до складу хімічного комплексу промисловості в Україні входило близько 1.3 тис. об'єктів. Частка хімічного комплексу в промисловості України становить:

- з випуску продукції – біля 7%;
- чисельності персоналу – біля 5%;
- вартості основних фондів – біля 9%.

Питома вага хімічної промисловості у продукції хімічного комплексу складає близько 70%, а нафтохімічної – більше 23%. У 2009 році на підприємствах хімічного комплексу було накопичено та використовувалось біля 440 тис. тонн небезпечних хімічних речовин (НХР). [2]. При цьому більшість підприємств усіх галузей хімічної промисловості України працює на морально застарілому обладнанні. Виробництво на цих підприємствах супроводжується утворенням великої кількості відходів та побічних продуктів, які не утилізуються, а складаються у відвалах та захороненнях [3-9].

До найбільш поширених шкідливих сильнодіючих отруйних речовин відносяться: аміак, хлор, двоокис азоту, акрилонітрил, сірковий ангідрид, концентровані азотна та сірчана кислоти, фосген, бензол, метанол, карбамідо-аміачні суміші, їдкий натрій, формалін та інші.

Важливе значення має розподіл хімічно-потенційно небезпечних об'єктів за ступенями їх хімічної небезпеки. За цією характе-

ристиккою хімічно небезпечні об'єкти (ХНО) розподіляють на чотири ступені.

До I ступеня входять об'єкти, якщо в зоні можливого хімічного зараження від кожного з них мешкає більше 3,0 тисяч осіб. В зоні можливого хімічного зараження об'єктів II ступеня хімічної небезпеки мешкає від 0,3 до 3,0 тис. осіб. Зона можливого хімічного зараження об'єктів III ступеня поширюється на територію, на якій мешкає від 0,1 до 0,3 тис. осіб. Якщо загроза розповсюджується на територію, де мешкає менше 0,1 тис. осіб, то такий об'єкт відноситься до IV ступеня хімічної небезпеки [2].

У таблиці 1 наведені показники хімічно небезпечних об'єктів, що розміщені на критично навантажених територіях України, на яких функціонує найбільша кількість потенційно хімічно небезпечних підприємств.

До найбільш небезпечних територій України відносяться наступні критично навантажені області: Донецька, Дніпропетровська, Луганська та Харківська області. Такий висновок можна зробити, виходячи з того, що в перелічених чотирьох областях розташовано 512 потенційно хімічно небезпечних підприємств, тобто більше 40 % їхньої загальної кількості в Україні [2].

**Таблиця 1 – Окремі показники, які характеризують потенційно небезпечні хімічні підприємства України та їхнє територіальне розміщення (критично навантажені території)**

Регіони	Кількість ХНО (одиниць)					Кількість НХР (тис. тонн)			
	Всього	У тому числі				Всього	У тому числі		
		I	II	III	IV		Хлор	Аміак	Інші
Дніпропетровська обл.	122	12	32	15	63	78.00	0.962	42.814	34.220
Донецька обл.	183	31	37	33	82	55.85	0.794	28.276	26.784
Луганська обл.	104	7	14	14	69	33.28	0.081	18.271	14.924
Харківська обл.	103	2	1	23	77	21.26	1.463	17.022	2.771
<b>ВСЬОГО</b>	<b>512</b>	<b>52</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>291</b>	<b>188.4</b>	<b>3.3</b>	<b>106.4</b>	<b>78.7</b>

Особливої уваги заслуговує те, що на об'єктах, які розміщені на критично навантаженій території, використовується 188,4 тис. тонн небезпечних хімічних речовин. Середнє навантаження на кожну з перелічених областей по цьому показнику складає 47,1 тис. тонн.

Деякі показники потенційно небезпечних підприємств хімічного комплексу України в цілому наведені в таблиці 2.

Аналіз даних таблиці 2 свідчить, що в хімічному комплексі України налічується значна кількість потенційно небезпечних хімічних об'єктів – 1265 одиниць, які створюють велику загрозу для безпеки населення.

При цьому, 733 з 1265 об'єктів, тобто 58 % загальної кількості хімічно небезпечних підприємств України, розташовані на критично навантажених та навантажених територіях, до яких відносяться Дніпропетровська, Донецька, Луганська, Харківська, Одеська, Полтавська області та Автономна Республіка Крим.

**Таблиця 2 – Окремі показники, які характеризують потенційно небезпечні хімічні підприємства України**

Регіони	Кількість ХНО (одиниць)					Кількість НХР (тис. тонн)			
	Всього	У тому числі				Всього	У тому числі		
		I	II	III	IV		Хлор	Аміак	Інші
Критично навантажені території	512	52	84	85	291	188.39	3.3	106.4	78.7
Навантажені території	221	10	22	24	165	210.8	1.274	86.7	122.93
Помірно навантажені території	442	15	66	95	266	28.47	1.573	18.376	8.465
Легко навантажені території	90	7	10	34	39	10.34	2.137	0.42	7.783
Україна, всього	1265	84	182	238	761	438.04	8.284	211.88	217.877

Про потенційну загрозу для населення, яку створюють підприємства хімічного комплексу, свідчить також та обставина, що на підприємствах цього комплексу накопичена та використовується велика кількість хімічно небезпечних речовин – 438,04 тис. тонн. В тому числі 211,88 тис. тонн, тобто 48,3 % їхньої загальної кількості, припадає на таку сильнодіючу отруйну речовину як аміак. Всі ці хімічно небезпечні отруйні речовини становлять серйозну загрозу для життя та здоров'я великої кількості людей, а також для всього довкілля.

Масове ураження людей може відбутися, якщо при аварійному викиді небезпечної хімічної речовини утворюється осередок хімічного ураження. Головний уражаючий чинник – хімічне зараження приземного шару атмосфери. Можливо також зараження

водних джерел, ґрунту, рослинності тощо. Розміри осередку хімічного ураження залежать від об'ємів небезпечної речовини, що розлилася, характеру розливу (вільно, в піддон або обвалування), метеоумов, токсичності речовини і ступеня захищеності людей.

Укриття людей у захисних спорудах цивільного захисту дозволить забезпечити високий рівень їх захисту, тим більше, що в даному випадку йде мова про надзвичайну ситуацію, що повільно розвивається. Однією з важливих складових оптимального розташування таких споруд на місцевості є питання про безпеку руху людей убік захисних споруд в умовах обмеженого простору і великої кількості інших рухомих людей. Це особливо актуально для міської забудови, особливо для великих міст, що мають велику кількість будівель з масовим перебуванням людей і знаходяться на критично навантажених територіях.

Оскільки реальний експеримент вимагає значних витрат, а іноді як експериментальні дані можуть виступати лише наслідки НС, часом з трагічним результатом, виникає необхідність математичного моделювання руху людей, наприклад, з метою визначення якнайкращої геометрії простору, де передбачається скупчення людей, або визначення часу евакуації. Іншими словами, така модель дозволить оптимізувати розташування споруд цивільного захисту на місцевості.

При математичному моделюванні ситуацій, в яких активно діють люди, виникає проблема, що полягає в тому, що повний математичний опис поведінки окремо взятої людини на даному етапі розвитку науки не виявляється можливим, оскільки його дії визначаються дуже великою кількістю чинників, як раціональних, так і ірраціональних.

Проте поведінка великої групи людей в стандартній (не екстремній) ситуації піддається прогнозу і добре описується імовірнісним чином. Тут працює закон великих чисел: навіть якщо одна людина з якихось причин вирішить діяти нетривіально, її дії досить мало вплинуть на рух групи в цілому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У останні декілька років моделюванню руху людей було присвячено багато досліджень.

Аналіз існуючих робіт, навіть не вичерпний, показує, що в основному дослідження проводяться з використанням наступних двох підходів: безперервного (наприклад [10]) і дискретного (наприклад [11-13]).

Підхід [10] заснований на тому, що рух людей описується за допомогою системи  $N$  (кількість людей) диференціальних рівнянь (рух окремої людини підпорядкований другому закону Ньютона з складною правою частиною, що враховує сили взаємодії людини з іншими людьми і перешкодами). Такі моделі дозволяють враховувати масу і швидкість окремої людини. В середньому потрібно  $O(N^2)$  [14] обчислювальних операцій для одного тимчасового кроку.

Дискретний підхід [15] припускає дискретизацію простору і уніфікацію фізичних параметрів залучених в рух людей, проте відрізняється прозорістю правил ухвалення рішень на кожному тимчасовому кроці. Для одного тимчасового кроку в дискретній моделі потрібно  $O(N)$  операцій.

**Постановка завдання та його вирішення.** Хай простір (включаючи зовнішні стіни) є плоскою областю, розбитою на осередки  $40 \times 40$  см (це середній розмір, який займає людина в натовпі [12]), які можуть бути або вільними, або зайнятими тільки однією людиною (часткою)

$$f_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{занятий осередок } (i,j); \\ 0, & \text{вільний осередок } (i,j) \end{cases} \quad (1)$$

Також осередками можуть бути стіни і перешкоди (нерухомі)

$$w_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{осередок, зайнятий перешкодою } (i,j); \\ 0, & \text{вільний осередок } (i,j) \end{cases} \quad (2)$$

Геометрія даного простору (розташування стін, перешкод, виходів і т.д.) відома і відбита в так званій «карті місцевості» статичному полі  $S$  [12].

Воно дискретно, його розміри співпадають з розмірами простору, і кожен осередок  $S_{ij}$  поля  $S$  відображає дискретну відстань (найменшу) від цього осередку до найближчого виходу.

Початкове положення людей відоме. Метою пересування людей є найближча захисна споруда (притулок). На кожному тимчасовому кроці кожна частка може переміститися в один з чотирьох вільних на даний момент сусідніх осередків або залишитися на місці (околиця фон Неймана) - рис. 1,  $i,j = \{-1, 0, 1\}$ , тобто  $v_{max} = 1$ . Напрямок руху частки передбачається, взагалі, випадковим і визна-

чається на основі вірогідності переходів в кожному напрямі для кожної частки в кожен дискретний крок часу і набору правил переходів часток.

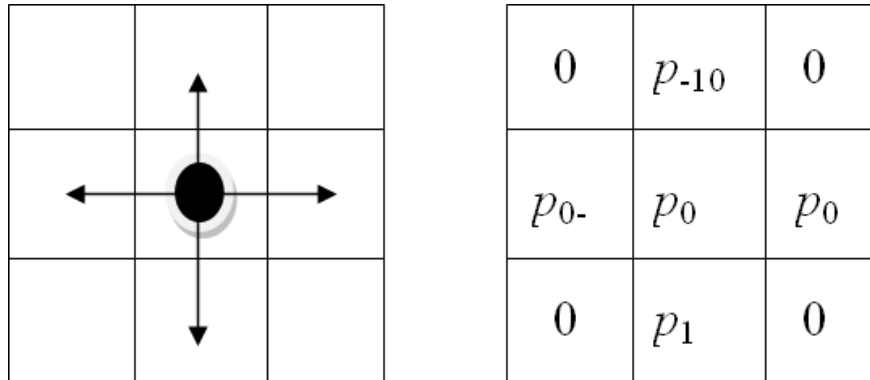


Рис. 1 – Цільві осередки для людини в наступний момент часу

Таким чином, метою даної публікації є визначення способу обчислення вірогідності і правил переходів часток у першому наближенні.

Склалася стандартна схема функціонування кліткових автоматів (КА) [16] при моделюванні руху людей: спочатку обчислюється перехідна вірогідність і розігруються напрями руху для кожної частки, потім відбувається вирішення конфліктів (якщо дві і більше частки виявилися претендентами на один осередок) і безпосередньо саме переміщення (одночасне для всіх часток).

Очевидно, що основною рушійною силою для часток, маючих на меті покинути приміщення, є мінімізація поля  $S$ . Причому відзначимо, що бажання рухатися до виходу не залежить від положення і поточної відстані до найближчого виходу. В той же час рух людей не може бути укладений в рамки руху неживих часток (наприклад, сипких матеріалів). У нормальних (не екстрених) умовах евакуації воно характеризується, як мінімум, наступними особливостями [14]:

- люди прагнуть уникати зайвого контакту один з одним і вибирають свої траєкторії так, щоб якомога менше зачіпати сусідів. Таке ж «відштовхування» (психологічне) відбувається і по відношенню до стін і інших перешкод. Із збільшенням щільності комфортна відстань зменшується;
- люди, рухаючись до мети, використовують як мінімум дві стратегії: мінімізувати довжину шляху та/або мінімізувати час шляху.

Таким чином, людина, рухаючись до мети, враховує інформацію і умови, що надаються навколишнім оточенням. Відповідно і модель повинна відтворювати (бажано максимально) ці особливості. У нашому випадку вони повинні враховуватися при розрахунку вірогідності переходів часток на кожному тимчасовому кроці і в правилах переходів.

Для здійснення аналізу навколишнього оточення в моделі вводиться радіус видимості  $r > 0$  (параметр моделі, що задається). Ця відстань (виражене в кількості осередків), в межах якої навколишнє оточення впливає на значення вірогідності у відповідному напрямі.

З роботи [11] було взято наступне формалізоване уявлення процедури аналізу навколишнього оточення

$$A_{ij} = 1 - \frac{1}{r} \left( \sum_{m=i(l=j)}^{i \pm r_{ij}^* (j \pm r_{ij}^*)} f_{ml} + r - r_{ij}^* \right), \quad (3)$$

де  $(i,j)$  - номер осередку, сусіднього з поточним осередком даної частинки;  $r_{ij}^* \in [0, r]$  - відстань до найближчої перешкоди в напрямі,

визначуваному осередком  $(i,j)$ ;  $\sum_{m=i(l=j)}^{i \pm r_{ij}^* (j \pm r_{ij}^*)} f_{ml} = f$  - кількість часток, що

рухаються в цьому напрямі і знаходяться в межах відстані від поточної позиції.

Очевидно, що  $A_{ij} \in (0,1)$ . Значення  $A_{ij}$  залежить від конфігурації поля у нинішній момент часу, місцеположення частки і осередку  $(i,j)$ .

Якщо  $A_{ij} = 0$ , те переміщення в осередок  $(i,j)$  неможливе ( $w_{ij} = 1$  (тобто  $r_{ij}^* = 0 \Rightarrow f = 0$ )  $r_{ij}^* = r$  і  $f = r_{ij}^*$  або  $r_{ij}^* < r$  та  $f = r_{ij}^*$  (два останні випадки відповідають максимальній щільності часток в даному напрямі)).

Якщо  $A_{ij} = 1$ , той напрям повністю вільний в межах радіусу видимості. Якщо ж  $A_{ij} \in (0,1)$ , то у напрямі клітки  $(i,j)$  в радіусі видимості або знаходиться стіна або інша непереборна перешкода, або в цьому напрямі спостерігається деяка кількість людей, або і те і інше разом.

Таким чином, за допомогою коефіцієнта  $A_{ij}$  можна зменшувати вірогідність руху в несприятливих для руху напрямках.



На попередньому етапі розраховується поле  $S$ , кожен осередок якого є мінімальна дискретна відстань до найближчого виходу, виражена в довжині кроку. (При обчисленні поля  $S$  діагональні переходи вирішуються і вважається, що при горизонтальних і вертикальних зрушеннях на один осередок довжина кроку рівна 1, а при діагональних -  $\sqrt{2}$ .)

На кожному тимчасовому кроці функціонування КА відбувається по схемі:

1. Для кожної частки обчислюється вірогідність переміститися в осередок з номером  $(i,j)$ , що є одним з чотирьох сусідніх

$$p_{ij} = \text{Norm}^{-1} A_{ij} e^{k_s \Delta S_{ij}}, \quad (4)$$

де  $k_s \geq 0$  - параметр чутливості поля  $S$ ;  $\Delta S_{ij}$  - різниця між значенням поля в поточному осередку і осередку  $(i,j)$ ;  $\text{Norm} = \sum_{i,j} A_{ij} e^{k_s \Delta S_{ij}}$  -

нормалізатор, сума береться по всіх чотирьох сусідніх осередках.

Звернемо увагу, що вірогідність залишитися на місці безпосереднім чином не обчислюється. Іншими словами, спочатку вона передбачається рівною нулю, оскільки вважається, що частки мають на меті рух, і реалізація можливості «залишитися на місці» є мірою вимушеною, коли відтворюється стратегія найкоротшого шляху, але відповідний напрям на даний момент зайнятий. Ця процедура розглядається нижче.

Якщо  $\text{Norm} = 0$  (всі сусідні осередки зайняті), тоді частка залишається на колишньому місці, інакше – частка вибирає цільовий осередок з номером  $(i,j)^*$  для переміщення, ґрунтуючись на вірогідності переходу (2).

Якщо  $\text{Norm} \neq 0$  та  $f_{i,j}^* = 0$ , тоді осередок  $(i,j)^*$  фіксується.

Якщо  $\text{Norm} \neq 0$  та  $f_{i,j}^* = 1$ , тоді цільовий осередок для цієї частки вибирається знову, але вже серед вільних сусідніх осередків, що залишилися, і поточного осередку. Відбувається перерахунок перехідної вірогідності. Для сусідніх зайнятих кліток вірогідність переходу буде нульовою. Випадку залишитися на місці приписується вірогідність  $\frac{p_{ij}^*}{\sum_{i,j} p_{ij}^*}$ , іншим -  $\frac{p_{ij}}{\sum_{i,j} p_{ij}}$ , де сума береться по всіх

поточних цільових клітках. Таким чином, в даному алгоритмі реалізується стратегія «терплячої людини».

2. Вирішення конфліктів: якщо дві або більш частки претендують на одне місце, то переміщенню всіх цих часток буде відмовлено з вірогідністю  $\mu \in [0, 1]$ , з вірогідністю  $1-\mu$  одна частка-кандидат переміститься в новий осередок, а інші залишаться на своїх колишніх місцях [17].  $\mu$  – фрикційний параметр.

3. Частки, яким дозволено переміщення, переміщаються в свої цільові осередки.

Правила застосовуються до всіх часток в один і той же момент часу.

Коли частка потрапляє в осередок, відповідний виходу, вона видаляється з розгляду, тобто вважається, що частка досягла своєї мети – виходу.

Звернемо увагу на той факт, що навіть якщо сусідній осередок зайнятий ( $f_{ij} = 1$ ), вірогідність перейти в цей осередок обчислюється і не обов'язково буде рівною нулю. В цьому випадку вірогідність може бути інтерпретована як міра бажання рухатися в цьому напрямі.

А той факт, що зайнятий осередок є фіктивним кандидатом для пересування при розігруванні напрямку, дає можливість перерозподілити вірогідність зайнятого напрямку (у разі його вибору) на можливість «залишитися на місці». Тим самим вводиться спосіб моделювання «терплячої людини», тобто надається можливість залишитися на місці і почекати, поки бажаний напрям звільниться. Останнє дозволяє уникнути непотрібних метань і коливань частинок. Так, наприклад, в базовій моделі [12, 13] частинка могла залишитися на колишньому місці, тільки якщо всі сусідні осередки зайняті.

За допомогою параметрів моделі можна відтворювати різні ситуації. Так,  $k_s$ , параметр чутливості поля  $S$ , визначає ступінь знання «карти місцевості» або бажання рухатися у напрямку до виходу. Чим вище  $k_s$ , тим більше спрямовано в сукупності частки рухаються до виходу. Якщо  $k_s = 0$ , то частки не використовують інформацію про поле  $S$  і рухаються неспрямовано.

Радіус видимості  $r$  визначає ступінь інформованості часток про навколишнє оточення. Якщо  $r = 1$  (що відповідає моделі [12]), то ситуацію можна інтерпретувати як рух в темноті «на дотик». Чим більші радіус видимості, тим більше навколишні стіни, перешкоди і люди впливають на значення вірогідності у відповідному напрямі і, як результат, на вибір напрямку і індивідуальну та колективну динаміку в цілому.

Фрикційний параметр  $\mu > 0$  покликаний моделювати ефекти конкурентної поведінки в ситуаціях поспішного покидання приміщення, які найбільшою мірою виникають в областях максимального збільшення щільності (це територія перед звуженнями, на поворотах і т.п.).

**Висновок.** З урахуванням вищенаведеного, доцільно в подальшому розглянути можливість побудови математичної моделі безпечного руху людей з місць їх постійного перебування до захисних споруд при виникненні надзвичайної ситуації техногенного характеру, зокрема такої, що супроводжується виникненням осередку хімічного ураження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Квітковський Ю.В. Забезпечення захисту населення при виникненні надзвичайних ситуацій техногенного характеру шляхом укриття і евакуації /Квітковський Ю.В.//Проблеми надзвичайних ситуацій, вип. 12: Харків, НУЦЗУ, 2010, с. 80-85.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки України у 2009 р. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до журн.: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2009.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2009.html)
3. Химические аварии: реальность и тенденция. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.chem.msu.ru/rus/journals/xr/avarii.html>
4. Губенко В.А. Класифікація надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру / Губенко В.А., Метельов В.О. // Матеріали міжн. наук. - практ. конф. «Об'єднання теорії та практики - залог підвищення боєздатності пожежно-рятувальних підрозділів». — Харків: УЦЗУ, 2007. — С. 39 - 44.
5. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий / [ред. Котляревский В.А., Забегаев М.М.]. - М.: Издательство АСВ, 2005. — 375 с.
6. Мірошніченко М. Рятувальники зробили все можливе / М. Мірошніченко // Надзвичайна ситуація. - 2007.- №7.- С. 8-13.
7. Кашуба В. Увага! Хімічна аварія / В. Кашуба // Надзвичайна ситуація.-2007.-№6. -С. 48-51.

8. Хміль Г. Комплексна оцінка техногенної та природної безпеки України в регіональному вимірі / Г. Хміль // Надзвичайна ситуація. - 2005. - №5. – С. 52-55.
9. Іванов В. На боці з отрутохімікатами / В. Іванов // Надзвичайна ситуація. - 2005.- №1. – С. 25
10. D.Helbing, I.Farkas, T.Vicsek, Simulating dynamical features of escape panic, Nature, 407(2000), 487-490.
11. М.Е.Степанцов, Математическая модель направленного движения группы людей, Математическое моделирование, 16(2004), no. 3, 43-49.
12. A.Kirchner, A.Schadschneider, Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics, Physica, 312(2002), 260-276.
13. K.Nishinari, A.Kirchner, A.Namazi, A.Schadschneider, Extended floor field CA model for evacuation dynamics, IEICE Trans.Inf. & Syst. E87-D., 2004, 726.
14. D.Helbing, Traffic related self-driven many-particle system, Rev. Mod. Phys, 73(2001), no. 4.
15. Кирик Е.С., Круглов Д.В., Юргельян Т.Б. О дискретной модели движения людей с элементом анализа окружающей обстановки, Журнал сибирского федерального университета, серия «Математика и физика». Сентябрь 2008 (том 1, номер 3), стр. 266-276
16. Т.Тоффоли, Н.Марголус, Машины клеточных автоматов, М., Мир, 1991.
17. K.Nishinari, A.Kirchner, A.Schadschneider, Friction effects and clogging in a cellular automaton model for pedestrian dynamics, e-print cond-mat/0209383.

Квитковский Ю.В., Стельмах О.А.

**Общие подходы к обеспечению безопасного движения людей в направлении защитных сооружений**

В статье приводятся общие предпосылки к созданию, в первом приближении, математической модели для определения оптимального движения людей в стесненном пространстве

**Ключевые слова:** защита, убежище, поражающие факторы, комплексная чрезвычайная ситуация, оценка, эвакуация

Kvitkovskiy Y.V., Stelmakh O.A.

**General approaches to providing of safe motion of people in the direction of protective buildings**

In the article general pre-conditions are presented to creation, in the first approaching, mathematical model for determination of optimum motion of people in the straitened space

**Key words:** defense, refuge striking factors, complex extraordinary situation, estimation, evacuation

**УДК 351.861**

*Кириченко І.О., д-р військ. наук, гол. наук. співр.,  
АВВ МВС України,  
Неклонський І.М., ст. викл., НУЦЗУ*

**ПІДБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНИХ  
НАПРЯМІВ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ ФОРМУВАННЯМИ СИЛ ЦИВІЛЬНОГО  
ЗАХИСТУ ТА ПІДРОЗДІЛАМИ ВНУТРІШНІХ ВІЙСЬК У РАЗІ  
ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

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

Розкрито науковий підхід щодо формування вихідних даних для реалізації відповідного програмного забезпечення структурно-функціонального аналізу в ході вирішення проблеми розробки ефективного механізму взаємодії відповідних ланок територіальних підсистем запобігання і реагування на надзвичайні ситуації

**Ключові слова:** взаємодія, формування цивільного захисту, вихідні дані, структурно-функціональний аналіз, експертні оцінки, математичне моделювання

**Постановка проблеми.** Одним з пріоритетів національних інтересів є забезпечення екологічно та техногенно безпечних умов життєдіяльності громадян і суспільства. Виникнення особливо тяжких надзвичайних ситуацій (НС) техногенного та природного характеру, що створюють загрозу життю і здоров'ю значних верств населення становить загрозу національній безпеці України і може бути підставою для введення в державі надзвичайного стану.[1]

В склад військового командування, якому разом з органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування, надається право здійснювати заходи правового режиму надзвичайного стану, входять МНС України та внутрішні війська МВС України (ВВ МВС). [2] Ефективність таких заходів безпосередньо залежить від налагодженої системи взаємодії відповідних суб'єктів забезпечення національної безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

На теперішній час систематизованої нормативної бази щодо організації взаємодії рятувальних формувань сил цивільного захисту МНС України та внутрішніх військ МВС в різних режимах функціонування немає. Організація взаємодії визначається відомчими наказами, відповідними планами та інструкціями, які містять загальні поняття. Об'єктивно оцінити ефективність взаємодії підрозділів МНС України та ВВ МВС не можна у зв'язку з невизначеністю критеріїв оцінювання. [3]

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З метою подальшого удосконалення та обґрунтування практики застосування методу математичного моделювання для структурно-функціонального забезпечення системи взаємодії відповідних ланок територіального управління запобіганням та ліквідацією НС в роботах [4,5] розглянуто варіант побудови загальної структурно-функціональної моделі організації взаємодії, яка б надалі підлягала структурно-функціональному аналізу, та відповідне програмне забезпечення, яке реалізує положення аксіоматичних основ теорії взаємодії та системного аналізу і дозволяє аналізувати структурно-функціональні складові відповідної моделі організації взаємодії та, за допомогою спеціального математичного апарату, вибрати найбільш ефективний механізм взаємодії формувань цивільного захисту під час ліквідації наслідків НС. Це дасть можливість розробити систему настанов та інструкцій з організації взаємодії між різними структурно-функціональними елементами внутрішніх військ МВС України та спеціальними формуваннями сил цивільного захисту МНС України при виникненні надзвичайних ситуацій.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для розробки ефективного механізму взаємодії відповідних ланок територіальних підсистем запобігання і реагування на НС на основі відповідного програмного забезпечення структурно-функціонального аналізу взаємодії необхідно сформулювати вихідні дані та вибрати той

математичний апарат, який би дозволив систематизувати отримані результати.

Формування вихідних даних для математичного моделювання відповідного механізму взаємодії за допомогою вказаної програми [5] доцільно проводити на основі експертних оцінок із застосуванням як методів отримання індивідуальної думки членів експертної групи (базовим серед яких є дельфійський метод), так і колективних методів [6,7]. Свої висновки експерти повинні формувати на основі оцінки оперативно-тактичної характеристики об'єктів, результатів аналізу ризиків виникнення НС, статистичного аналізу виникнення НС; змісту аварійно-рятувальних робіт, організаційно-штатної структури та тактичних можливостей підрозділів, що залучаються до ліквідації НС.

Проведений аналіз завдань рятувальних сил МНС України, внутрішніх військ МВС, можливих наслідків надзвичайних ситуацій при їх виникненні на об'єктах, що охороняються, та змісту аварійно-рятувальних робіт з метою локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій, дозволяє сформуванню відповідну структурно-функціональну модель для визначення пріоритетних напрямів організації взаємодії і аналізу змісту конкретних службово-бойових та аварійно-рятувальних дій, що мають виконуватися суб'єктами взаємодії у конкретних умовах.

Модель являє собою сукупність шести множин, елементи яких зв'язані структурними, функціональними та структурно-функціональними базисами взаємодії і складають структурно-функціонально-цільовий простір (СФЦП) взаємодії (рис.1):

1) структурний простір МНС України:  $\text{СПМНС}=\{u_1\}$ , де  $u_1=1, \dots, r_1$ , - номер структурного елемента МНС;

2) структурний простір ВВ МВС України:  $\text{СПВВ}=\{u_2\}$ , де  $u_2=1, \dots, r_2$ , - номер структурного елемента ВВ МВС;

3) функціональний простір МНС:  $\text{ФПМНС}=\{k_1\}$ , де  $k_1=1, \dots, p_1$ , - номер функціонального елемента МНС;

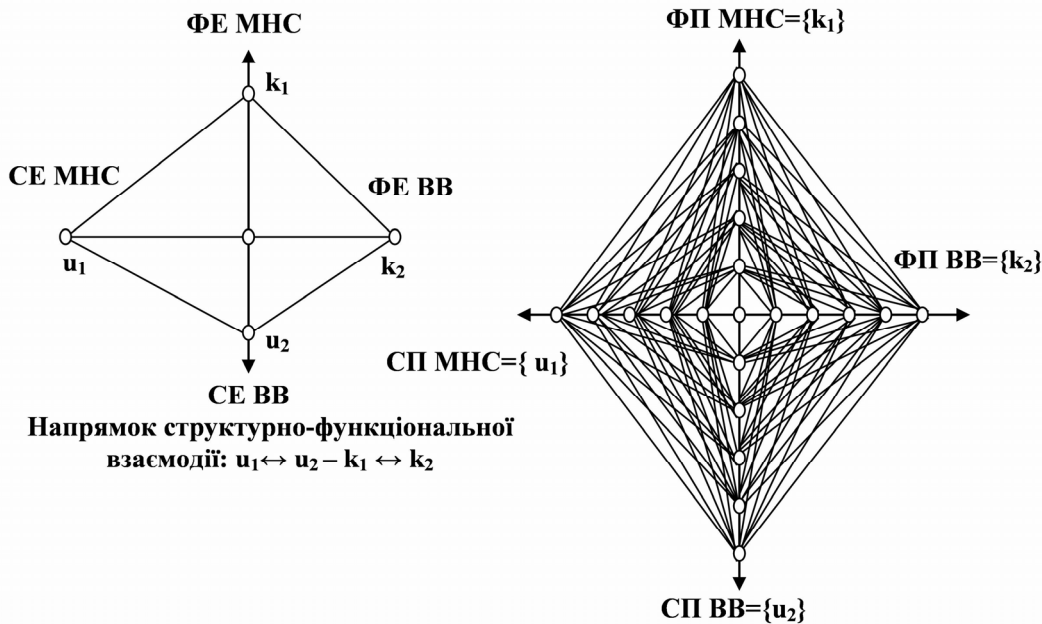
4) функціональний простір ВВ МВС:  $\text{ФПВВ}=\{k_2\}$ , де  $k_2=1, \dots, p_2$ , - номер функціонального елемента ВВ МВС;

5) цільовий простір (ЦП) МНС:  $\text{ЦПМНС}=\{i\}$ , де  $i=1, \dots, m$ , - номер надзвичайної ситуації згідно з Державним класифікатором надзвичайних ситуацій;

6) цільовий простір ВВ МВС:  $\text{ЦПВВ}=\{j\}$ , де  $j=1, \dots, n$ , - номер завдання ВВ МВС;

---

Підбір вихідних даних для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями сил цивільного захисту та підрозділами внутрішніх військ у разі виникнення надзвичайних ситуацій



**Рис. 1-** Модель простору структурно-функціональної взаємодії:  $u_1 \in$  СП МНС - номер структурного елемента МНС ( $r_1$ );  $u_2 \in$  СП ВВ - номер структурного елемента ВВ МНС ( $r_2$ );  $k_1 \in$  ФП МНС - номер функціонального елемента МНС ( $p_1$ );  $k_2 \in$  ФП ВВ МНС - номер функціонального елемента ВВ МНС ( $p_2$ );  $i$  - номер надзвичайної ситуації ( $m$ );  $j$  - номер завдання ВВ МНС ( $n$ )

При підготовці вихідних даних здійснено визначення завдань, структури та функцій аналізованих систем і побудована структурно-функціональна модель організації взаємодії двох суб'єктів (СВ1 – МНС України, СВ2 – ВВ МНС України) у вигляді 7-ми таблиць:

Таблиця 1. Цільовий простір взаємодії: надається переліком НС та завдань ВВ МНС.

Таблиця 2. Структурний простір взаємодії: надається переліком структурних елементів, що застосовуються хоча б одним із суб'єктів взаємодії.

Таблиця 3. Функціональний простір взаємодії: надається переліком функціональних елементів, що застосовуються суб'єктами взаємодії.

Таблиця 4. Структурний та функціональний базиси завдань МНС: представляються як переліки структурних елементів, які доцільно застосовувати при виконанні того чи іншого завдання першим суб'єктом взаємодії (СВ1).



Таблиця 5. Структурний та функціональний базиси завдань ВВ МВС: представляються як переліки структурних елементів, які доцільно застосовувати при виконанні того чи іншого завдання другим суб'єктом взаємодії (СВ2).

Таблиця 6. Структурно-функціональний простір та структурний базис взаємодії: відображається у вигляді переліку структурних елементів СВ2, з якими повинен взаємодіяти кожний структурний елемент СВ1.

Таблиця 7. Функціонально-структурний простір та функціональний базис взаємодії: відображається у вигляді переліку функціональних елементів СВ2, з якими повинен взаємодіяти кожний структурний елемент СВ1.

Модель першого суб'єкта взаємодії (МНС) відображає  $m$  типових надзвичайних ситуацій, у локалізації та ліквідації яких приймають участь  $r_1$  структурних одиниць (елементів), що загалом спроможні виконувати  $p_1$  різних функцій.

Модель другого суб'єкта взаємодії (ВВ МВС) відображає  $n$  характерних для ВВ МВС службово-бойових завдань, на тлі вирішення яких війська силами  $r_2$  типів службово-бойових груп (структурних елементів) приймають участь у локалізації та ліквідації  $p_2$  надзвичайних ситуацій, виконуючи при цьому  $p_2$  різних службово-бойових дій (функцій).

Таким чином, потенційно модель може містити  $N = m \cdot r_1 \cdot p_1 \cdot n \cdot r_2 \cdot p_2$  різних напрямків структурно-функціональної взаємодії.

Аналіз попередніх результатів структурно-функціонального аналізу здійснюється за допомогою програми [5]. У результаті математичного моделювання програма формує матриці і визначає коефіцієнти структурно-функціональної подібності завдань ( $K1$ ,  $K2$ ) та коефіцієнт важливості організації взаємодії  $i$ -го завдання суб'єкта взаємодії - СВ1 та  $j$ -го завдання суб'єкта взаємодії - СВ2 ( $C$ ) за формулами (1,2) відповідно

$$K1_{i1,i2}^{sf} = \frac{\sum_{u=1}^r \sum_{k=1}^p x_{i1,k}^{(1)} z_{u,k} y_{i1,u}^{(1)} x_{i2,k}^{(1)} z_{u,k} y_{i2,u}^{(1)}}{\sum_{u=1}^r \sum_{k=1}^p (x_{i1,k}^{(1)} z_{u,k} y_{i1,u}^{(1)} + x_{i2,k}^{(1)} z_{u,k} y_{i2,u}^{(1)} - x_{i1,k}^{(1)} z_{u,k} y_{i1,u}^{(1)} x_{i2,k}^{(1)} z_{u,k} y_{i2,u}^{(1)})}, \quad (1)$$

$$C_{ij} = \sum_{u_1=1}^r \sum_{k_1=1}^p \sum_{u_2=1}^r \sum_{k_2=1}^p h_{ij u_1 k_1 u_2 k_2}, \quad (2)$$

де  $h_{ij u_1 k_1 u_2 k_2} = w_{u_1 u_2}^s y_{i, u_1}^{(1)} z_{u_1, k_1} x_{i, k_1}^{(1)} w_{k_1 k_2}^f y_{j, u_2}^{(2)} z_{u_2, k_2} x_{j, k_2}^{(2)}$ ,  $\{y_{i, u_1}^{(1)}\}$  – перелік оперативних підрозділів, що залучаються СВ1 для виконання завдань;  $\{y_{j, u_2}^{(2)}\}$  – перелік оперативних підрозділів, що залучаються СВ2 для виконання завдань;  $\{x_{i, k_1}^{(1)}\}$  – перелік способів дій СВ1 під час виконання завдань;  $\{x_{j, k_2}^{(2)}\}$  – перелік способів дій СВ2 під час виконання завдань;  $\{w_{u_1 u_2}^s\}$  – перелік способів дій СВ1 та СВ2, під час застосування яких доцільна взаємодія;  $\{z_{u_1, k_1}\}$  – перелік способів, які може застосовувати кожен оперативний підрозділ;  $\{w_{k_1 k_2}^f\}$  – перелік оперативних підрозділів СВ2, яким доцільно взаємодіяти з оперативними підрозділами СВ1;  $i \in I = \{1 \dots m\}$  – номер завдання СВ1;  $j \in J = \{1 \dots n\}$  – номер завдання СВ2;  $u_1 \in R = \{1 \dots r\}$  – номер структурного елемента СВ1;  $k_1 \in K = \{1 \dots p\}$  – номер функціонального елемента СВ1;  $u_2 \in R = \{1 \dots r\}$  – номер структурного елемента СВ2;  $k_2 \in K = \{1 \dots p\}$  – номер функціонального елемента СВ2;  $m$  – кількість завдань СВ1;  $n$  – кількість завдань СВ2;  $r$  – кількість елементів структурного простору;  $p$  – кількість елементів функціонального простору.

Для отримання коефіцієнта  $K2$  всі одиниці в формулі (1) замінюються на число два.

Отримання цих коефіцієнтів дає змогу з багатьох напрямів взаємодії визначити пріоритетні та систематизувати механізм взаємодії підрозділів різних суб'єктів.

Результатом застосування програмного забезпечення на базі експертних оцінок повинен стати детальний структурно-функціональний аналіз системи взаємодії, який дозволить визначити зміст фонду інформації для проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, а також розробити відповідний оперативний документ (план взаємодії).

**Висновки.** Розглянуто науковий підхід щодо формування вихідних даних для вирішення проблеми розробки ефективного механізму взаємодії відповідних ланок територіальних підсистем запобігання і реагування на надзвичайні ситуації на основі вико-

ристання методів експертних оцінок і математичного моделювання. Такий підхід дасть можливість відпрацювати ефективний механізм взаємодії відповідних ланок територіальних підсистем запобігання і реагування на НС на єдиній науково-методичній базі і якісно відпрацювати оперативні документи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про основи національної безпеки України: закон України від 19.06.2003 р. № 964-IV /Верховна рада України. – Офіц. вид. – К: Офіційний вісник України. № 29, 2003. — С. 38.
2. Про правовий режим надзвичайного стану: закон України від 16.03.2000 р. № 1550- III /Верховна рада України. – Офіц. вид. – К: Офіційний вісник України. № 15, 2000. — С. 7.
3. Бандурка О.М. Організація діяльності органів внутрішніх справ в умовах надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру : Науково-практичний посібник / О.М. Бандурка, С.О. Кузніченко – Х.: Університет внутрішніх справ, 2000. – 98 с.
4. Організаційно-управлінські, економічні та нормативно-правові аспекти забезпечення діяльності органів управління та підрозділів МНС України: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. ["Варіант побудови загальної структурно-функціональної моделі організації взаємодії підрозділів аварійно-рятувальних служб"], (Черкаси, 28 квітня 2009р.) / МНС України, АПБ ім. Героїв Чорнобиля – Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля МНС України, 2009. – С. 112–113.
5. Кириченко І. О. Програмне забезпечення для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями сил цивільного захисту МНС України та підрозділами внутрішніх військ МВС України при виникненні надзвичайних ситуацій / Кириченко І.О., Неклонський І.М., Побережний А.А. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 10. – Харків: УЦЗУ, 2009. – С. 84 – 90.
6. Орлов А. И. Теория принятия решений : Учеб. пособие / А. И. Орлов. – М.: Март, 2004. – С. 696 – 739.
7. Орлов А. И. Прикладная статистика : Учебник / А. И. Орлов. – М. : Экзамен, 2004. – 656 с.

Кириченко І.О., Неклонский І.М.

**Подбор исходных данных для определения приоритетных направлений взаимодействия между формированиями сил гражданской защиты и подразделениями внутренних войск в случае возникновения чрезвычайных ситуаций**

Раскрыт научный подход по формированию исходных данных для реализации соответствующего программного обеспечения структурно-функционального анализа в ходе решения проблемы разработки эффективного механизма взаимодействия соответствующих звеньев территориальных подсистем предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации

**Ключевые слова:** взаимодействие, формирования гражданской защиты, исходные данные, структурно-функциональный анализ, экспертные оценки, математическое моделирование

Kirichenko I.O., Neklonsky I.M.

**Selection of initial data for the interaction between priority of force generation of civil protection and division of internal troops in case of emergencies**

Solved the scientific approaches to the formation of basic data for implementation of relevant software structural and functional analysis during the solution development of effective mechanism of cooperation between the relevant parts of sub regional prevention and emergency response

**Key words:** interaction, formation of civil protection, initial data, structural-functional analysis, expert evaluation, mathematical modeling

*Кривцова В.И., д-р техн. наук, проф., НУГЗУ,  
Ключка Ю.П., канд. техн. наук, докторант, НУГЗУ*

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ БАЛЛОНОВ С ВОДОРОДОМ

Получены плотности вероятности и функции распределения времени до разрушения баллонов с водородом трех типов: из стали, базальтоволокна и стекловолокна. Показано, что в диапазоне от 0 до 25 минут, вероятность разрушения баллона из базальтоволокна меньше, нежели баллонов изготовленных из стали и стекловолокна.

**Ключевые слова.** Сжатый водород, баллон, функция распределения, плотность вероятности, время

**Постановка проблемы.** На сегодняшний день сжатый водород (до 70 МПа [1]) рассматривается как один из перспективных экологически чистых энергоносителей для транспорта будущего. В качестве материала баллона может использоваться сталь, стекловолокно, базальтоволокно. Одной из проблем этих систем является их пожаровзрывоопасность, обусловленная свойствами водорода и самой системы хранения.

Поэтому определение безопасного типа баллона, используемого под воздействием внешних факторов, в частности повышенных температур, является актуальным вопросом применения водорода на автомобильном транспорте.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Повышение температуры в автомобиле может быть обусловлено возникновением чрезвычайной ситуации, а именно пожаром. В работах [2-3] показано, что динамика повышения температуры в автомобиле, при пожаре, зависит от скорости его развития, места возникновения, типа автомобиля, наличия дополнительных ЛВЖ, открытые или закрытые окна и т.д.

В работе [4] были получены оценки времени до разрушения баллона с водородом под воздействием внешней температуры, а также построены регрессионные модели зависимости времени до разрушения от температуры окружающей среды и характера ее изменения, плотности водорода, объема баллона. Однако данные модели не позволяют оценить вероятностные характеристики сис-

тем хранения водорода, в частности, вероятность ее разрушения под воздействием повышенных температур.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является получение плотности вероятности разрушения баллона с водородом под воздействием повышенной температуры окружающей среды при различных параметрах баллона и водорода в нем.

Для этого разобьем интервал изменения параметров (табл. 1 [4]) на 10 частей [5, 6].

**Таблица 1 – Значение параметров**

Параметры		Максимальное значение	Минимальное значение
Температура окружающей среды	$T_{os}, \text{ К}$	1273	773
Время достижения $T_{os(max)}$	$\tau_n, \text{ мин}$	6	1
Плотность водорода	$\rho, \text{ кг/м}^3$	50	30
Объем баллона	$V_b, \text{ м}^3$	0,15	0,05

В таком случае получим  $10^4$  возможных вариантов состояния системы, в которых и будет рассчитываться время до разрушения в соответствии с работой [4]. Учитывая, что выборка состоит из 10000 значений, определим количество диапазонов, на которые будет разбит интервал  $(\tau_{i(min)}; \tau_{i(max)})$ , исходя из следующего выражения [6]

$$n = 3,3 \cdot \lg(N) + 1 \approx 15. \quad (1)$$

На рис. 1 приведен алгоритм определения значений времени до разрушения для построения гистограммы частот.

В табл. 2 приведены значения границ интервалов, полученные частоты и другие расчетные значения для стального баллона.

Анализ столбца 5 табл. 2 позволил предположить, что исследуемая величина распределена в соответствии с гамма распределением. Тогда плотность вероятности времени до разрушения можно представить в следующем виде [6]

$$f(\tau) = \frac{\tau^{k-1} \cdot e^{-\frac{\tau}{\theta}}}{\theta^k \cdot \Gamma(k)}, \quad \tau \geq 0, \quad k > 0, \quad \theta \geq 0, \quad (2)$$

где  $\Gamma(k)$  - гамма-функция Эйлера, определяемая в соответствии с

$$\Gamma(k) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n! n^z}{k(k+1)\dots(k+n)} = \frac{1}{k} \prod_{n=1}^{\infty} \frac{\left(1 + \frac{1}{n}\right)^k}{1 + \frac{k}{n}}. \quad (3)$$

**Таблица 2 – Расчетные значения**

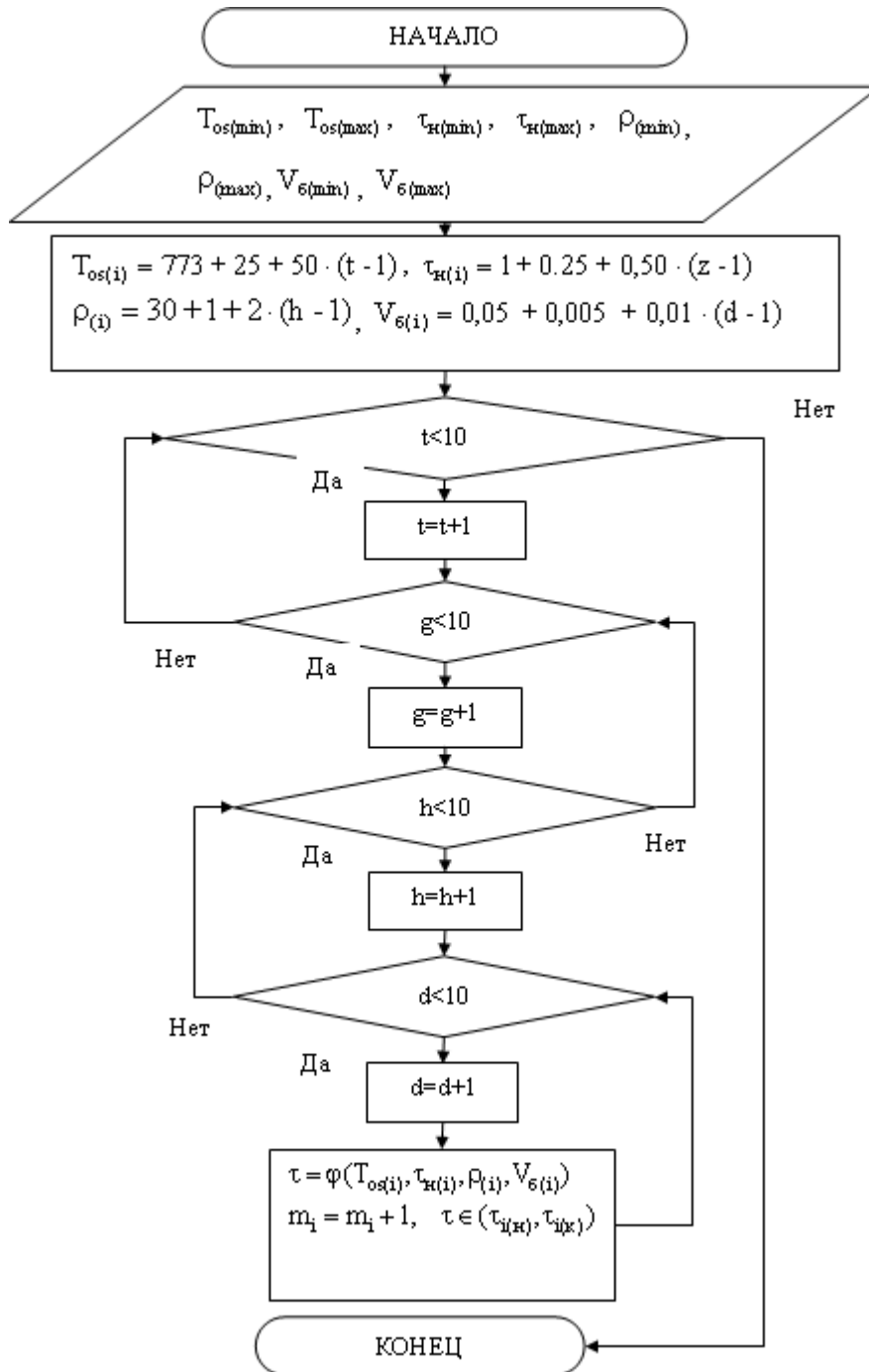
	Границы интервалов		Середины интервалов, $\tau_i$	Частоты, $m_i$	Отн. частоты, $P_i^{emp}$	$\tau_i$ $p_i$	$m_i (\tau_i - \bar{\tau})^2$	$P_i^{th}$	$\chi_i^2$
	$\tau_{i(n)}$	$\tau_{i(k)}$							
1	0,5	0,84	0,67	184	0,0184	0,01232	445,3	0,0186	0,013
2	0,84	1,18	1,01	692	0,0692	0,06989	1022,8	0,0661	1,437
3	1,18	1,52	1,35	1298	0,1298	0,17523	995,5	0,1244	2,360
4	1,52	1,86	1,69	1597	0,1597	0,26989	458,4	0,1620	0,333
5	1,86	2,2	2,03	1594	0,1594	0,32358	61,1	0,1665	3,066
6	2,2	2,54	2,37	1427	0,1427	0,33819	29,7	0,1452	0,428
7	2,54	2,88	2,71	1093	0,1093	0,29620	256,3	0,1121	0,722
8	2,88	3,22	3,05	825	0,0825	0,25162	560,5	0,0790	1,590
9	3,22	3,56	3,39	542	0,0542	0,18373	734,7	0,0517	1,238
10	3,56	3,9	3,73	338	0,0338	0,12607	764,8	0,0319	1,167
11	3,9	4,24	4,07	201	0,0201	0,08180	683,7	0,0187	1,016
12	4,24	4,58	4,41	116	0,0116	0,05115	553,4	0,0106	1,036
13	4,58	4,92	4,75	52	0,0052	0,0247	331,3	0,0057	0,519
14	4,92	5,26	5,09	28	0,0028	0,01425	229,7	0,0030	0,183
15	5,26	5,6	5,43	13	0,0013	0,00705	133,5	0,0016	0,440

Коэффициент масштаба  $\theta$ , определялся в соответствии с выражением

$$\theta = \frac{\sigma^2}{\mu}, \quad (4)$$

$k$  – коэффициент, определяемый в соответствии с

$$k = \frac{\mu}{\theta}. \quad (5)$$



**Рис. 1 – Алгоритм определения значений времени до разрушения для построения гистограммы частот**

При этом  $\mu$  – математическое ожидание и  $\sigma$  – дисперсия случайной величины определялись в соответствии с выражениями



$$\mu = \sum_{i=1}^n \tau_i p_i, \quad (6)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n m_i (\tau_i - \mu)^2. \quad (7)$$

Исходя из значений табл. 2,  $\mu = 2,22$ ,  $\sigma^2 = 0,726$ ,  $k=6,8229$  и  $\theta=0,3262$ , тогда выражение (2) можно представить в виде

$$f_{st}(\tau) = 4,0281 \cdot \tau^{5,8229} \cdot e^{-3,065\tau}. \quad (8)$$

Оценим согласованность выбранного теоретического распределения с опытными данными в соответствии с критерием Пирсона (критерий  $\chi^2$ )

$$\chi_p^2 = N \sum_i^n \frac{(P_i^{th} - P_i^{emp})^2}{P_i^{th}}, \quad (9)$$

где  $P_i^{th}$  – предполагаемая вероятность попадания в  $i$ -й интервал

$$P_i^{th} = \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} f(\tau) d\tau. \quad (10)$$

По таблице критических точек  $\chi^2$ -распределения, исходя из того, что число степеней свободы  $r = 15 - 4 - 1 = 10$ , определим  $\chi_{кр}^2$  ( $\chi_{кр}^2 = 18,3$ ).

Из таблицы следует, что критерий Пирсона  $\chi_p^2 = 15,54$ . Поскольку  $\chi_p^2 < \chi_{кр}^2$ , то принятая гипотеза о гамма распределении не противоречит имеющимся выборочным данным на уровне значимости 0,05.

На рис. 2 приведены зависимости частот, полученных эмпирическим и теоретическим путем, и значения  $\chi_i^2$  для стального баллона.

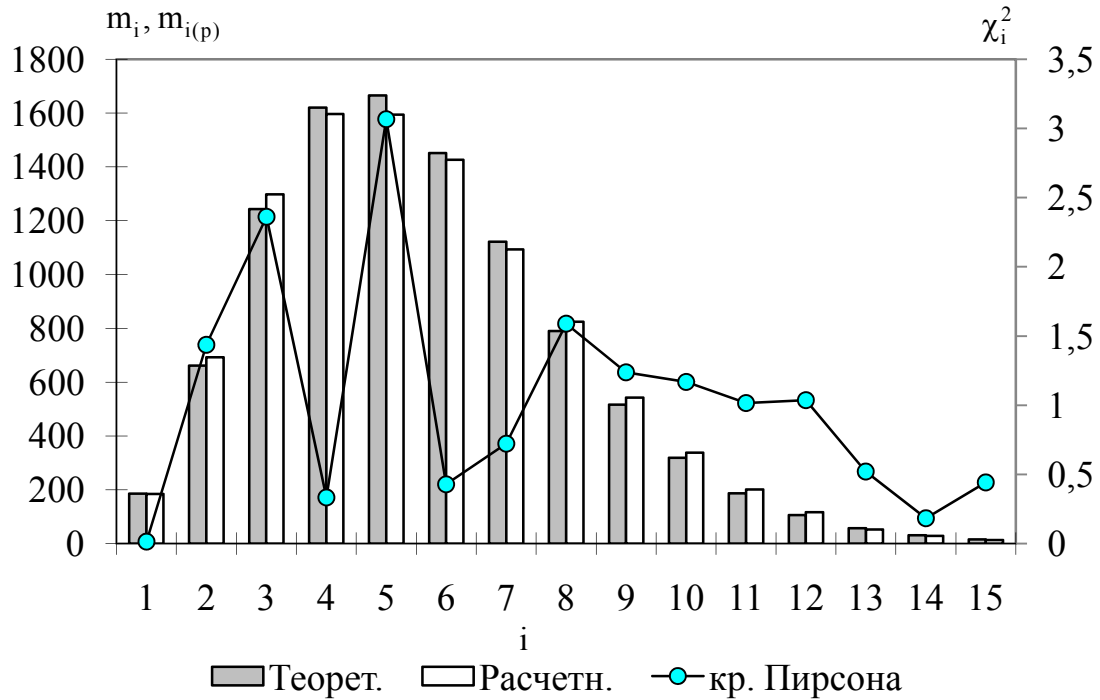


Рис. 2 – Зависимость частот, полученных эмпирическим и теоретическим путем, а также значения  $\chi_i^2$  для стального баллона

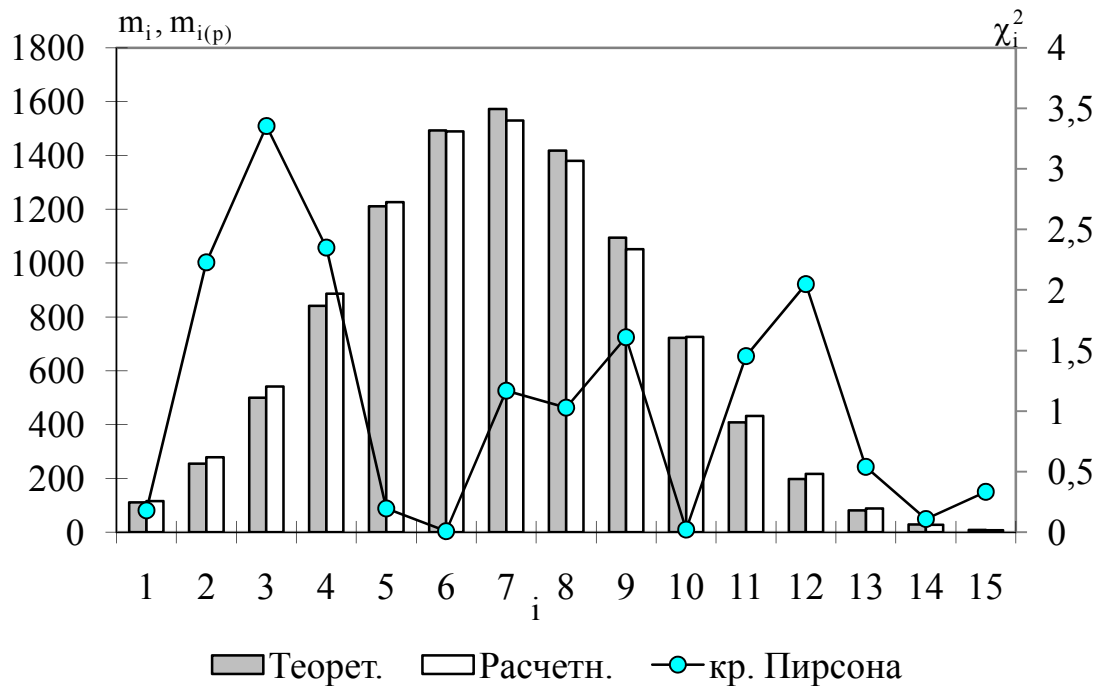


Рис. 3 – Зависимость частот, полученных эмпирическим и теоретическим путем, а также значения  $\chi_i^2$  для баллона из стекловолокна

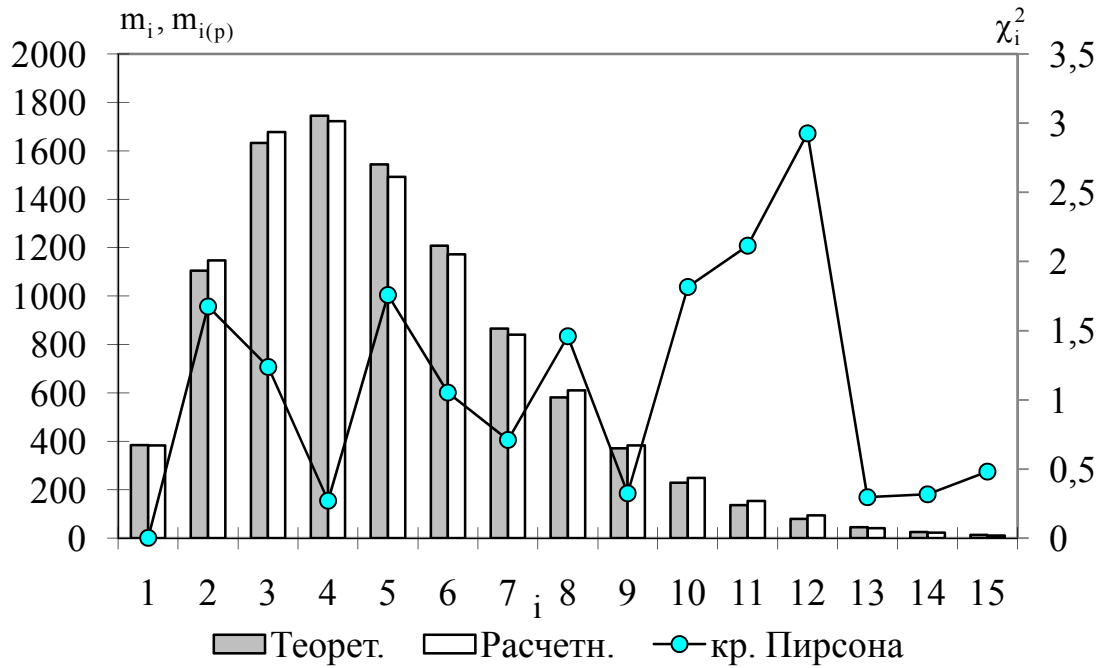


Рис. 4 – Зависимость частот, полученных эмпирическим и теоретическим путем, а также значения  $\chi_i^2$  для баллона из базальтоволокна

Аналогичным образом были получены характеристики для баллона из стекловолокна  $\mu = 3,49$ ,  $\sigma^2 = 1,417$ ,  $\chi_p^2 = 16,63$  (рис. 3). Принятая гипотеза о нормальном распределении на уровне значимости 0,05 подтвердилась.

Также были получены характеристики для баллона из базальтоволокна  $\mu = 10,82$ ,  $\sigma^2 = 26,85$ ,  $\chi_p^2 = 16,44$  (рис. 4). Принятая гипотеза о гамма распределении на уровне значимости 0,05 подтвердилась.

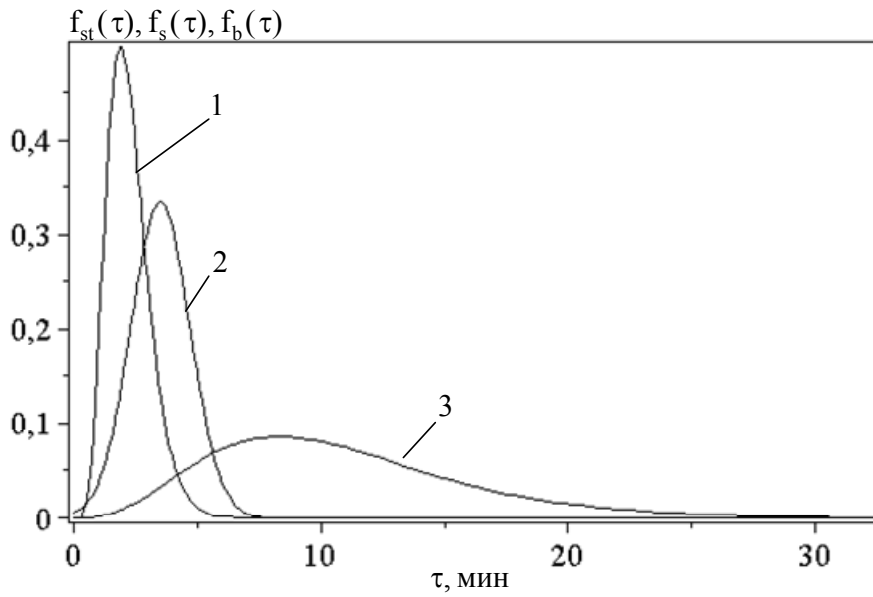
Плотности вероятностей времени до разрушения для баллона из стекловолокна и базальтоволокна можно представить в следующем виде

$$f_s(\tau) = 0,3352 \cdot e^{-0,353(\tau-3,499)^2} \quad (11)$$

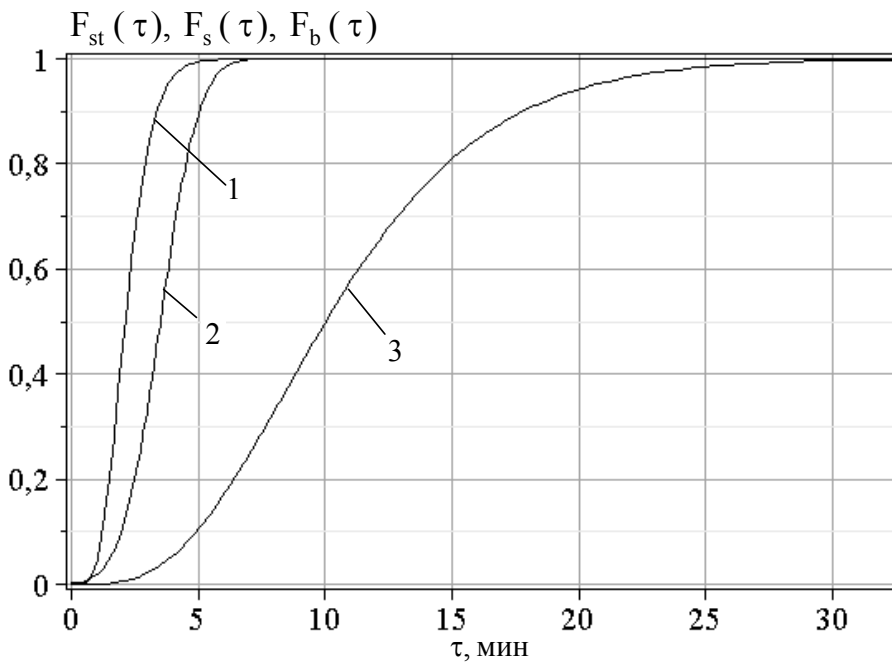
$$f_b(\tau) = 0,01227 \cdot \tau^{3,2274} \cdot e^{-0,5782\tau} \quad (12)$$

На рис. 5 и 6, в соответствии с (8), (11) и (12), представлены плотности вероятности и функции распределения времени до раз-

рушения баллонов с водородом трех типов для диапазона параметров приведенных в табл 1.



**Рис. 5 – Плотность вероятности времени до разрушения баллона с водородом: 1 – стальной баллон; 2 – баллон из стекловолокна; 3 – баллон из базальтоволокна**



**Рис. 6 – Функция распределения времени до разрушения баллона с водородом: 1 – стальной баллон; 2 – баллон из стекловолокна; 3 – баллон из базальтоволокна**

Из рис. 6 следует, что наиболее безопасным является баллон из базальтоволокна, а наиболее опасным – из стали. По истечению пяти минут, вероятность разрушения баллона из базальтоволокна составляет 0,1, а из стали и стекловолокна, соответственно, 0,98 и 0,9.

**Выводы.** В результате проведенной работы, получены плотности вероятности и функции распределения времени до разрушения баллонов с водородом трех типов: из стали, базальтоволокна и стекловолокна. Показано, что в диапазоне от 0 до 25 минут, вероятность разрушения баллона из базальтоволокна меньше, нежели баллонов изготовленных из стали и стекловолокна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ключка Ю.П. Особенности использования водорода на автомобильном транспорте / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – № 26. – С. 49–61.
2. Пожарная\_безопасность\_автомобиля [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.jcwiki.ru/> Пожарная\_безопасность\_автомобиля.
3. Клаус Д.П. Роль естественно-научной криминалистики / Клаус Дитер Польш. — Москва, 1985. — 311 с.
4. Борисенко В.Г. Определение времени разрушения баллона с водородом, обусловленного изменением температурных параметров окружающей среды / В.Г. Борисенко, В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. – № 27. – С. 83–96.
5. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций/ А.А.Свешников – М.: Наука, 1968. – 464 с.
6. Александр Алексеевич Боровков Теория вероятностей/ А.А. Боровков – М.: Наука, 1986. – 432 с.

Ключка Ю.П., Кривцова В.И.

### **Оцінка ймовірності руйнування балонів з воднем**

Отримано щільності ймовірності та функції розподілу часу до руйнування балонів з воднем трьох типів: зі сталі, базальтоволокна і скловолокна. Показано, що в діапазоні від 0 до 25 хвилин, ймовірність руйнування балона з базальтоволокна менше, ніж балонів виготовлених із сталі і скловолокна.

**Ключові слова:** Стиснутий водень, балон, функція розподілу, щільність ймовірності, час

Kluchka Yu.P., Krivtsova V.I.

**Evaluation of the possibility of damage of cylinders with hydrogen**

Obtained the probability density and distribution function of time before the destruction of tanks with hydrogen in three types: steel, basalt fiber and fiberglass. It is shown that the range of 0 to 25 minutes, the probability of failure of the balloon basalt fiber is less than cylinders made from steel and fiberglass.

**Key words:** Compressed hydrogen tank, the distribution function, probability density, the time

**УДК 331.101**

*Левтеров А.А., канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НУГЗУ,  
Стрелец В.М., канд. техн. наук, нач. лаб., НУГЗУ,  
Федцов А.А., преп., НУГЗУ*

**ОЦЕНКА УРОВНЯ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ЛИЧНОГО СОСТАВА  
К РАБОТЕ СО СПЕЦИАЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

(представлено д-ром хим. наук Калугиным В.Д.)

Получены оценки уровня подготовленности спасателей к выполнению типовых операций, требующих использования специального оборудования, с помощью уравнений в кодированных переменных. Коэффициенты регрессии в кодированных переменных при этом характеризуют вес рассматриваемого фактора.

**Ключевые слова:** подготовка, типовые операции, кодированные переменные

**Постановка проблемы.** В оперативно-спасательных подразделениях служит личный состав разного возраста и, соответственно, разного уровня подготовленности. В то же время программа служебной подготовки [1] имеет типовой характер. Учесть особенности, присущие конкретному пожарному подразделению (срок службы большинства спасателей, используемое ими оборудование и др.), позволяет ее вариативная часть, которая позволяет на 10% отступить от приведенных рекомендаций. Однако для соответствующей корректировки необходимо иметь количественные показатели, которые бы позволили утверждать о том, что занятия в соответствии с измененной программой дадут эффект.

**Анализ последних исследований и публикаций** показал, что в настоящее время основным методом для оценки эффек-

Левтеров А.А., Стрелец В.М., Федцов А.А.

тивности работы с существующим пожарно-технического вооружения являются тестовые испытания [2], в том числе, применительно к рассматриваемой проблеме совершенствования подготовки, контрольные испытания на людях в лабораторных условиях [3]. В основе последних лежит определение работоспособности человека при выполнении дозированной физической нагрузки. Опыт использования такого подхода [4] показал, что его целесообразно использовать преимущественно для количественной сравнительной оценки снаряжения, которое имеет близкие массо-габаритные и защитные характеристики.

Времена выполнения интересующих операций по результатам полигонных испытаний [3] (предполагают корректировку типовых упражнений не только в зависимости от имеющегося оборудования, но и от местных особенностей) могут быть представлены в виде функций распределения [5]. Учитывая то, что для спасателей они достаточно часто имеют несимметричный характер, в [5] было отмечено: уровень подготовленности рассмотренной группы испытуемых можно оценить с помощью показателя скошенности. В то же время, этот способ отличается тем, что если рассматривается операция состоит из нескольких более простых, то ее распределение практически всегда будет нормальным и, соответственно, симметричным.

Если рассматривается непосредственно процесс обучения выполнению типовых операций, то в качестве количественных показателей, которые характеризуют уровень подготовленности к работе с конкретным оборудованием, могут рассматриваться параметры экспоненциального закона [4]. Однако он не применим для оценки эффективности проведения аварийно-спасательных работ в зависимости от условий, при которых работают спасатели.

Применительно к эргономической оценке персонала пунктов управления использовался подход [6], когда зависимость времени выполнения тестового задания от используемых средств поддержки принятия решения представлялась в виде уравнения в кодированных переменных, коэффициенты при которых отражали то, насколько весомым является выбранный набор технических и программных средств. Его простота и эффективность применительно к операторской деятельности позволяет предположить, что он может быть использован и для ситуаций, которые присущи деятельности пожарных.

**Постановка задачи и ее решение.** Исходя из вышеизложенного, была поставлена задача определения возможностей эргономической оценки уровня подготовленности спасателей к работе со специальным оборудованием с помощью соответствующих уравнений в кодированных переменных.

В основу планирования и проведения экспериментальных исследований, в ходе которых на качество выполнения отдельных операций влияют как уровень подготовленности, так и условия, в которых работает личный состав, легло сравнение результатов выполнения типового задания при проведении разведки в помещениях, имеющих сложные конструктивно-планировочные решения, подъеме в окно седьмого этажа по автолестнице, выполнении других типовых операций спасателями, имеющими различный опыт работы и по разному оснащенными.

Имитация работы в помещениях, имеющих сложные конструктивно-планировочные решения, осуществлялась путем проведения разведки в теплодымокамере. Рассматривались три варианта условий, в которых выполнялось задание. Первый - звенья работают в боевой одежде и полном снаряжении. Изолирующие аппараты (ИА) одеты на газодымозащитников, но личный состав в них не включен. Разведка проводится в условиях ограниченной видимости. Второй вариант отличался от первого тем, что личный состав был включен в ИА. При третьем же варианте звено проводило разведку в условиях задымленности.

При рассмотрении подъема в окно четвертого этажа по автолестнице на первом этапе перед личным составом ставилась задача просто подъема. Условия выполнения отличались в зависимости от того, как был снаряжен личный состав. В первом случае поставленная задача выполнялась в боевой одежде. Во втором испытуемые дополнительно были с ИА. В третьем подъем в окно седьмого этажа осуществлялся ими после включения в ИА. Кроме того рассматривались и особенности подъема, связанные с подачей в окно седьмого этажа ствола, а также выполнение других технологических операций, характерных для деятельности личного состава газодымозащитной службы.

По результатам статистической обработки экспериментальных данных были получены коэффициенты регрессии в кодированных переменных. Например, зависимость времени выполнения задания в подвальном помещении от снаряжения газодымозащитника и времени практической подготовки (смотри рис. 1),



описывается следующими уравнениями в кодированных переменных

$$y_1 = 0.3 + 0.11x_1 + 0.42x_2, \quad (1)$$

$$y_3 = 0.26 + 0.02x_1 + 0.19x_2, \quad (2)$$

где  $y_1$  – время выполнения в кодированных переменных личным составом, имеющим опыт практической работы до одного года;  $y_3$  – более трех лет, соответственно; 0.3 (0.26) – свободный член, который характеризует выполнение рассматриваемой операции без специального вооружения и средств индивидуальной защиты;  $x_1$  – переменная, характеризующая наличие ( $x_1=1$ ) или отсутствие ( $x_1=0$ ) постоянной нагрузки, вызванной наличием у личного состава ПТВ и средств индивидуальной защиты;  $x_2$  – переменная, характеризующая выполнение задания в изолирующем аппарате ( $x_2=1$ ) или без него ( $x_2=0$ ).

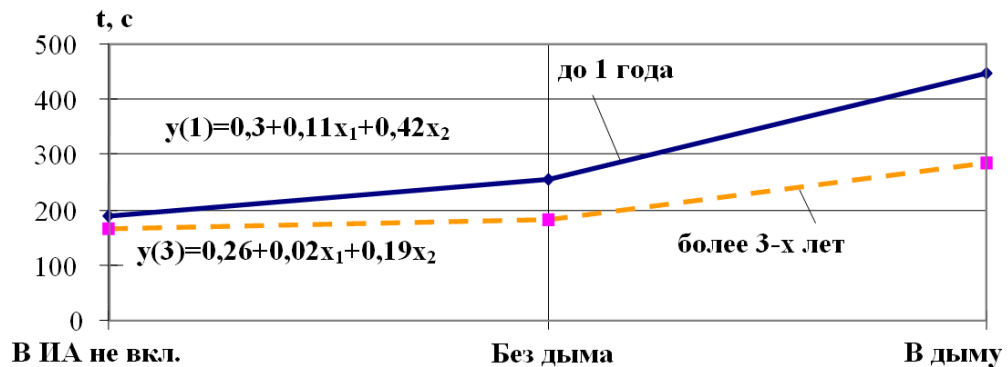


Рис. 1 – Зависимость времени выполнения задания в подвальном помещении от условий

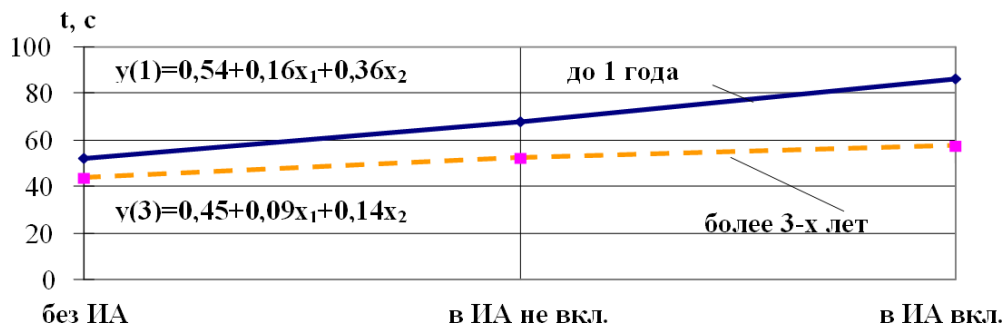
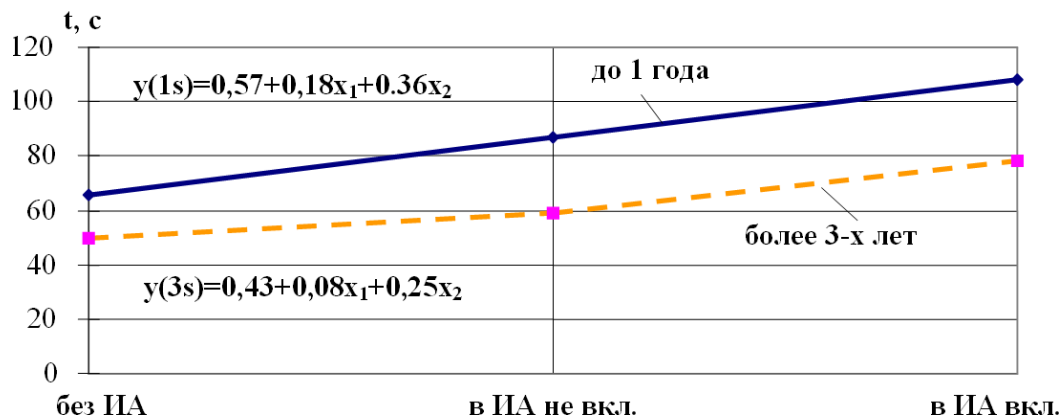


Рис. 2 – Зависимость времени подъема в окно 4-го этажа по автоступнице от оснащения спасателя

Некоторые из других полученных зависимостей приведены также на рисунках 2 и 3.



**Рис. 3 – Зависимость времени подъема в окно 4-го этажа со стволом по автолестнице от оснащения личного состава**

Анализ полученных результатов показывает, что наряду с [7] выносливостью и групповой слаженностью спасателей, способностью ориентироваться в пространстве, наличием координационных качеств на эффективность их работы влияют уровень подготовленности (в рассматриваемом случае отождествляется с опытом практической деятельности) и снаряжение личного состава (см. рис. 1, 2, 3). При этом важно отметить, что в звеньях, составленных из опытного личного состава, разница во времени выполнения задания без включения в ИА и с включением в них (но при выполнении задания без задымления помещений) весьма незначительны ( $\alpha_1 = 0.02$  на рис. 1). Это свидетельствует о том, что, в отличие от неопытного личного состава, само по себе включение в ИА не является психологически насыщенной операцией. Таковой для всего личного состава является выполнение заданий в условиях задымленности. Таким образом, с целью повышения комплексности в проведении занятий со спасателями необходимо предусмотреть создание стационарных установок, позволяющих тренировать личный состав проведению разведки со стволом и прокладыванию рукавных линий в условиях задымления, а также отрабатывать вопросы перекрытия трубопроводов. Кроме этого, целесообразно предусмотреть решение в ходе занятий вводных, связанных с эвакуацией имущества, что также требует соответствующего изменения в техническом оснащении существующих дымокамер.

Аналогичные выводы могут быть сделаны и из анализа работы спасателей на высоте (см. рис. 2). Анализ полученных результатов показал, что для недостаточно подготовленного личного состава значимыми являются как изменение физической (вследствие дополнительного веса, вызванного наличием изолирующего аппарата), так и увеличение психологической нагрузки, вызванное включением в ИА. Для опытных спасателей увеличение психологической нагрузки по этой причине является несущественным и может быть объяснено, в первую очередь, ухудшением обзора. По аналогии с выводами, направленными на совершенствование теплодымокамер, можно рекомендовать усложнение занятий, повысив их комплексность путем совмещения с подъемом на высоту других упражнений по спасательной подготовке.

С целью проверки данного предложения были проведены экспериментальные исследования, отличающиеся от описанных ранее только тем, что поставленная задача выполнялась со стволом. Полученные результаты отражены на рис.3. Их анализ показывает, что повышение комплексности учебных задач является важным элементом в совершенствовании подготовки опытного личного состава.

**Выводы.** Получены значения уровня подготовленности личного состава к выполнению типовых операций, требующих использования специального оборудования, с помощью уравнений в кодированных переменных. Полученные коэффициенты регрессии в кодированных переменных характеризуют вес рассматриваемого фактора (опыт личного состава, условия использования оборудования и т.д.) и могут быть использованы для обоснования соответствующих практических рекомендаций.

Отмечено, что, в отличие от неопытного личного состава, включение в ИА для хорошо подготовленных спасателей не является сложной операцией. Таковой для всего личного состава является выполнение заданий в непригодной для дыхания среде. Показано, что одним из путей совершенствования высотной подготовки является повышение комплексности выполняемых учебных заданий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Настанова з газодимозахисної служби пожежної охорони МВС України: Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. –

- Офіц. вид. – Київ: ГУПО МВС України, 1994. – 128 с. – (Нормативний документ Міністерства внутрішніх справ України, Настанова)
2. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні резервуарні дихальні апарати зі стисненим повітрям. Вимоги, випробування, маркування (N 137:1993, ITD): ДСТУ EN 137:2002. – К.: Держспоживстандарт України, 2002. – 65 с. – (Національний стандарт України)
  3. Метод определения работоспособности человека в средствах индивидуальной защиты : ГОСТ 12.4.061:88 – М.: Издательство стандартов, 1988. – 15 с. – (Государственный стандарт)
  4. Васильев М.В. Вдосконалення порівняльної оцінки апаратів на стисненому повітрі / М.В. Васильев, П.А. Ковальов, В.М. Стрелець // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків, 2009. – № 10. – С.91–98.
  5. Бородич П.Ю. Анализ типовых операций, обеспечивающих функционирование эргатической системы «спасатель – чрезвычайная ситуация в метрополитене – средства ее ликвидации и защиты»/ П.Ю. Бородич, В.М. Стрелец // Восточно-Европейский журнал передовых технологий: Научный журнал. – 2008. – № 2/4 (32). – С.33–35.
  6. Стрелец В.М. Использование деловой игры на базе ЭВМ для подготовки персонала диспетчерских пунктов / В.М. Стрелец // Сборник научных трудов “Социально-психологические методы практической работы в коллективе: диагностика и воздействие” – М., ИП АН СССР, 1990. – С.186–194.
  7. Стрелец В.М. Экспертная оценка профессионально-важных качеств пожарного / В.М. Стрелец, Д.Ю. Каскевич // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков, 1999. – № 6. – С.154–158.

Левтеров О.А., Стрелець В.М., Федцов А.А.

**Оцінка рівня підготовленості особового складу до роботи з пожежно-технічним озброєнням**

Отримані оцінки рівня підготовленості особового складу до виконання типових операцій, які вимагають використання спеціального обладнання, за допомогою рівнянь в кодованих перемінних. Оцінки коефіцієнтів регресії в кодованих перемінних при цьому характеризують вагу розглянутого фактору.

**Ключові слова:** підготовка, типові операції, кодовані перемінні

Levterov A.A., Strelec V.M., Fedcov A.A.

**Evaluation of the level of preparedness of personnel to work with the fire-technical equipment**

The possibility of an assessment of the level of preparedness of personnel to perform common operations that require the use of fire-technical equipment, using the equations in the coded variables. Estimates of regression coefficients in the coded variables in this case characterized by a weight factor under consideration.

**Key words:** training, model operation, coded variables

**УДК 351.861**

*Мищенко И.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ,  
Чернобай Г.А., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ,  
Колосков В.Ю., канд. техн. наук, доц., НАКУ «ХАИ»*

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ  
ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ШИРОКОПОЛОСНОМ  
ВНЕШЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

(представлено д-ром техн. наук Соловьем В.В.)

Рассматривается задача определения показателей надежности элементов конструкций с учетом внешнего случайного широкополосного воздействия с целью предотвращения аварийных ситуаций на объектах повышенной опасности

**Ключевые слова:** надежность, накопление повреждений, усталость, широкополосное воздействие

**Постановка проблемы.** При внешнем случайном воздействии в различных элементах конструкции происходит накопление усталостных повреждений, что приводит к возникновению трещин, дальнейшему их развитию и последующему разрушению или отказу. При решении большинства задач надежности вполне обоснованно можно представить параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) в виде узкополосного квазигармонического процесса. Однако в случае широкополосного внешнего воздействия такой подход не всегда является корректным, что требует учета указанного фактора при анализе процесса нако-

пления повреждений в элементах конструкций, в том числе, и на объектах повышенной опасности.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Способы схематизации исходного процесса, в частности, метод полных циклов, и приведение к эквивалентному по повреждающему действию процессу описаны в работе [1], решение задачи надежности для элементов конструкций при циклическом нагружении и различных физических моделях отказов на основе двумерных марковских моделей рассмотрено в работе [2], общая постановка задачи надежности с учетом внешнего случайного воздействия приводится в работе [3]. Вышесказанное позволяет использовать указанный подход при решении задачи надежности объектов повышенной опасности в заявленной постановке.

**Постановка задачи и ее решение.** Рассматривается задача определения показателей надежности – вероятности безотказной работы, плотности отказов и среднего времени до разрушения – элементов конструкций при внешнем широкополосном случайном воздействии. Для систем с малым затуханием такое нагружение приводит к тому, что их параметры НДС являются также широкополосными случайными процессами, представляющими суперпозицию узкополосных процессов с несущими частотами, равными резонансным. Для применения кинетических уравнений повреждений, полученных при детерминированном нагружении, к системам при случайном нагружении необходимо привести широкополосный случайный процесс  $y_e(t)$  к эквивалентному по повреждающему воздействию квазигармоническому (узкополосному)  $y_M(t)$ . В качестве методов схематизации следует принимать такие методы, которые дают результаты, наиболее близкие к экспериментальным. К таким методам в первую очередь относится метод полных циклов, что и обусловило дальнейшее использование в работе данной схематизации. В этом случае аналитические выражения для одномерной плотности вероятности амплитуд  $f(x)$  имеют вид

$$f(x) = \begin{cases} \chi^2 x \exp(-0,5\chi^2 \mu x^2), & 0 < x < x_\chi \\ x c \exp(-0,5x^2) / \chi, & x \geq x_\chi \end{cases}, \quad (1)$$

где  $\mu = \sqrt{(a + 3b)/(ab)}$ ,  $a, b, c, x_\chi$  - const, протабулированные для различных коэффициентов широкополосности  $\chi$ . Учитывая структуру случайного процесса  $y_e(t)$ , представляющего суперпозицию некоррелированных случайных процессов, по известным составляющим – дисперсиям  $\sigma_{y_i}^2$  и частотам  $\omega_j$  - определяют:

дисперсию указанного процесса и его производной

$$\sigma_{y_e}^2 = \sum_{j=1}^m \sigma_{y_j}^2; \quad \sigma_{\dot{y}_e}^2 = \sum_{j=1}^m \omega_j^2 \sigma_{y_j}^2, \quad (2)$$

эффективную частоту

$$\omega_e = \sigma_{\dot{y}_e} / \sigma_{y_e} = \left[ \frac{\sum_{j=1}^m \omega_j^2 \sigma_{y_j}^2}{\sum_{j=1}^m \sigma_{y_j}^2} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

коэффициент широкополосности

$$\chi = \frac{\left[ \int_0^\infty S_{y_e}(\omega) \omega^4 d\omega \int_0^\infty S_{y_e}(\omega) d\omega \right]^{1/2}}{\int_0^\infty S_{y_e}(\omega) \omega^2 d\omega} = \frac{\left[ \sum_{j=1}^m \omega_j^4 \sigma_{y_j}^2 \sum_{j=1}^m \sigma_{y_j}^2 \right]^{1/2}}{\sum_{j=1}^m \omega_j^2 \sigma_{y_j}^2}, \quad (4)$$

Таким образом, по характеристикам  $y_e(t)$  можно определить вероятностные характеристики процесса  $y_M(t)$ , по которым (одномерной плотности вероятности огибающей, несущей частоте, времени корреляции квадрата огибающей) синтезируется стохастическое дифференциальное уравнение (уравнение фильтра) первого порядка для огибающей  $\Lambda(t)$ , описывающее одномерный марковский процесс. Для построения этого уравнения плотность вероятности  $f(\lambda)$  аппроксимируется системой стационарных плотностей вероятности Пирсона  $P(\lambda)$ , которая удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\frac{dP(\lambda)}{d\lambda} = \frac{\lambda - a}{b_0 + b_1\lambda + b_2\lambda^2} P(\lambda). \quad (5)$$

От характера корней  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  ( $\lambda_1 < \lambda_2$ ) характеристического уравнения  $b_0 + b_1\lambda + b_2\lambda^2 = 0$  зависит интервал на оси  $\lambda \geq 0$ , на котором задано распределение  $P(\lambda)$ , и вне которого оно принимает нулевые значения. В таблице 1 приведены значения корней  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  для центрированных распределений при различных значениях коэффициента широкополосности  $\chi$ .

Проведенные исследования показали, что при схематизации процесса  $y_M(t)$  по методу полных циклов корни уравнения  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  являются вещественными и различными по знаку. По классификации Пирсона это отвечает 1-му типу распределения или  $\beta$ -распределению [4]

$$P(\lambda) = \frac{\Gamma(p+1)}{\Gamma(q)\Gamma(p-q+1)} \lambda^{q-1} (1-\lambda)^{p-q}; \quad 0 \leq \lambda \leq 1; \quad p, q > 0, \quad (6)$$

что сводит задачу аппроксимации одномерной плотности вероятности параметров НДС к определению значений параметров  $p$  и  $q$ .

**Таблица 1**

$\chi$	1.0	1.25	1.50	1.75	2.0	2.25	2.50	2.75	3.0	3.50	4.0
$\lambda_1$	-1.42	-1.03	-0.80	-0.65	-0.55	-0.48	-0.43	-0.39	-0.36	-0.31	-0.27
$\lambda_2$	5.08	5.72	5.63	5.05	4.70	4.37	4.15	3.98	3.85	3.63	3.49

На основе вышеизложенного рассматривается модель широкополосного случайного процесса нагружения, представляющего сумму двух стохастически независимых узкополосных случайных процессов  $y_1(t)$  и  $y_2(t)$  с дисперсиями  $\sigma_1^2$ ,  $\sigma_2^2$  и частотами  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ . Исследовалось влияние коэффициента широкополосности  $\chi$  на процесс нормализации плотности вероятности меры повреждений. Используя обозначения  $\omega_2 / \omega_1 = \theta$ ,  $\sigma_2 / \sigma_1 = \gamma$ , определим коэффициент широкополосности  $\chi$  как [5]



$$\chi = \frac{[(\gamma^2 \theta^4 + 1)(\gamma^2 + 1)]^{1/2}}{\gamma^2 \theta^2 + 1}. \quad (7)$$

Для  $\chi=1$  процесс  $y_2(t)$  отсутствует, тогда суммарная дисперсия  $\sigma_\Sigma^2 = \sigma_1^2$ , эффективная частота  $\omega_e = \omega_1$  и процесс нагружения является узкополосным. Таким образом, при приведении широкополосного процесса к эквивалентному узкополосному суммарная дисперсия и эффективная частота последнего для различных  $\chi$  совпадают.

**Выводы.** В элементах конструкций происходит накопление усталостных повреждений, что может привести к его разрушению и отказу. В работе предложен подход, учитывающий широкополосность параметров НДС, основанный на схематизации по методу полных циклов. Аппроксимация одномерной плотности амплитуд системой плотностей вероятности Пирсона, а именно  $\beta$ -распределением, позволяет использовать для определения показателей надежности метод, основанный на представлении параметров НДС в виде узкополосного квазигармонического процесса. Это говорит о его универсальности при решении задач надежности элементов конструкций, в том числе объектов повышенной опасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А.С. Расчет конструкций при случайных воздействиях / А.С.Гусев, В.А.Светлицкий-М.: Машиностроение, 1984.-240 с.
2. Жовдак В.А. Прогнозирование надежности элементов конструкций с учетом технологических и эксплуатационных факторов / В.А.Жовдак, И.В.Мищенко-Харьков: ХГПУ, 1999.-120 с.
3. Мищенко И.В. Постановка задачи надежности при транспортировке опасных грузов с учетом внешнего случайного кинематического воздействия / И.В.Мищенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 5. – Харків: Фоліо, 2006.-С. 150-155.
4. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника / В.И.Тихонов-М.: Радио и связь, 1982.-624 с.

5. Болотин В.В. Применение методов теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений / В.В.Болотин-М.: Стройиздат, 1971.-312 с.

Мищенко І.В., Чернобай Г.О., Колосков В.Ю.

**Вирішення задачі надійності об'єктів підвищеної небезпеки при широкосмуговому зовнішньому впливі**

Розглядається визначення показників надійності елементів конструкцій з урахуванням зовнішнього випадкового широкосмугового впливу з метою запобігання аварійних ситуацій на об'єктах підвищеної небезпеки

**Ключові слова:** надійність, накопичення пошкоджень, втомленість, широкосмуговий вплив

Mishchenko I.V., Chernobay G.A., Koloskov V.Y.

**Reliability problem decision for higher danger objects taking into account the broadband external input**

The structural elements reliability characteristics calculation problem is investigated to prevent the emergency situations on the higher danger objects. External load is assumed to be a random broadband input.

**Key words:** reliability, failures accumulation, fatigue, broadband input

*Оберемок Н.Н., адъюнкт, НУГЗУ,  
Прокопов А.В., д-р физ.-мат. наук, проф., НУГЗУ*

## **АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ**

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

Представлен алгоритм выбора оптимального варианта развития (совершенствования) метрологической деятельности в пожарно-спасательном подразделении. Оптимизация осуществляется по минимуму затрат, связанных с выполнением метрологических работ.

**Ключевые слова:** алгоритм, метрология, пожарная безопасность, оптимизация затрат

**Постановка проблемы.** Одной из основных задач МЧС является обеспечение пожарной безопасности во всех сферах деятельности человека. Создание эффективной государственной системы пожарной безопасности является многоплановой проблемой, успешное решение которой должно опираться на соблюдение норм пожарной безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов промышленного и общественно-бытового назначения, на наличие подразделений, оснащенных необходимой техникой для ликвидации пожаров, а также эффективными средствами защиты пожарных-спасателей.

В обеспечении практической деятельности пожарно-спасательных подразделений важную роль играют разнообразные количественные данные, получаемые путем измерений. В частности, без измерений трудно обойтись при испытаниях и контроле состояния пожарно-технического оборудования и средств защиты, при контроле условий в очаге пожара, при сертификации продукции, используемой в пожарном деле и т.д.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В соответствии с п.39 раздела 4 Положения о МЧС Украины, утвержденного постановлением КМУ от 12.11.2006 №1539( см. [1]) министерство «...виконує роботи із стандартизації, сертифікації, акредитації та метрологічного забезпечення діяльності.....» в сфе-

ре своей ответственности. Общий перечень таких работ определяется Законом [2], где, например, отмечается, что поверку средств измерительной техники могут осуществлять как территориальные органы Госпотребстандарта Украины, так и поверочные лаборатории предприятий и организаций, уполномоченные на ее проведение.

В то же время, в имеющихся нормативных документах отсутствуют какие либо рекомендации по организации выполнения указанных работ. Не определено, в частности, как оценить целесообразность инвестиций в данную сферу деятельности, как выбрать наиболее предпочтительный вариант выполнения таких работ при наличии альтернативных возможностей.

В общем случае решение об инвестициях должно приниматься с учетом многих факторов как экономического (оптимизация затрат), так и неэкономического (расширение функциональных возможностей, повышение эффективности работы пожарно-спасательных подразделений и др.) характера.

В то же время в ряде случаев, например, таких как замена имеющегося метрологического оборудования на более совершенное (внедрение которого позволит увеличить срок службы, сократить эксплуатационные издержки и т.п.), может оказаться полезной предварительная оценка экономической эффективности (оправданности) инвестиций в выбираемый вариант работ, определение сроков окупаемости затрат.

**Постановка задачи и ее решение.** В связи с вышесказанным в настоящей работе описан алгоритм, разработанный с целью оценки экономической целесообразности инвестиций в метрологическую деятельность пожарно-спасательных подразделений, а также выбора оптимального варианта выполнения метрологических работ, связанных с данными инвестициями. Оптимизация в данном случае осуществляется по критерию минимума затрат, необходимых для выполнения работ. Учет прочих критериев, в том числе, касающихся функциональной готовности, соответствия техническим требованиям и др., может быть проведен в рамках задачи многокритериальной оптимизации, которая требует отдельного рассмотрения.

Очевидно, что наилучшим образом приведенный далее алгоритм будет соответствовать ситуации, для которой все неэкономические критерии выполняются, и для оптимального выбора учитываются экономические факторы.

Основной идеей разработанного алгоритма является сопоставление двух вариантов, для каждого из которых оцениваются полные затраты (балансы расходов), соответствующие определенному (одинаковому для рассматриваемых вариантов) отрезку времени [3]. В качестве более эффективного (рекомендуемого) варианта выбирается тот, для которого полные затраты за  $N_{\text{ЛЕТ}}$  являются наименьшими. Если этот вариант предусматривает инвестиции, то это и означает экономическую целесообразность данных инвестиций [3].

Рассмотрим промежуток времени  $N_{\text{ЛЕТ}}$ , в течение которого осуществляется метрологическая деятельность. Сначала изменением стоимости денег со временем, в частности, за счет инфляционных факторов, будем пренебрегать, затем обобщим полученные результаты путем введения в рассмотрение дисконтирующих множителей (аналогично тому, как это было сделано в [3]).

Вариант 1. Никаких изменений в метрологической деятельности подразделения в течение всех  $N_{\text{ЛЕТ}}$  не происходит. Баланс расходов для этого варианта за  $N_{\text{ЛЕТ}}$  будет описываться формулой

$$OZ_1 = P_1 \cdot N_{\text{ЛЕТ}}, \quad (1)$$

где  $P_1$  - ежегодные расходы. Предполагается, что в отсутствие изменений деятельности ежегодный баланс расходов также не меняется.

Вариант 2. Может иметь ряд альтернатив, из которых следует выбрать оптимальную по критерию минимума затрат. В рамках данного варианта рассматриваются два этапа:

- этап инвестирования средств для развития (совершенствования) метрологической деятельности, который осуществляется в течение первых  $N_{\text{ИНВ}}$  лет; на данном этапе (этапе инвестирования) баланс расходов обозначим через  $OZ^i_{\text{ИНВ}}$  (индекс  $i$  означает  $i$ -тую альтернативу, общее число которых  $i=1,2,\dots,I$ );

- этап эксплуатации (в течение последующих  $N_{\text{ЭКСП}}$  лет) тех новых возможностей, которые появились на предыдущем этапе вследствие развития (совершенствования) метрологической деятельности (очевидно, что  $N_{\text{ЛЕТ}} = N_{\text{ИНВ}} + N_{\text{ЭКСП}}$ ); на данном этапе баланс расходов обозначим  $OD^i_{\text{ЭКСП}}$  (для  $i$ -той альтернативы).

На этапе инвестирования баланс расходов при неизменных (в течение  $N_{ИНВ}$  лет) ежегодных расходах и доходах определяется формулой

$$OZ_{ИНВ}^i = P_{2И}^i \cdot N_{ИНВ}, \quad (2)$$

где  $P_{2И}^i$  - ежегодные расходы на этапе инвестирования (для  $i$ -той альтернативы).

На этапе эксплуатации баланс расходов также при неизменных (в течение  $N_{ЭКСП}$  лет) ежегодных расходах определяется формулой

$$OD_{ЭКСП}^i = P_{2Э}^i \cdot N_{ЭКСП}, \quad (3)$$

где  $P_{2Э}^i$  - ежегодные расходы на этапе эксплуатации (для  $i$ -той альтернативы).

Объединяя вместе оба этапа, получим полные затраты по второму варианту для  $i$ -той альтернативы

$$OZ_2^i = OZ_{ИНВ}^i + OD_{ЭКСП}^i = P_{2И}^i \cdot N_{ИНВ} + P_{2Э}^i \cdot N_{ЭКСП}, \quad (4)$$

Инвестирование средств с целью развития (совершенствования) метрологической деятельности подразделения будет экономически целесообразным, если при сравнении 1-го и 2-го вариантов реализуется неравенство  $OZ_2^i < OZ_1$ . Оптимальной будет та альтернатива по варианту 2, для которой затраты  $OZ_2^i$  будут минимальны. Обозначая  $OZ_2 = \min_{1 \leq i \leq I} OZ_2^i = P_{2И} \cdot N_{ИНВ} + P_{2Э} \cdot N_{ЭКСП}$ , получим условие экономической целесообразности инвестиций для оптимального варианта реализации метрологических работ.

$$P_{2И} \cdot N_{ИНВ} + P_{2Э} \cdot N_{ЭКСП} < P_1 \cdot N_{ЛЕТ}. \quad (5)$$

Отметим, что величина превышения правой части неравенства (5) над левой определяет выигрыш, получаемый от инвестиции.

Важным моментом для принятия решения об инвестировании средств является определение срока окупаемости инвестиции. Обозначим срок окупаемости через  $N_{ОКУП}$  (т.е. при определении

срока окупаемости принимаем  $N_{ЭКСП} = N_{ОКУП}$ ), тогда  $N_{ОКУП}$  определяется из уравнения

$$(P_{2И} - P_1) \cdot N_{ИНВ} = (P_1 - P_{2Э}) \cdot N_{ОКУП}, \quad (6)$$

полученного из (5) путем замены знака неравенства на знак равенства (а также -  $N_{ЭКСП}$  на  $N_{ОКУП}$ ). Откуда

$$N_{ОКУП} = \frac{(P_{2И} - P_1) \cdot N_{ИНВ}}{P_1 - P_{2Э}}, \quad (7)$$

Таким образом, мы получили условие (5) экономической целесообразности инвестиций для оптимального варианта развития (совершенствования) метрологической деятельности пожарно-спасательного подразделения и оценку (7) времени окупаемости инвестиций в условиях, когда стоимость денег не меняется (например, когда инфляция отсутствует).

Нетрудно показать, что с учётом ставки дисконтирования  $r$  (в соответствии со схемой расчетов, предложенной в [3]) условие экономической целесообразности инвестиций (5) и формула для времени окупаемости (7) могут быть представлены в виде (для  $r = \text{const}$ )

$$P_{2И} \left( \sum_{i=1}^{N_{ИНВ}} (1+r)^{i-1} \right) + P_{2Э} \left( \sum_{i=1}^{N_{ЭКСП}} (1+r)^{i-1} \right) < P_1 \left( \sum_{i=1}^{N_{ЛЕТ}} (1+r)^{i-1} \right), \quad (8)$$

$$N_{ОКУП} = \frac{1}{\ln(1+r)} \ln \frac{P_{2И} \left[ (1+r)^{N_{ИНВ}} - 1 \right] + (P_1 - P_{2Э})}{P_1 (1+r)^{N_{ИНВ}} - P_{2Э}}. \quad (9)$$

**Выводы.** Обоснована количественная модель оценки экономической целесообразности инвестиций для оптимального варианта развития (совершенствования) метрологической деятельности пожарно-спасательного подразделения. Даны соотношения, позволяющие рассчитать выигрыш от инвестиций и время их окупаемости. Разработанные алгоритмы могут быть положены в основу соответствующих методик планирования расходов на выполнение метрологических работ с учетом инфляционных процессов,

например, расходов, необходимых для выполнения планов (программ) совершенствования метрологической деятельности в пожарно-спасательных подразделениях МЧС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Законодавчі та нормативні акти, що стосуються діяльності МНС України [Електронний ресурс].-Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/law\\_acts.html](http://www.mns.gov.ua/content/law_acts.html).
2. Закон України «О внесении изменений в Закон Украины «О метрологической деятельности» от 15.06.2004, №1765-IV.
3. Количественные методы оценки экономической целесообразности инвестиций в метрологическую деятельность /А.В. Прокопов, Л.Н.Красоха, Ю.А. Егоров//Наукові праці науково-технічної конференції «Метрологія та вимірювальна техніка», т.1,Харків: ННЦ «Інститут метрології»,2008,-с.102-104.

Оберемок М.М., Прокопов О.В.

**Алгоритм оцінки економічної доцільності інвестицій в метрологічну діяльність пожежно-рятувальних підрозділів**

Представлений алгоритм вибору оптимального варіанту розвитку (вдосконалення) метрологічної діяльності пожежно-рятувальному підрозділі. Оптимізація здійснюється по мінімуму витрат, пов'язаних з виконанням метрологічних робіт.

**Ключові слова:** алгоритм, метрологія, пожежна безпека, оптимізація витрат

Oberemok M.M., Prokopov O.V.

**The algorithm for evaluating the economic expediency of investment in metrological activity of fire-rescue units**

An algorithm for selection of an optimum variant of development (perfection) of metrological activity in the fire-rescue subdivision. Optimization is to minimize the costs related to the implementation of metrological works.

**Key words:** algorithm, metrology, fire safety, optimization of expenses



*Попов В.М., канд. техн. наук, проректор, НУГЗУ,  
Ромин А.В., канд. техн. наук, ИО нач. фак., НУГЗУ,  
Фесенко Г.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

## **ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРЬ НАСЕЛЕНИЯ В ЗОНАХ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ЗАТОПЛЕНИЯ С УЧЕТОМ СТЕПЕНИ НЕАДЕКВАТНОСТИ ДЕЙСТВИЙ СИЛ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ И НАСЕЛЕНИЯ**

(представлено д-ром техн. наук Яковлевой Р.А.)

Рассмотрены вопросы прогнозирования потерь населения при чрезвычайных ситуациях вследствие гидродинамических аварий с учетом степени неадекватности действий сил гражданской защиты и населения, попавшего в зоны катастрофического затопления

**Ключевые слова:** катастрофическое затопление, безвозвратные и санитарные потери, зоны бурного, сильного, среднего и слабого течения

**Постановка проблемы.** В последнее время вследствие недостаточного финансирования значительно ухудшилось состояние гидротехнических сооружений (ГТС) Украины. Особую обеспокоенность вызывает состояние комплекса ГТС на реке Днепр, состоящего из 308 км дамб, 145,4 км берегоукрепляющих сооружений, а также 28 насосных и 3 компрессорных станций. Эксплуатация данных сооружений в сложных гидрологических условиях с большой нагрузкой на протяжении 30-45 лет привела к их значительному износу, а также к выработке установленного моторесурса электрическим и силовым оборудованием насосных и компрессорных станций [1]. Данное обстоятельство значительно повышает риск возникновения на данном комплексе ГТС чрезвычайных ситуаций (ЧС) класса 11100 (ЧС вследствие гидротехнических аварий) [2] и делает актуальной задачу совершенствования существующих методик прогнозной оценки потерь населения вследствие таких аварий.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проведенный анализ существующих подходов к прогнозированию потерь в зонах катастрофического затопления [3-6] позволяет сде-

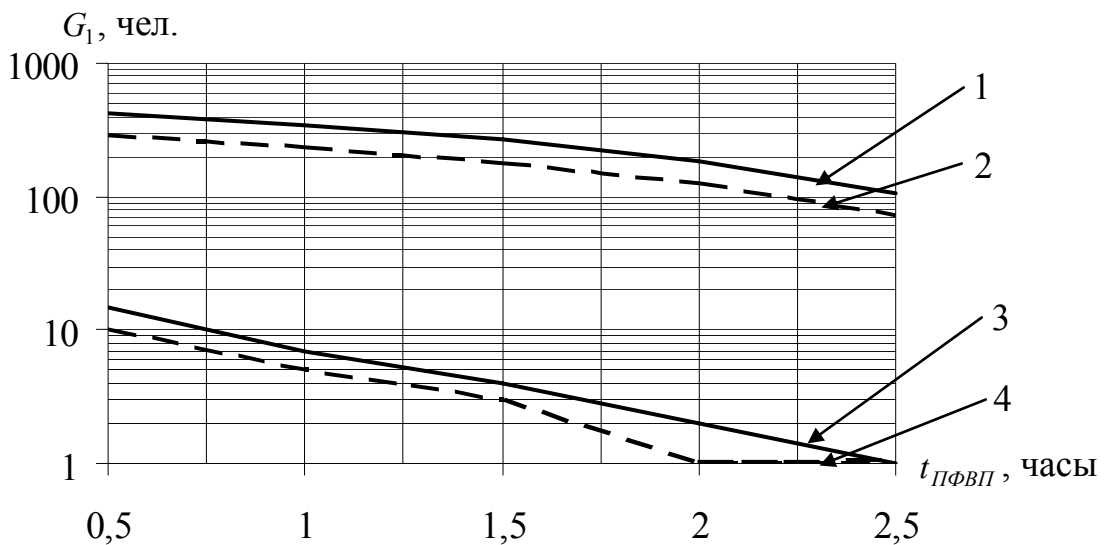
лать вывод о том, что они в недостаточной степени учитывают степень неадекватности действий сил гражданской защиты (ГЗ) и населения, принимая, как правило, допущения о полной неадекватности таких действий, то есть, рассматривая самый пессимистиче-ский прогноз. Авторы на основе анализа результатов исследований, представленных в [7-9], предлагают подход, позволяющий производить прогнозирование с учетом степени неадекватности действий сил ГЗ и населения, направленных на уменьшение числа потерь.

**Постановка задачи и ее решение.** Произведем прогнозную оценку безвозвратных потерь в ночное время в зоне сильного течения катастрофического затопления с учетом адекватности действий сил ГЗ в ледоставный и безледоставный период, а также исследуем зависимость данных потерь от времени прихода волны прорыва. Для проведения исследований воспользуемся следующей формулой расчета потерь в зоне катастрофического затопления [10]

$$G_i = \sum_{p=1}^4 g_{ip} = k_{ip}^{(vt)} \cdot N_p \cdot w(t_{ПФВП}), \quad (1)$$

где  $g_{ip}$  - количество потерь  $i$ -го вида в  $p$ -ой зоне катастрофического затопления, причем  $i=1$  для обозначения безвозвратных потерь (летальные исходы);  $i=2$  для обозначения санитарных потерь (ранения и травмы различной степени тяжести);  $p=1$  для обозначения зоны бурного течения;  $p=2$  для обозначения зоны сильного течения;  $p=3$  для обозначения зоны среднего течения;  $p=4$  для обозначения зоны слабого течения;  $k_{ip}^{(vt)}$  - коэффициент для определения потерь  $i$ -го вида в  $p$ -ой зоне катастрофического затопления в  $v$ -ое время суток  $t$ -го периода года, причем:  $v=1$  для обозначения дня,  $v=2$  для обозначения ночи;  $t=1$  для обозначения безледоставного периода года,  $t=2$  для обозначения ледоставного периода (например,  $k_{23}^{(12)}$  - коэффициент для определения санитарных потерь в зоне среднего течения в дневное время суток ледоставного периода года);  $w(t_{ПФВП})$  - функция, характеризующая степень неадекватности действий сил гражданской защиты и населения при катастрофическом затоплении в зависимости от времени прихода фронта волны прорыва  $t_{ПФВП}$ .

С использованием (1) были рассчитаны безвозвратные потери для различных значений  $t_{ПФВП}$  в условиях адекватности действий сил ГЗ и населения для различного периода года и числа жителей в зоне затопления (рис.1). Кроме этого, были рассчитаны потери для случая полной неадекватности сил ГЗ и населения ( $w(t_{ПФВП})=1$ ):  $G_1=24$  чел. и  $G_1=36$  чел. в безледоставный и ледоставный период соответственно при числе жителей в зоне  $N_2 = 480$  чел.,  $G_1=360$  чел. и  $G_1=533$  чел. в безледоставный и ледоставный период соответственно при числе жителей в зоне  $N_2 = 7200$  чел.

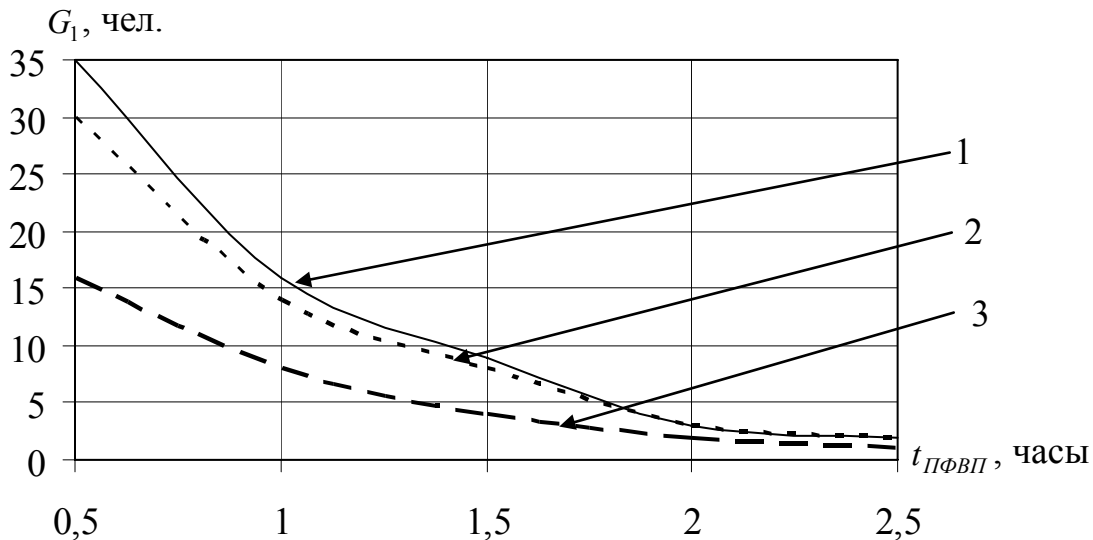


**Рис. 1 – График зависимости безвозвратных потерь в зоне сильного течения катастрофического затопления от времени прихода фронта волны прорыва при условии выполнения мероприятий гражданской защиты (площадь зоны - 24 км<sup>2</sup>; время суток – ночь): 1 и 2 - в ледоставный и безледоставный период соответственно при попадании в зону сильного течения 7200 человек; 3 и 4 - в ледоставный и безледоставный период соответственно при попадании в зону сильного течения 480 человек**

Анализ графиков, представленных на рис.1, позволяет сделать следующие выводы:

для обоих вариантов числа жителей  $N_2$  в зоне наблюдается тенденция к уменьшению числа потерь  $G_1$  с увеличением времени  $t_{ПФВП}$  (при  $N_2 = 480$  чел. потери при  $t_{ПФВП} = 2,5$  часа в 10 и 15 раз соответственно меньше в ледоставный и безледоставный период,

чем при  $t_{\text{ПФВП}} = 0,5$  часа; при  $N_2 = 7200$  чел. потери при  $t_{\text{ПФВП}} = 2,5$  часа в 4 раза меньше в любой период года, чем при  $t_{\text{ПФВП}} = 0,5$  часа).



**Рис. 2 – График зависимости безвозвратных потерь от времени прихода фронта волны прорыва при условии выполнения мероприятий гражданской защиты (площадь зоны - 24 км<sup>2</sup>; время суток – ночь; количество человек во всех зонах катастрофического затопления – 480): 1 - вариант размещения по зонам:  $N_1 = 120$  чел. (25%);  $N_2 = 24$  чел. (5%);  $N_3 = 48$  чел. (10%);  $N_4 = 288$  чел. (60%); 2 - вариант размещения по зонам:  $N_1 = 96$  чел. (20%);  $N_2 = 48$  чел. (10%);  $N_3 = 96$  чел. (20%);  $N_4 = 240$  чел. (50%); 3 - вариант размещения по зонам:  $N_1 = 24$  чел. (5%);  $N_2 = 288$  чел. (60%);  $N_3 = 48$  чел. (10%);  $N_4 = 120$  чел. (50%)**

В случае адекватности действий сил ГЗ и населения потери  $G_1$  значительно ниже, чем для условия полной неадекватности (при  $t_{\text{ПФВП}} = 1,5$  часа они в 8 и 9 раз меньше соответственно в ледоставный и безледоставный период для  $N_2 = 480$  чел. и в 2 раза в любой период для  $N_2 = 7200$  чел.).

В случае, когда рассчитан ущерб от чрезвычайной ситуации (ЧС) класса 11100 (ЧС вследствие гидродинамических аварий), данные о безвозвратных потерях позволяют определить уровень данной ЧС по критерию «Погибло лиц» в соответствии с [11]. Пример табличного представления уровней ЧС данного класса при различных значениях величины ущерба и времени прихода фронта волны прорыва проиллюстрирован с помощью табл.1.

**Таблиця 1 – Уровни ЧС класса 11100 (ЧС вследствие гидродинамических аварий), определенные по значению критерия «Погибло лиц» (с учетом размера ущерба) для различных значений времени  $t_{ПФВП}$  при условии: время суток – ночь; площадь зоны =24 км<sup>2</sup>;  $N_2=420$ )**

Ущерб, МРЗП	501- 2000		2001- 5000		5001- 15000		15001- 25000		25001- 150000		>150000	
	БП	ЛП	БП	ЛП	БП	ЛП	БП	ЛП	БП	ЛП	БП	ЛП
$t_{ПФВП}$ , часы												
0,5	Р	Г	Р	Г	Р	Г	Р	Г	Г	Г	Г	Г
1	М	Р	М	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Г	Г	Г
1,5	М	М	М	М	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Г	Г
2	М	М	М	М	М	М	Р	Р	Р	Р	Г	Г
2,5	М	М	М	М	М	М	Р	Р	Р	Р	Г	Г

*Примечание:* МРЗП – минимальный размер заработной платы; БП – безлестованный период; ЛП – дедоставный период; Г,Р,М и О – соответственно государственный, региональный, местный и объектовый уровень ЧС.

**Выводы.** В работе рассмотрены возможности прогнозирования потерь населения в зонах катастрофического затопления с учетом степени неадекватности действий сил гражданской защиты и населения при катастрофическом затоплении в зависимости от времени прихода фронта волны прорыва. Выявлена тенденция к существенному снижению числа потерь населения при уменьшении времени прихода волны прорыва с 0,5 часа до 2 часов (в 10 раз потери меньше в ледоставный период и в 15 раз – в безлестованный). Показана возможность использования нормативного документа [11] для определения уровней ЧС вследствие гидродинамических аварий по значению критерия «Погибло лиц» (с учетом размера ущерба) для различных значений времени прихода фронта волны прорыва.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2009 році [Електронний ресурс].- Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/annual\\_report/2010](http://www.mns.gov.ua/annual_report/2010).
2. Державний класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. (Затверджений наказом Держспоживстандарту України

від 11.11.2010 р., № 457) - (Нормативний документ Держспоживстандарту України. Національний класифікатор).- К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 19 с.

3. Организация экстренной медицинской помощи населению при стихийных бедствиях и других чрезвычайных ситуациях/ [под ред. В.В. Мешкова]. - М.:МП «Медикас», 1992. – 194 с.

4. Секисова И.А. Результаты расчета параметров волны прорыва и определения ущерба в результате прорыва напорного фронта грунтовых плотин гидроузлов /И.А. Секисова //Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК. Материалы международной научно-практической конференции. Часть 2. - Москва: МГУП, 2007. – 234 с.

5. Бурцев А.А. Оценка рисков аварийных ситуаций на гидроэлектростанциях Красноярского края /А.А. Бурцев, В.В., Ничепорчук, К.В. Симонов //Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2008. - № 1(2). – С. 207-218.

6. Биченок М.М. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі /М.М. Биченок, С.П. Іванюка, Є.О. Яковлев. – К.: ІПНБ РНБО, 2008. – 160 с.

7. Детерминированные методы количественной оценки экологической опасности аварий на гидротехнических сооружениях /[Козлитин А.М., Попов А.И., Хрусталеv В.А. и др.] //Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты. Международный научный сборник. – Саратов: СГТУ, 2001. - С. 69-82.

8. Математические модели и методы количественной оценки экологического и интегрированного риска аварий гидротехнических сооружений /[Козлитин А.М., Попов А.И., Богущ Б.Б. и др.] //Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты. Международный научный сборник. – Саратов: СГТУ, 2001. - С. 83-124.

9. Козлитин А.М. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы /А.М. Козлитин., А.И. Попов, П.А. Козлитин. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. - 178 с.

10. Попов В.М. Особенности прогнозной оценки потерь населения вследствие гидродинамической аварии с учетом сезонно-временных факторов /В.М. Попов, А.В. Ромин, Г.В. Фесенко //Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. Наук. пр. УЦЗ України. Вип. № 10. – Харків: УЦЗУ, 2009. – С.127 -132.

11. Порядок класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями: Постанова Кабінету Міністрів України від 24.03.2004, № 368 [Електронний ресурс].- (Нормативний документ Кабінету Міністрів України. Постанова). – Режим доступу: <http://www.lnu.edu.ua/faculty/bzhd/ZO/368-2004.htm>.

Попов В.М., Ромин А.В., Фесенко Г.В.

**Прогнозна оцінка втрат населення в зонах катастрофічного затоплення з урахуванням ступеня неадекватності дій сил цивільного захисту та населення**

Розглянуті питання прогнозування втрат населення під час гідродинамічних аварій з урахуванням ступеня неадекватності дій сил цивільного захисту та населення різної чисельності, що потрапляє до зон катастрофічного затоплення

**Ключові слова:** катастрофічне затоплення, безповоротні і санітарні втрати, зони бурної, сильної, середньої та слабкої течії

Popov V.M., Romin A.V., Fesenko G.V.

**A prognosis estimation of losses of population is in the zones of catastrophic flood taking into account the degree of inadequacy of actions of civil defence forces and population**

The questions of prognostication of losses of population are during hydrodynamic accidents taking into account the degree of inadequacy of actions of civil defence forces and population of different quantity which gets to the zones of catastrophic flood are considered

**Key words:** catastrophic flood, irretrievable and sanitary losses, zones of stormy, strong, middle and weak swash

УДК 303.09

*Рогозін А.С., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,  
Хоменко В.С., ст. викл., НУЦЗУ*

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ФУНКЦІЙ КООРДИНАЦІЇ ТА РЕГУЛЮВАННЯ У ЗДІЙСНЕННІ НАГЛЯДОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.М.)

Розроблено підхід щодо вдосконалення діяльності органів Державної інспекції техногенної безпеки України територіального рівня, за функціями регулювання та координації, виходячи з характеру техногенних загроз території

**Ключові слова:** вдосконалення, інспекція техногенної безпеки, регулювання, координація, періодичність наглядової діяльності

**Постановка проблеми.** Відповідно до законодавчих актів [1-3] одним з пріоритетних напрямків діяльності щодо забезпечення цивільного захисту населення та територій є діяльність превентивного характеру, яка направлена на здійснення контролю за дотриманням вимог безпеки на потенційно небезпечних об'єктах. Аналіз організації здійснення діяльності за цим напрямком дає підстави казати про відсутність механізмів уточнення та корегування здійснення наглядової діяльності виходячи з позицій врахування місцевих особливостей техногенних загроз. Враховуючи, що фактори ризику мають тенденції до динамічних змін, розробка підходів щодо регулювання та корегування здійснення наглядової діяльності є актуальною науковою задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У [4-5] викладені загальні методологічні аспекти реалізації функцій регулювання та координації. Питанням дослідження багатовимірних даних присвячені роботи [6-8]. Роботи щодо застосування методів головних компонент, та кластерного аналізу для уточнення та корегування здійснення наглядової діяльності в сфері цивільного захисту відсутні, що обумовлює зниження ефективності заходів за функцією організації.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є вдосконалення функцій корегування та регулювання у здійсненні наглядової діяльності з врахуванням особливостей об'єктів нагляду на території. На сучасному етапі наглядова діяльність здійсню-



ється періодично з інтервалами відповідно до ступенів ризику об'єктів [9].

Механізм розподілу об'єктів за ступенем ризику згідно [9] має нормативний характер. Враховуючи це, вдосконалення наглядової діяльності може бути реалізовано регулюванням діяльності наглядового органу в межах визначених груп за ступенем ризику.

Виходячи з цілей та завдань наглядового органу та використовуючи принципи поділу об'єктів за ступенем ризику можна визначити що одним з перспективних напрямів вдосконалення наглядової діяльності є корегування перевірок враховуючи чинники ризику та інтенсивність виникнення надзвичайних подій. Потік виникнення надзвичайних подій підкоряється закону Пуассона [10]

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  - інтенсивність виникнення надзвичайних подій;  $t$  - інтервал часу;  $k$  - кількість подій на протязі  $t$ .

Ймовірність того що за інтервал часу не відбудеться жодної надзвичайної події ( $k=0$ ), можна визначити наступним чином

$$P_0(t) = \frac{(\lambda t)^0}{0!} e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

відповідно, ймовірність того, що відбудуться надзвичайної події, визначимо як

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Проведення перевірок об'єктів наглядовим органом знижує інтенсивність виникнення надзвичайних подій, відповідно існує можливість впливати на ймовірність виникнення надзвичайних подій шляхом регулювання основної діяльності наглядового органу.

При розгляді функції розподілу ймовірності виникнення надзвичайних подій на території курації, можна стверджувати, що істотний вплив на зниження ймовірності виникнення надзвичай-

них подій оказує об'єм і періодичність перевірки стану підконтрольних об'єктів. На сучасному етапі чітких, однозначних, науково обґрунтованих підходів щодо рішення задачі регулювання перевірок потенційно небезпечних об'єктів не розроблено.

Розробка підходів щодо регулювання наглядової діяльності вимагає, по-перше, обґрунтування критеріїв і показників ефективності превентивної діяльності наглядового органу, по друге, збір і обробку даних пов'язаних з виникненням, розвитком та наслідками виникнення надзвичайних подій на потенційно небезпечних об'єктах з метою подальшого визначення чинників, що роблять істотний вплив на величину їх техногенного ризику, в третіх, вибір механізму багатовимірною групування потенційно небезпечних об'єктів з урахуванням їх індивідуальних особливостей та чинників ризику, в четвертих, розробку підходів визначення об'ємів і періодичності перевірок об'єктів, враховуючи особливості об'єктів і території курації.

В якості критеріїв ефективності можуть бути обрані:

- критерії що відображають економічну ефективність здійснення наглядової діяльності;
- ймовірність виникнення надзвичайних подій на потенційно небезпечних об'єктах;
- рівень техногенного ризику території;
- рівень індивідуального ризику на території;
- інші критерії.

Найбільш інформативним критерієм наглядової діяльності, на наш погляд, є ймовірність виникнення надзвичайних подій на території курації. За стабільних умов здійснення наглядової діяльності виникнення надзвичайних подій є випадковою подією, яка може відбутися або не відбутися, що обумовлюється залежністю від багатьох випадкових чинників (погодні умови, старіння ізоляційних матеріалів, людський фактор і т. п.). При достатньо великій кількості спостережень ймовірність виникнення надзвичайних подій може бути визначена як відношення кількості об'єктів,  $n_p$  на яких виникли надзвичайних подій, до загальної кількості об'єктів  $n$

$$\psi = \frac{n_p}{n}. \quad (4)$$

За наявності на практиці обмеженого числа об'єктів за формулою (3) може бути оцінене лише наближене значення ймовірності виникнення надзвичайних подій  $h$ , що прийнято називати частотою. При розгляді частоти виникнення надзвичайних подій на об'єктах що належать одній території в різні однакові інтервали часу виходитимуть різні значення частоти  $h$ , яка, таким чином, є випадковою величиною.

Довірчий інтервал  $\psi$  при надійності 0,9 може бути отриманий за наступною формулою [11]

$$I_{\beta} = \pm \frac{h + (0.5 \cdot 1.643^2) / n \pm 1.643 \sqrt{h(1-h) / n + 0.25 \cdot (1.643^2) / n^2}}{1 + (1.643^2) / n}. \quad (5)$$

Виявлення чинників, що роблять істотний вплив на величину техногенного ризику потенційно небезпечних об'єктів на території необхідно здійснювати використовуючи метод головних компонент, який дозволяє зменшити розмірність даних, втративши найменшу кількість інформації. Методологія підходів щодо здійснення аналізу методом головних компонент представлена в роботах [6 - 7]. Головні компоненти є ортогональною системою координат, в якій дисперсії компонент характеризують їх статистичні властивості. Наявність великої кількості початкових ознак, що характеризують процес функціонування об'єктів практично унеможлиблює їх комплексну оцінку та примушує відбирати з них найбільш істотні і вивчати менший набір показників. Початкові ознаки піддаються перетворенню, яке забезпечує мінімальну втрату інформації. Метод дозволяє враховувати ефект багатовимірності даних, дає можливість лаконічного або простішого пояснення багатовимірних структур. Він розкриває об'єктивно існуючі, безпосередньо не спостережувані закономірності за допомогою отриманих факторів або головних компонент. Він дає можливість досить просто і точно описати початкові дані, структуру і характер взаємозв'язків між ними. У зв'язку з тим що реалізація методу головних компонент для пояснюючих змінних більше трьох потребує виконання великої кількості розрахунків, алгоритми визначення коефіцієнтів головних компонент реалізуються за допомогою EOM в середовищі пакетів прикладних програм MATLAB, Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), STATISTICA.

За результатами проведення компонентного аналізу буде отриманий ряд факторів що роблять істотний вплив на ризик видосконалення функцій координації та регулювання у здійсненні наглядової діяльності

никнення надзвичайних подій на об'єктах, для групування об'єктів нагляду за визначеними факторами необхідно вирішити п – мірне завдання щодо розподілу об'єктів за ступенем ризику виникнення надзвичайних подій. Для вирішення цього нетривіального завдання можливо використовувати метод кластерного аналізу, в результаті використання якого будуть отримані групи об'єктів з певним ступенем однорідності чинників ризику.

Наступним етапом організації діяльності наглядових органів, є визначення періодичності перевірок потенційно небезпечних об'єктів з урахуванням розподілу об'єктів на групи. В якості критеріїв визначення періодичності здійснення нагляду, в залежності від встановлених пріоритетів, можна прийняти: ймовірність виникнення надзвичайних подій ( $P$ ); кількість надзвичайних подій на підконтрольних об'єктах ( $C$ ); матеріальні збитки від надзвичайних подій ( $W$ ); людські втрати ( $G$ )

$$P = \sum_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda(t_i)}) \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$C = N - \sum_{i=1}^n C_i e^{-\lambda(t_i)} \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$W = \sum_{i=1}^n C_i W_i (1 - e^{-\lambda(t_i)}) \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$G = \sum_{i=1}^n C_i G_i (1 - e^{-\lambda(t_i)}) \rightarrow \min, \quad (9)$$

де  $C_i$ ,  $W_i$ ,  $G_i$  - кількість об'єктів, середні збитки та показники людських втрат  $i$ -тих груп об'єктів відповідно;  $N$  – загальна кількість об'єктів нагляду;  $t_i$  – час періодичності здійснення нагляду.

Для побудови цільових функції періодичності здійснення нагляду (5-8) необхідно мати залежність інтенсивності виникнення надзвичайних подій від періодичності здійснення нагляду  $\lambda = f(t)$ .

Функціональна залежність може бути знайдена в результаті аналізу статистичних даних щодо ймовірності виникнення надзвичайних подій на об'єктах з врахуванням

$$\lambda = -\frac{\ln(1-h)}{t}, \quad (10)$$

де  $h$  – частота виникнення надзвичайних подій.

Отримані цільові функції також можуть бути використані для корегування діяльності наглядового органу в плані розподілу резервів часу що виникають в будь якій системі яка існує в умовах дії чинників стохастичного характеру.

**Висновки.** Запропонований підхід щодо вдосконалення здійснення функцій регулювання та координації дає можливість адаптації наглядової діяльності до особливостей об'єктів нагляду території, оптимізувати резерви часу наглядового органу у здійсненні основної діяльності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України “Про правові засади цивільного захисту” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1859-15>.
2. Закон України “Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1809-14>.
3. Закон України “Про об'єкти підвищеної небезпеки” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2245-14>.
4. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами/ Д.А. Новиков – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
5. Воронин А.А., Мишин Оптимальные иерархические структуры/ А.А. Воронин, С.П. Мишин – М.: ИПУ РАН, 2003. – 214 с.
6. Ким Д.О., Мьюллер Ч. У. Факторный анализ: статистические методы и практические вопросы/Д.О.Ким, Ч. У. Мьюллер. – М.: Финансы и статистика, 1989.– 215 с.
7. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности [Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. ] – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607с.
8. Кендалл М. Статистические выводы и связи / М.Кендалл, А. Стьюарт – М.: Наука, 1973. – 900 с.
9. Постанова Кабінету Міністрів України від 28 травня 2008 р. N 493 “Про затвердження критеріїв розподілу суб'єктів госпо-

дарювання за ступенем ризику від провадження господарської діяльності для безпеки життя і здоров'я населення, навколишнього природного середовища та періодичності здійснення заходів державного нагляду (контролю)”[Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=493-2008-%EF>.

10. Брушлинский Н.Н. Системный анализ и проблемы безопасности народного хозяйства / Брушлинский Н.Н.– М.: Стройиздат, 1988. – 413 с.
11. Вентцель Е.С. Исследование операций / Вентцель Е.С. – М.: Советское радио, 2001. – 208 с.

Рогозин А.С. Хоменко В.С.

**Функции координации и регулирования в осуществлении надзорной деятельности**

Разработан подход совершенствования деятельности органов государственной инспекции техногенной безопасности Украины территориального уровня, за функциями регулирования и координации, исходя из характера техногенных угроз территории

**Ключевые слова:** совершенствование, инспекция техногенной безопасности, регулирование, координация, периодичность надзорной деятельности

Rogozin A.S. Homenko V.S.

**Functions of coordination and regulation in realisation of supervising activity**

The approach of perfection of activity of the state inspection of technogenic safety of Ukraine territorial level, regulation and coordination functions, proceeding from character of technogenic threats of territory is developed

**Key words:** perfection, inspection of technogenic safety, regulation, coordination, periodicity of supervising activity

*Светличная С.Д., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

## **ОЦЕНКА ПОЛУЧЕННОЙ ТОКСОДОЗЫ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПЕРВИЧНОГО ОБЛАКА ТОКСИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА**

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

Построена оценка полученной токсодозы при распространении первичного облака токсического вещества, учитывающая разрушение и выведение токсического вещества из организма человека

**Ключевые слова:** токсическое вещество, первичное облако, токсодоза

**Постановка проблемы.** При чрезвычайных ситуациях, вызванных выбросом в атмосферу токсических веществ, рассматривают распространение первичного и вторичного облака. Первичное облако образуется при разливе и испарении сжиженных газов или быстроиспаряющихся жидкостей. Вторичное облако – при разливе медленно испаряющихся жидкостей или непрерывном истечении токсического вещества. Наибольшую опасность представляет распространение первичного облака. Поэтому при проектировании тех или иных технологических сооружений, использующих токсические вещества, необходимо оценить степень воздействия этих веществ на персонал и население в случае аварии.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для оценки степени воздействия токсического вещества на человека используются понятия поражающих концентраций или токсодозы. В первом случае выделяют поражающие концентрации при длительном воздействии (обычно около 60 мин) и мгновенном воздействии [2]. При этом отсутствуют данные о степени воздействия токсических веществ при промежуточных концентрациях и временах воздействия. Во втором случае обычно используют формулу Габера, определяющую токсодозу как произведение концентрации токсического вещества в воздухе на время его воздействия [2] или некоторые ее модификации [1]. Недостатком формулы Габера и ее модификаций является то, что из них следует, что при достаточно большом времени воздействия токсичной будет любая концентрация вещества. Хотя для любого токсического вещества существует

---

Оценка полученной токсодозы при распространении  
первичного облака токсического вещества

безвредный уровень его концентрации. В [3] предложена модель воздействия токсического вещества на человека, лишенная этого недостатка. Однако полученные формулы применимы лишь для постоянных во времени концентраций вещества в воздухе, что не соответствует характеру первичного облака.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является оценка полученной токсодозы при распространении первичного облака токсического вещества.

В [3] предложена модель воздействия токсического вещества на организм человека, учитывающая интенсивность попадания токсического вещества в организм и интенсивность его детоксикации, что приводит к выражению для полученной токсодозы в виде

$$Ct = C \frac{1}{\beta} (1 - e^{-\beta t}), \quad (1)$$

где  $Ct$  – токсодоза;  $C$  – концентрация вещества в воздухе;  $\beta$  – параметр, имеющий размерность, обратную времени, и характеризующий интенсивность детоксикации организма для заданного вещества. Значение параметра  $\beta$  может быть определено на основании данных о величине пороговой ингаляционной токсодозы для различных времен экспозиции.

В случае, когда концентрация вещества является функцией времени, повторяя все рассуждения, приведенные в [3], вместо (1) получим

$$Ct = e^{-\beta t} \int_0^t C(t) e^{\beta t} dt. \quad (2)$$

При распространении первичного облака концентрация вещества в воздухе в точке  $(x, y, z)$  в момент времени  $t$  описывается выражением

$$C(x, y, z, t) = \frac{m}{8(\pi at)^{3/2}} \exp \left[ -\frac{(x - vt)^2}{4at} - \frac{y^2}{4at} \right] \times \\ \times \left\{ \exp \left[ -\frac{(z - H)^2}{4at} \right] + \exp \left[ -\frac{(z + H)^2}{4at} \right] \right\},$$



где  $m$  – масса выброшенного вещества;  $a$  – коэффициент турбулентной диффузии;  $v$  – скорость ветра;  $H$  – высота, на которой произошел выброс. Система координат выбрана таким образом, что ее начало совпадает с точкой выброса, а направление оси  $X$  совпадает с направлением ветра. Полагая, что выброс произошел у поверхности земли ( $H = 0$ ) и рассматривая концентрации вдоль оси  $X$  ( $y = 0, z = 0$ ) как самые опасные, получаем

$$C(x, y, z, t) = \frac{m}{4(\pi at)^{3/2}} \exp\left[-\frac{(x - vt)^2}{4at}\right]. \quad (3)$$

Объединяя (2) и (3), получим

$$Ct = \frac{m}{4(\pi a)^{3/2}} e^{-\beta t} \int_0^t \frac{1}{s^{3/2}} \exp\left[-\frac{(x - vs)^2}{4as}\right] e^{\beta s} ds.$$

Выполним замену  $\tau = \beta s$ . Тогда

$$\begin{aligned} Ct &= \frac{m}{4(\pi a)^{3/2}} \sqrt{\beta} e^{-\beta t} \int_0^{\beta t} \frac{1}{\tau^{3/2}} \exp\left[-\frac{(x - \tau v/\beta)^2}{4\tau a/\beta}\right] e^{\tau} d\tau = \\ &= \frac{m}{4(\pi a)^{3/2}} \sqrt{\beta} e^{-\tau_0} \int_0^{\tau_0} \frac{1}{\tau^{3/2}} \exp\left[-\frac{(X - V\tau)^2}{4\tau}\right] e^{\tau} d\tau, \end{aligned}$$

где  $X = x\sqrt{\frac{\beta}{a}}$  – безразмерная координата;  $V = \frac{v}{\sqrt{a\beta}}$  – безразмерная скорость ветра;  $\tau_0 = \beta t$  – безразмерное время.

Вводя безразмерную токсодозу

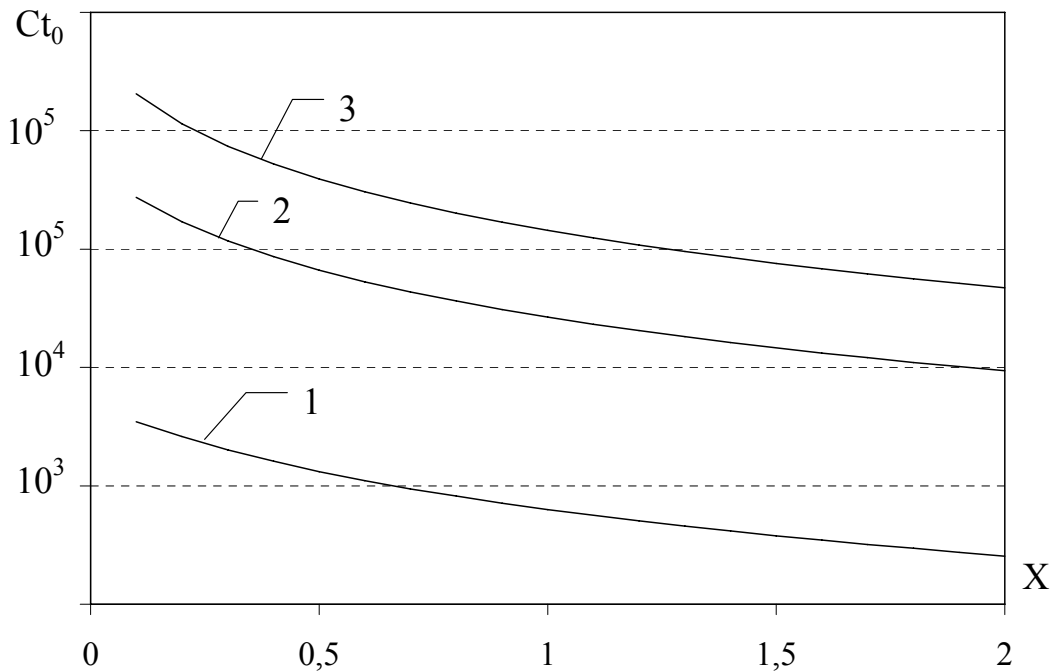
$$Ct_0 = \frac{Ct \cdot a^{3/2}}{m\sqrt{\beta}},$$

приходим к выражению

$$Ct_0 = \frac{1}{4\pi^{3/2}} e^{-\tau_0} \int_0^{\tau_0} \frac{1}{\tau^{3/2}} \exp\left[-\frac{(X - V\tau)^2}{4\tau}\right] e^\tau d\tau, \quad (4)$$

описывающему связь между безразмерными токсодозой, временем, координатой и скоростью ветра. Полученная токсодоза принимает максимальное значение в момент времени  $\tau_0$ , определяемый из условия  $\frac{dCt_0}{d\tau_0} = 0$ , т.е. являющийся решением уравнения

$$\int_0^{\tau_0} \frac{1}{\tau^{3/2}} \exp\left[-\frac{(X - V\tau)^2}{4\tau}\right] e^\tau d\tau = \frac{1}{\tau_0^{3/2}} \exp\left[-\frac{(X - V\tau_0)^2}{4\tau_0}\right] e^{\tau_0}. \quad (5)$$



**Рис. 1 – Зависимость безразмерной токсодозы от безразмерного расстояния при различных скоростях ветра: 1 –  $v = 1$  м/с; 2 –  $v = 3$  м/с; 3 –  $v = 5$  м/с**

Объединяя (4) и (5), получим выражение для безразмерной токсодозы в виде

$$Ct_0 = \frac{1}{4(\pi\tau_0)^{3/2}} \exp\left[-\frac{(X - V\tau_0)^2}{4\tau_0}\right], \quad (6)$$

где  $\tau_0$  определяется из уравнения (5). Поскольку значение параметра  $\beta$  составляет порядка  $10^{-5} \text{ с}^{-1}$  (например, для синильной кислоты  $\beta = 0,127 \text{ ч}^{-1}$  [3]), то характерный диапазон изменения безразмерной координаты составляет  $0 \leq X \leq 2$ , а безразмерной скорости ветра –  $0 \leq V \leq 300$ , что соответствует расстояниям до 1 км и скорости ветра до 6 м/с. В качестве примера на рис. 1 приведена зависимость (6) для различных скоростей ветра.

Анализ зависимостей на рис. 1 показывает, что полученная токсодоза (6) быстрее убывает с расстоянием, чем концентрация (3). Это вызвано процессами детоксикации организма, учтенными в формуле (1). По той же причине увеличение скорости ветра приводит к меньшему поперечному рассеянию облака и более сильному воздействию токсических веществ на человека.

**Выводы.** Построена оценка полученной токсодозы при распространении первичного облака токсического вещества. Модель учитывает разрушение и выведение токсического вещества из организма человека и может быть использована для расчета токсодозы при невысоких концентрациях токсического вещества в воздухе и большом времени экспозиции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лошадкин Н.А. Пробит-метод в оценке эффектов физиологически активных веществ при низких уровнях воздействия / Лошадкин Н.А., Гладких В.Д., Голденков В.А. // Российский химический журнал, 2002. – Т. XLVI – № 6. – С. 63-67.
2. Маршалл В.В. Основные опасности химических производств / Маршалл В.В. – М.: Мир, 1989. – 671 с.
3. Светличная С.Д. Моделирование воздействия низких концентраций токсического вещества при больших временах экспозиции / Светличная С.Д. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2009. – Вип.9. – С. 94-99

Світлична С.Д.

**Оцінка отриманої токсодози при розповсюдженні первинної хмари токсичної речовини**

Побудовано оцінку отриманої токсодози при розповсюдженні первинної хмари токсичної речовини, яка враховує руйнування і виведення токсичної речовини з організму людини

**Ключові слова:** токсична речовина, первинна хмара, токсодоза

Svetlichna S.D.

**Estimation of toxic dose under propagation of primary cloud of toxic substance**

Estimation of toxic dose under propagation of toxic primary cloud is built. It takes into account processes of toxic substance destruction and removal from human body

**Key words:** toxic substance, primary cloud, toxic dose

**УДК 355.77**

*Семків О.М., канд. техн. наук, проректор, НУЦЗУ*

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕВАКУАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОМІЖНИХ ПУНКТІВ ЕВАКУАЦІЇ**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

Запропонована модель оптимізації вивезення населення з небезпечних місць надзвичайних ситуацій до зон безпечного проживання через проміжні пункти евакуації

**Ключові слова:** проміжні пункти евакуації, райони постійного розміщення, модель оптимізації

**Постановка проблеми.** Одним із способів захисту населення у надзвичайних ситуаціях є його евакуація і розміщення у зонах, безпечних для проживання [1,2]. З метою запобігання проявам паніки та недопущення загибелі людей під час евакуації забезпечується її планування – одне з головних завдань штабів цивільного захисту всіх рівнів. Під час такого планування вирішуються завдання забезпечення оптимального вивезення населення із небезпечних місць до районів постійного розміщення (РПР) у зонах, безпечних для проживання. У зв'язку з цим, розробка мо-

делей оптимізації проведення евакуаційних заходів є важливою науковою задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз науково-технічної літератури за даною тематикою [3-5] засвідчив, що за рамкою досліджень залишаються питання оптимізації вивезення населення через проміжні пункти евакуації (ППЕ). Створення таких пунктів обумовлено необхідністю зміни транспорту та наданням відпочинку населенню, що евакуюється, під час його вивезення на великі відстані.

**Постановка завдання та його вирішення.** Запропонуємо модель вивезення населення з небезпечних місць надзвичайних ситуацій до РПР через ППЕ з мінімальними витратами. Для формування моделі введемо наступні позначення:  $i = \overline{1, m}$  - номер пункту відправлення евакуйованого населення;  $j = \overline{1, n}$  - номер РПР;  $k = \overline{1, p}$  - номер ППЕ;  $N_i$  - кількість населення на  $i$ -му пункті відправлення;  $P_k$  - перепускні можливості  $k$ -го ППЕ;  $U_j$  - можливості щодо прийняття населення  $j$ -го РПР;  $c_{ik}^a$  - вартість вивезення населення від  $i$ -го пункту відправлення до  $k$ -го ППЕ;  $c_{kj}^b$  - вартість вивезення населення від  $k$ -го ППЕ до  $j$ -го РПР;  $x_{ik}^a$  - шукана кількість населення, що вивозиться від  $i$ -го пункту відправлення до  $k$ -го ППЕ;  $x_{kj}^b$  - шукана кількість населення, що вивозиться від  $k$ -го ППЕ до  $j$ -го РПР.

Математична модель. Знайти мінімум загальної вартості вивезення населення до РПР через ППЕ

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p c_{ik}^a x_{ik}^a + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n c_{kj}^b x_{kj}^b \rightarrow \min \text{ при обмеженнях:}$$

- на вивезення людей з небезпечних місць

$$\sum_{k=1}^p x_{ik}^a = N_i \quad (i = \overline{1, m});$$

- на перепускні можливості  $k$ -го ППЕ

$$\sum_{i=1}^n x_{ik}^a \leq P_k \quad (k = \overline{1, p});$$

- на можливості прийняття населення РПР

$$\sum_{k=1}^p x_{kj}^b = U_j \quad (j = \overline{1, n});$$

- на знак змінних:  $x_{ik}^a \geq 0, x_{kj}^b \geq 0$ .

**Таблиця 1 – Показники вивезення людей з пунктів відправлення до ППЕ**

Пункт відправлення	Вартість перевезення однієї людини з пункту відправлення до ППЕ, грн..				Кількість населення, що вивозиться
	1	2	3	4	
1	40	50	70	60	700
2	70	120	100	110	800
3	60	110	80	90	900

**Таблиця 2 – Показники вивезення людей з ППЕ до РПР**

Пункт відправлення	Вартість перевезення однієї людини з ППЕ до РПР, грн.					Перепускні можливості ППЕ
	1	2	3	4	5	
1	40	30	70	30	70	600
2	80	30	40	90	110	900
3	40	30	40	70	70	1200
4	60	20	20	80	80	700

Розглянемо наступний приклад. З трьох пунктів відправлення місць, небезпечних для проживання, необхідно вивезти населення у п'ять РПР через чотири ППЕ. Кількість населення на кожному пункті відправлення та вартість його вивезення до ППЕ

Семків О.М.

наведені у таблиці 1. Перепускні можливості кожного ППЕ та вартість доставки населення з ППЕ до РПР наведені у таблиці 2. Можливості прийняття населення РПР наступні: 1-го – 300 чол.; 2-го – 200 чол.; 3-го – 800 чол.; 4-го – 500 чол.; 5-го – 600 чол.

Тоді модель вивезення населення з пунктів відправлення до РПР через ППЕ з мінімальними витратами запишеться наступним чином

$$\begin{aligned}
 &40x_{11}^a + 50x_{12}^a + 70x_{13}^a + 60x_{14}^a + 70x_{21}^a + 120x_{22}^a + 100x_{23}^a + 110x_{24}^a \\
 &+ 60x_{31}^a + 110x_{32}^a + 80x_{33}^a + 90x_{34}^a + 40x_{11}^b + 30x_{12}^b + 70x_{13}^b + 30x_{14}^b \\
 &+ 70x_{15}^b + 80x_{21}^b + 30x_{22}^b + 40x_{23}^b + 90x_{24}^b + 110x_{25}^b + 40x_{31}^b + 30x_{32}^b \\
 &\quad + 40x_{33}^b + 70x_{34}^b + 70x_{35}^b + 60x_{41}^b + 20x_{42}^b + 20x_{43}^b \\
 &\quad + 80x_{44}^b + 80x_{45}^b \rightarrow \min;
 \end{aligned}$$

$$x_{11}^a + x_{12}^a + x_{13}^a + x_{14}^a = 700;$$

$$x_{21}^a + x_{22}^a + x_{23}^a + x_{24}^a = 800;$$

$$x_{31}^a + x_{32}^a + x_{33}^a + x_{34}^a = 900;$$

$$x_{11}^a + x_{21}^a + x_{31}^a \leq 600;$$

$$x_{12}^a + x_{22}^a + x_{32}^a \leq 900;$$

$$x_{13}^a + x_{23}^a + x_{33}^a \leq 1200;$$

$$x_{14}^a + x_{24}^a + x_{34}^a \leq 700;$$

$$x_{11}^b + x_{21}^b + x_{31}^b + x_{41}^b = 300;$$

$$x_{12}^b + x_{22}^b + x_{32}^b + x_{42}^b = 200$$

$$x_{13}^b + x_{23}^b + x_{33}^b + x_{43}^b = 800$$

$$x_{14}^b + x_{24}^b + x_{34}^b + x_{44}^b = 500;$$

$$x_{15}^b + x_{25}^b + x_{35}^b + x_{45}^b = 600;$$

$$x_{ik}^a \geq 0 \ (i = \overline{1,3}; k = \overline{1,4}), \ x_{kj}^b \geq 0 \ (k = \overline{1,4}; j = \overline{1,5}).$$

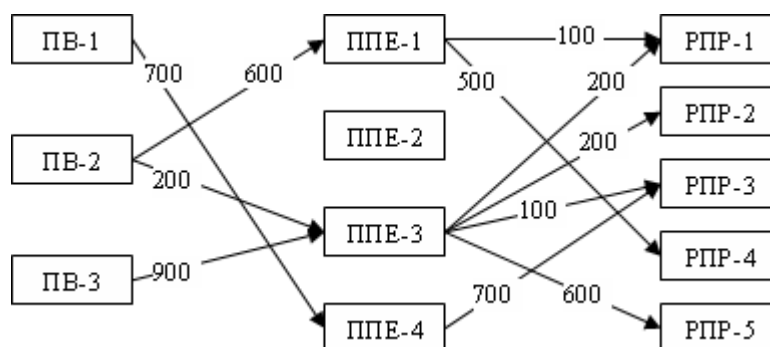
Застосувавши для розв'язання запропонованої задачі методи лінійного програмування, отримуємо результати, подані у вигляді таблиць 3 и 4.

**Таблиця 3 – Обсяги вивезення населення з пунктів відправлення до ППЕ, чол.**

Пункт відправлення	ППЕ			
	1	2	3	4
1	0	0	0	700
2	600	0	200	0
3	0	0	900	0

**Таблиця 4 – Обсяги вивезення населення з ППЕ до РПР, чол.**

ППЕ	РПР				
	1	2	3	4	5
1	100	0	0	500	0
2	0	0	0	0	0
3	200	200	100	0	600
4	0	0	700	0	0



**Рис. 1 – Схема вивезення населення під час евакуації через ППЕ з найменшими витратами**



Загальна вартість вивезення людей за такою схемою складає 269000 грн.

На підставі даних таблиць 3 та 4 побудуємо схему вивезення населення через ППЕ з найменшими витратами

Аналіз даної схеми показує, що для запропонованих вихідних даних процес евакуації має наступні особливості:

- другий ППЕ не використовується – всі перевезення населення доцільно здійснювати через інші ППЕ (відповідно персонал евакуаційних органів цих пунктів разом зі штатними одиницями – транспортною групою, групою продовольчого забезпечення, медичним пунктом тощо - доцільно розподілити серед решти ППЕ);
- найбільша кількість пунктів відправлення населення відправляє населення до третього ППЕ, з якого потім воно вивозиться до чотирьох РПР (відповідно третій ППЕ потребує підсилення штатного складу необхідними фахівцями).

**Висновки.** Таким чином, використання запропонованої моделі дозволяє знаходити схеми вивезення людей під час евакуації через ППЕ з найменшими витратами.

Крім того, розроблену модель доцільно використовувати під час розробки науково обґрунтованих пропозицій керівникам штабів цивільного захисту та евакуаційних комісій щодо штатного складу пунктів евакуації, їх забезпечення необхідними силами та засобами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Положення про порядок проведення евакуації населення у разі загрози або виникнення ситуацій техногенного та природного характеру: Постанова Кабінету Міністрів України від 26.10.01, №1492 [Електронний ресурс].- (Нормативний документ Кабінету Міністрів України. Постанова). – Режим доступу: <http://uazakon.com/document/spart23/inx23236.htm>
2. Про правові засади Цивільного захисту: Закон України від 24.06.04, № 1859-IV [Електронний ресурс].- (Нормативний документ Верховної Ради України. Закон). – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1859-15>
3. Богатырев Э.Я. Оценка эффективности действий сил гражданской обороны при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций / Э.Я. Богатырев //Сб. материалов Центра стратегичес-

ких исследований гражданской защиты МЧС России. Вып. 9. - М.: ЦСИ ГЗ МЧС России, 2001.- С.52-58.

4. Шипакин С.А. О Совершенствовании и планировании эвакуационных мероприятий /С.А. Шипакин //Совершенствование гражданской обороны в Российской Федерации: III научно-практическая конференция, 10 октября, 2006 г.: материалы конференции. – М.: Куна, 2006. – С.73-77.
5. Бичаев А.И. Возможные пути совершенствование гражданской обороны / А.И. Бичаев //Совершенствование гражданской обороны в Российской Федерации: IV научно-практическая конференция, 25 октября, 2007 г.: материалы конференции. – М.: Декс-Пресс, 2007. – С.94-97

Семкив О.М.

**Оптимизация проведения эвакуационных мероприятий с использованием промежуточных пунктов эвакуации**

Предложена модель оптимизации вывоза населения из опасных мест чрезвычайных ситуаций в зоны безопасного проживания через промежуточные пункты эвакуации

**Ключевые слова:** промежуточные пункты эвакуации, районы постоянного размещения, модель оптимизации

Semkiv O.M.

**Optimization of conducting of evacuation by using intermediate evacuation station**

Optimization model of evacuation of population from dangerous place to safety living zone across intermediate evacuation station is proposed

**Key words:** intermediate points evacuation, areas permanent placement, optimization model

*Соболь О.М., д-р техн. наук, нач. каф., НУЦЗУ,  
Семків О.М., канд. техн. наук, проректор, НУЦЗУ,  
Коссе А.Г., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,  
Собина В.О., викл., НУЦЗУ*

## **РАЦІОНАЛЬНЕ ПОКРИТТЯ ОБ'ЄКТІВ ЗАХИСТУ РАЙОНАМИ ВІЇЗДУ ПІДРОЗДІЛІВ ВОЄНІЗОВАНОЇ ОХОРОНИ НА ЗАЛІЗНИЦІ ТА ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ**

(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.М.)

Розроблено математичний апарат для формалізації обмежень в задачі раціонального покриття об'єктів захисту (об'єктів залізниці) районами виїзду оперативних підрозділів. Наведено розв'язання практичної задачі щодо раціонального покриття районами захисту ділянок залізниці Первомайський – Лозова та Красноград – Лозова.

**Ключові слова:** райони захисту, оперативні підрозділи, об'єкти залізниці

**Постановка проблеми.** Основними причинами аварій та катастроф на залізничному транспорті є несправність колій, рухомого складу, засобів сигналізації, централізації та блокування, помилки диспетчерів, неуважність та халатність машиністів. Частіше всього під час аварій на залізничному транспорті відбувається схід рухомого складу з рейок, зіткнення, наїзди на перешкоди на переїздах, пожежі та вибухи безпосередньо у вагонах. Не виключаються випадки розмиву залізничних колій, обвалів, зсувів, повеней. Під час транспортування небезпечних вантажів, таких як газу, легкозаймисті, вибухонебезпечні, отруйні та радіоактивні речовини, виникають вибухи, пожежі цистерн та інших вагонів. Ліквідувати вищезазначені аварії та катастрофи досить складно. В зв'язку з цим, актуальною проблемою є підвищення рівня захищеності рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту від наслідків надзвичайних ситуацій різного характеру. Необхідно зауважити, що рівень захищеності рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту є комплексним показником, який залежить від багатьох факторів, зокрема, від зношеності основних фондів залізниці, яка на теперішній час складає 85%, і т. ін. Не менш ва-

гомим є такий фактор, як час реагування оперативних підрозділів цивільного захисту на надзвичайні події та надзвичайні ситуації на залізниці, оскільки на період зосередження сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації (гасіння пожежі) припадає найбільша частка збитків. Це особливо характерно для надзвичайних ситуацій (пожеж), на ліквідацію наслідків яких залучаються декілька оперативних підрозділів. В зв'язку з цим, однією із задач, розв'язання якої сприятиме вирішенню проблеми підвищення рівня захищеності рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту, є раціональне покриття об'єктів захисту районами виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Постановку задачі раціонального розміщення підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів для захисту об'єктів залізниці наведено в роботі [1]. Загальну математичну модель даної задачі розглянуто в [2]. Особливості методу визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці наведено в роботі [3]. В роботі [4] розглянуто моделювання раціонального покриття ділянки залізниці районами виїзду пожежно-рятувальних підрозділів, що являють собою випуклі багатокутники.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою даної роботи є розв'язання задачі раціонального покриття об'єктів захисту (об'єктів залізниці) районами виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці і пожежно-рятувальних підрозділів.

Математична модель визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці наведена в роботі [4]. Але слід зазначити, що в даній моделі райони виїзду оперативних підрозділів розглядалися у вигляді випуклих багатокутників. При взаємодії підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів у випадку реагування на надзвичайні ситуації, що можуть виникнути на об'єктах залізниці, райони виїзду пожежно-рятувальних автомобілів, що знаходяться на озброєнні даних підрозділів, можуть, у загальному випадку, являти собою невивуклі багатокутники, а райони виїзду пожежних поїздів, що входять до складу підрозділів воєнізованої охорони на залізниці, являють собою ділянки ломаної лінії (апроксимація ділянок залізниці), що належать колу відповідного радіусу. В даному випадку математичну

модель раціонального покриття ділянок залізниці районами виїзду оперативних підрозділів можна представити у наступному вигляді

$$\min_W N, \quad (1)$$

де  $W$

$$\begin{aligned} & \left( \bigcup_{u=1}^{N_u} L_u^0(P_{L_u,1}^0, \dots, P_{L_u, n_{L_u}}^0, L_u) \right) \cap \left( \bigcup_{i=1}^N S_i(p_i) \right) \rightarrow \\ & \rightarrow \left( \bigcup_{u=1}^{N_u} L_u^0(P_{L_u,1}^0, \dots, P_{L_u, n_{L_u}}^0, L_u) \right); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \omega(m_i, m_j, p_i, p_j) & \rightarrow 0, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad j = i + 1, \dots, N; \\ m_i & = (x_1^i, y_1^i, x_2^i, y_2^i, \dots, x_{n_i}^i, y_{n_i}^i); \\ m_j & = (x_1^j, y_1^j, x_2^j, y_2^j, \dots, x_{n_j}^j, y_{n_j}^j); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \omega(m_i, m_v, p_i, p_v) & \rightarrow 0, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad v = 1, 2, \dots, N_v; \\ m_v & = (x_1^v, y_1^v, x_2^v, y_2^v, \dots, x_{n_v}^v, y_{n_v}^v); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\omega(r_k, r_l, p_k, p_l) \rightarrow 0, \quad k = 1, 2, \dots, N'; \quad l = k + 1, \dots, N'; \quad (5)$$

$$\omega(m_i, m_{cS_0}, p_i, p^0) \rightarrow 0; \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad (6)$$

$$\omega(r_k, m_{cS_0}, p_k, p^0) \rightarrow 0, \quad k = 1, 2, \dots, N'; \quad cS_0 \cup S_0 = R^2. \quad (7)$$

Тут  $N$  - кількість оперативних підрозділів, необхідних для захисту ділянок залізниці  $L_u^0$ ,  $u = 1, 2, \dots, N_u$ , причому  $N = N' + N''$ , де  $N'$  - кількість підрозділів воєнізованої охорони на залізниці,  $N''$  - кількість пожежно-рятувальних підрозділів;  $m_i$  та  $m_j$  - метричні характеристики районів виїзду пожежно-рятувальних автомобілів, що знаходяться на озброєнні оперативних підрозділів, і являють собою координати вершин невишуканих багатокутників в

---

Раціональне покриття об'єктів захисту районами виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів

локальних системах координат;  $p_i(x_i, y_i)$  та  $p_j(x_j, y_j)$  - параметри розміщення невидпуклих багатокутників (координати полюсів багатокутників в глобальній системі координат);  $m_v$  та  $p_v(x_v, y_v)$  - метричні характеристики та параметри розміщення об'єктів заборони;  $r_k$  та  $r_l$  - радіуси кіл, що обмежують ділянки виїзду пожежних поїздів;  $p_k(x_k, y_k)$  та  $p_l(x_l, y_l)$  - координати центрів відповідних кіл у глобальній системі координат;  $m_{eS_0}$  та  $p^0(0,0)$  - метричні характеристики доповнення області  $S_0$ , якій належать ділянки залізниці  $L_u^0$ , до простору  $\mathbb{R}^2$  та параметри розміщення області  $S_0$ , що співпадають з початком глобальної системи координат.

Таким чином, обмеження (2) описує вимогу максимального покриття об'єктів захисту районами виїзду оперативних підрозділів  $S_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , обмеження (3) являє собою умову мінімуму взаємного перетину районів виїзду пожежно-рятувальних автомобілів, що знаходяться на озброєнні оперативних підрозділів, обмеження (4) – умова мінімуму взаємного перетину районів виїзду пожежно-рятувальних автомобілів, що знаходяться на озброєнні оперативних підрозділів, з об'єктами заборони, обмеження (5) являє собою умову мінімуму взаємного перетину районів виїзду пожежних поїздів, обмеження (6) та (7) описують умови належності районів виїзду оперативних підрозділів області  $S_0$ .

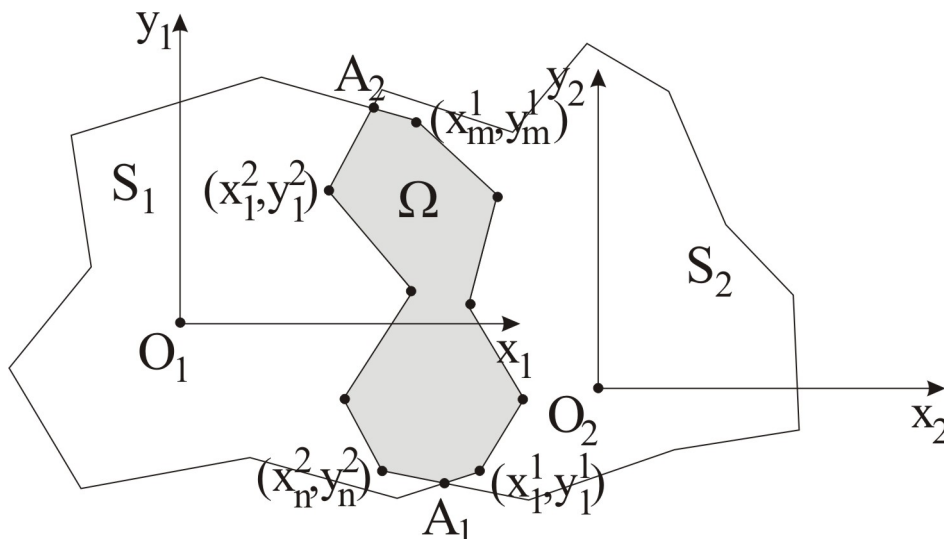


Рис. 1

Слід зауважити, що задача (1)÷(7) відноситься до класу задач оптимального покриття, а для формалізації обмежень (3)÷(7) використано  $\omega$ -функції покриття [5]. Для того, щоб розробити метод розв'язання даної задачі необхідно, перш за все, представити в аналітичному вигляді зазначені  $\omega$ -функції.

Розглянемо побудову  $\omega$ -функції покриття для двох не випуклих багатокутників (райони виїзду пожежно-рятувальних автомобілів).

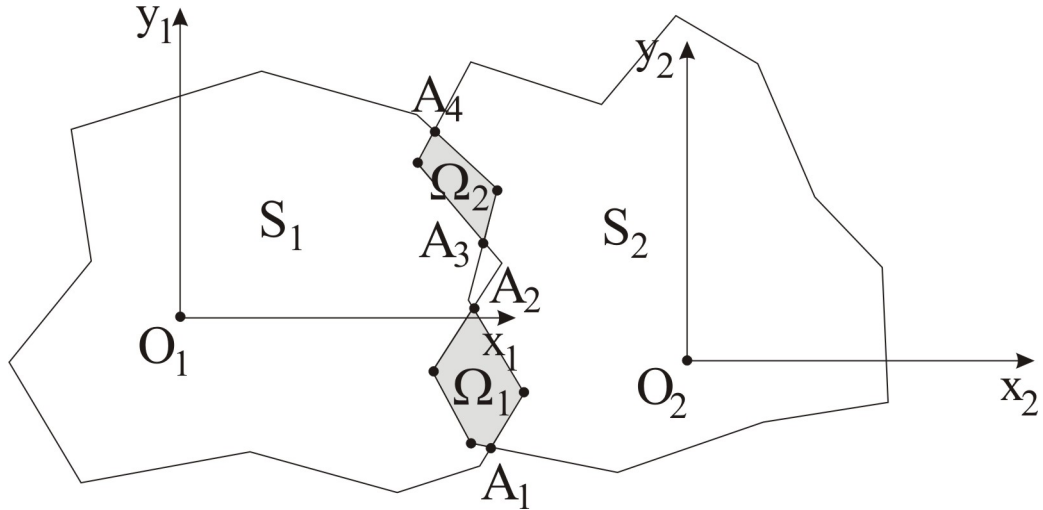


Рис. 2

Для випадку, що наведений на рис. 1,  $\omega$ -функція покриття буде мати наступний вигляд

$$\omega_{\Omega} = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[ x_1^2 \cdot (y_n^2 - y_2^2) + \sum_{i=2}^{n-1} x_i^2 \cdot (y_{i-1}^2 - y_{i+1}^2) + \right. \\ \quad \left. + x_n^2 \cdot (y_{n-1}^2 - y_1^2) \right], & \text{при } S_1 \cap S_2 = S_2; \\ \frac{1}{2} \left[ x_{A_1} \cdot (y_{n_{A_2}}^{A_2} - y_1^{A_1}) + \dots + x_{n_{A_1}}^{A_1} \cdot (y_{n_{A_1}-1}^{A_1} - y_{A_2}) + \right. \\ \quad \left. + x_{A_2} \cdot (y_{n_{A_1}}^{A_1} - y_1^{A_2}) + \dots \right. \\ \quad \left. + x_{n_{A_2}}^{A_2} \cdot (y_{n_{A_2}-1}^{A_2} - y_{A_1}) \right], & \text{при } S_1 \cap S_2 \neq \emptyset; \\ 0, & \text{при } S_1 \cap S_2 = \emptyset. \end{cases} \quad (8)$$

У виразі (8)  $(x_1^{A_i}, y_1^{A_i}), (x_2^{A_i}, y_2^{A_i}), \dots, (x_{n_{A_i}}^{A_i}, y_{n_{A_i}}^{A_i})$  - вершини області  $\Omega$ , що обмежені точками  $A_i$  і  $A_{i+1}$ .

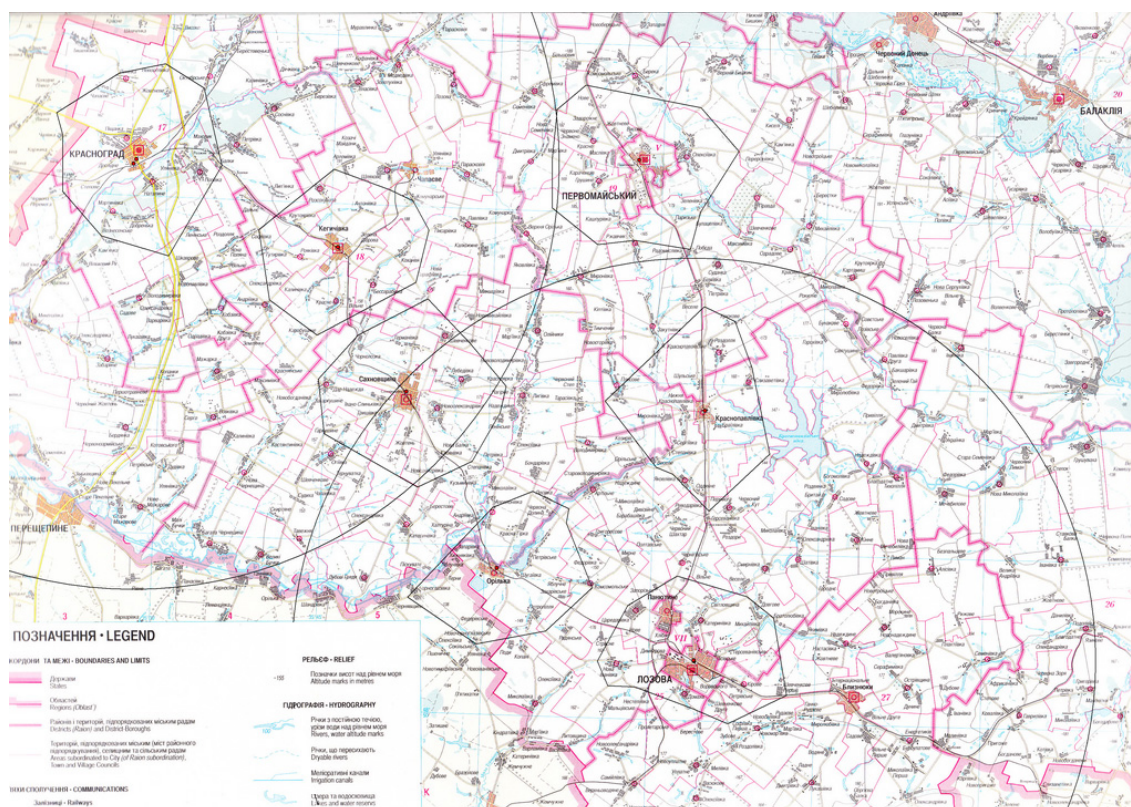
Для випадку, наведеного на рис. 2,  $\omega$ -функція покриття буде мати наступний вигляд

$$\omega_{\Omega} = \omega_{\Omega_1} + \omega_{\Omega_2}, \quad (9)$$

де  $\omega_{\Omega_1}$  і  $\omega_{\Omega_2}$  записуються аналогічно (8).

*Властивість 1.* Якщо метричні характеристики об'єктів, що мають покривати певну область, є змінними, то це призводить до зміни кількості доданків у виразах (8) і (9).

Що стосується аналітичного представлення  $\omega$ -функції покриття для двох кіл відповідних радіусів, то дана функція наведена в роботі [5].



**Рис. 3 – Раціональне покриття ділянок залізниці районами виїзду оперативних підрозділів**

Таким чином, розроблений математичний апарат дозволив зробити висновок про те, що область припустимих розв'язків зада-



чі (1)÷(7) є дискретною. В зв'язку з цим, для розв'язання даної задачі було створено метод послідовного поодинокого покриття [3]. На основі даного методу було розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення, що дозволило розв'язати практичну задачу стосовно раціонального покриття районами захисту ділянок залізниці Первомайський – Лозова та Красноград – Лозова. (рис. 3).

Слід зазначити, що враховано наявність пожежно-рятувальних підрозділів в м. Первомайський, м. Лозова, смт. Кегичівка та смт. Сахновщина, а також наявність підрозділу воєнізованої охорони на залізниці в м. Лозова. Під час розрахунків швидкість пожежно-рятувального автомобіля приймалася 30 км/год, а час прибуття пожежно-рятувального підрозділу у найвіддаленішу точку району виїзду – 20 хв. Що стосується пожежного поїзду, то його швидкість приймалася рівною 40 км/год., а час досягнення найвіддаленішої точки району виїзду (перетин кола відповідного радіусу з ділянкою залізниці) – 70 хв. (передбачається, що на відправлення зі станції відводиться до 20 хв.).

**Висновки.** В даній роботі наведено розв'язання задачі раціонального покриття об'єктів залізниці районами виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів. Одержані результати дозволяють зробити рекомендації про необхідність створення підрозділу воєнізованої охорони на залізниці в м. Красноград, та двох пожежно-рятувальних підрозділів в смт. Краснопавлівка та смт. Орілька (Лозівський район Харківської області). Дані рекомендації повністю відповідають положенням Концепції Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2011-2015 рр. (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2010 р. № 2348-р).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Комяк В.М. Постановка задачі раціонального розміщення оперативних підрозділів для захисту рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту / В.М. Комяк, О.М. Соболев, В.О. Собина // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 9. – Харків: УЦЗУ, 2009. – С. 56 – 62.
2. Комяк В.М. Загальна математична модель раціонального розміщення оперативних підрозділів для захисту рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту / В.М. Комяк, О.М. Соболев, В.О. Собина // Вестник Херсонского националь-

- ного технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2009. – Вып. 2(35). – С. 241-246.
3. Комяк В.М. Особенности метода назначения рациональной количества та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці / В.М. Комяк, О.М. Соболев, А.Г. Коссе, В.О. Собина // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. Вип. 11. – Харків: НУЦЗУ, 2010. – С. 74-79.
  4. Соболев О.М. Моделювання рационального розміщення оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці / О.М. Соболев, В.О. Собина // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. Вип. 12. – Харків: НУЦЗУ, 2010. – С. 149-154
  5. Стоян Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев.- К.: Наукова думка, 1986. - 268 с.

Соболев А.Н., Семкив О.М., Коссе А.Г., Собина В.А.

**Рациональное покрытие объектов защиты районами выезда подразделений военизированной охраны на железной дороге и пожарно-спасательных подразделений**

Разработан математический аппарат для формализации ограничений в задаче рационального покрытия железнодорожных объектов районами выезда оперативных подразделений. Приведено решение задачи рационального покрытия районами защиты участков железной дороги Первомайский – Лозовая и Красноград – Лозовая.

**Ключевые слова:** районы защиты, оперативные подразделения, железнодорожные объекты

Sobol O.M., Semkiv O.M., Kosse A.G., Sobina V.O.

**Rational covering objects of defense by departure areas of operational subdivisions**

The mathematical tools to formalize the restrictions in the problem of rational covering the railway objects by departure areas of operational subdivisions are developed. A solution the problem of rational covering the railway Pervomaysky - Lozovaya and Krasnograd – Lozova by areas of defense is given.

**Key words:** areas of defense, operational subdivisions, railway objects

*Тесленко А.А., канд. физ.-мат. наук, доц., НУГЗУ,  
Бугаев А.Ю., ад'юнкт, НУГЗУ,  
Олейник В.В., канд. техн. наук, нач. каф., НУГЗУ*

## **МНОГОЭТАПНАЯ ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ** (представлено д-ром техн. наук Лариным А.Н.)

Рассматривается методология оценки опасности объектов, состоящая из нескольких этапов. Сначала строится математическая модель объекта. Затем элементы математической модели встраиваются в структуру существующего языка имитационного моделирования. Строится имитационная модель объекта. Производится верификация изучаемой модели. При необходимости процесс повторяется с этапа, на котором имеется потребность в изменении. Модель изучается с целью определения опасности объекта, который она представляет. Данная концепция увеличивает возможности применения метода проб и ошибок при разработке имитационных моделей, дает возможность рассмотреть различные версии устройства объекта.

**Ключевые слова:** модель, оптимизация, объект повышенной опасности, категория, взрывобезопасность, идентификация

**Постановка проблемы.** Бесперывное расширение масштабов хозяйственной деятельности человека сопровождается неуправляемой динамикой роста производства, которое приводит к частому возникновению техногенных ситуаций, что характеризуется резким отклонением от норм явлений и процессов. Они сопровождаются катастрофами и авариями с многочисленными человеческими жертвами, огромными материальными потерями и нарушением условий жизнедеятельности [1,2].

После Чернобыльской катастрофы произошла переоценка системы взглядов на безопасность. Стало очевидным, что для развития теории безопасности необходимо усовершенствование системы оценки и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Наряду с этим для принятия эффективных управленческих решений необходима количественная информация об уровнях опасностей и угроз и их зависимости от разных факторов. Для получения такой информации необходим специальный инструментарий: модели, методики, законодательно-нормативные документы.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросам управления в условиях чрезвычайных ситуаций и построения информационных систем поддержания принятия решений в условиях ЧС, посвящены исследования и публикации многих русских ученых и специалистов - А.Н. Елохина, А.В. Измалкова, Р.З. Хамитова, В.Г. Крымского и других. В последние годы за границей активно развиваются научно-практические работы в области риск-менеджмента, среди которых можно выделить работы Дж. Апосталакиса, Л. Гуоссена, С. Гуаро, Р. Кука, Х. Кумамото, Ф. Лисса, В. Маршалла, Г. Сейвера, Е. Хенли.

Довольно широкое применение среди информационных систем прогнозирования возможных чрезвычайных ситуаций в разнообразных областях нашло имитационное моделирование. К наиболее известным системам следует отнести:

- компьютерную систему для моделирования поступления в окружающую среду и распространение химических веществ - компонентов отработанных газов автотранспорта [3];
- компьютерную систему для оценки рисков [4];
- мощную компьютерную систему для оценки радиационных и химических рисков Министерства энергетики США [5];
- инструменты для оценки экологического риска [6].

Среди русскоязычных компьютерных программ и систем в области имитационного моделирования чрезвычайных ситуаций на опасных объектах следует отметить следующие [7]:

- медико-экологическая информационная система "Медекориск - АТМОСФЕРА", что представляет собой специализированный пакет, который позволяет оценивать риск для здоровья, связанный с загрязнением атмосферного воздуха. Данный пакет разработан для системы лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха. Также была выпущена версия для включения в проекты Arc View GIS, а также для работы с программными продуктами, которые осуществляют расчет полей приземных концентраций от источников выброса промышленных предприятий;
- программа "Оценка риска", которая дает возможность относительно определения радиусов зон поражения при действии: чрезмерного давления в фронте воздушной ударной волны при взрыве, теплового излучения пожаров разлива ЛВЖ и ГВ на человека и графического представления результатов расчета;
- программа "Оценка убытка" позволяет количественно оценить: экономические убытки от аварий на опасных производст-

венных объектах; убытки при расследовании аварии на опасном производственном объекте, при разработке декларации промышленной безопасности, страховании ответственности организаций, которые эксплуатируют опасные производственные объекты;

- программа "ТОКСИ" позволяет определить: количество химически опасных веществ, которые поступили в атмосферу при разных сценариях аварии, пространственно-временное поле концентрации химически опасных веществ в атмосфере, размеры зон химического и графически представить результаты расчета [8] и др.

Во всех вышеперечисленных работах решался вопрос прогнозирования возможных чрезвычайных ситуаций в разнообразных областях, но для имитационного моделирования процессов использовались устаревшие подходы и языковые структуры. Это ограничивает возможность использования этих разработок в других областях и снижает их эффективность.

Представленный научно-исследовательский подход [9-12] в целом решает те же вопросы, но в отличие от вышеупомянутых работ, в данном подходе компьютерные имитационные модели разрабатываются не путем создания компьютерных программ на существующих языках программирования, а многоэтапным путем. Сначала строится математическая модель объекта. Затем элементы математической модели встраиваются в структуру существующего языка имитационного моделирования. Строится имитационная модель объекта с использованием этого языка. Модель изучается с целью определения опасности объекта, который она представляет. Сначала создается язык имитационного моделирования для конкретного применения. Потом, с помощью этого языка создаются необходимые имитационные модели. Такой подход позволяет привлечь к разработке имитационных моделей специалистов предметной области, которые не являются специалистами в программировании. Таким образом, специалисты предметной области приближаются к разработке имитационных моделей, которая разрешит поднять моделирование на принципиально новый уровень.

Для решения этой задачи используется имитационное моделирование технологических процессов с целью уменьшения последствий возможных аварий на базе созданного комплекса программных средств.

Специфические трудности моделирования для задач, связанных с мероприятиями по уменьшению вероятности возникновения аварий, состоят в:

- идентификации всех возможных источников риска для здоровья населения и окружающей среды в пределах исследуемого объекта;
- анализе и выделении приоритетных источников риска;
- анализе и оценке приоритетных источников риска по вероятности возникновения опасного события и последствиям реализации возможного опасного события.

Концепция моделирования в данном случае должна базироваться на двух главных принципах:

- доступность и возможность для пользователя проведения в рамках единой программной системы всех классических этапов имитационных исследований;
- возможность работы с данными инструментальными средствами для максимально широкого круга специалистов с помощью простого и удобного конструирования исследуемой системы из базовых «кирпичей».

**Постановка задачи и ее решение.** С точки зрения принципиальной возможности прогнозирования техногенных аварий и рекомендуемых изменений объекта наличие программного обеспечения не является обязательным, т.е. не имеет принципиального значения. Однако, для оптимизации необходим большой объем вычислений. Трудно поверить в хорошее качество оптимизации «вручную» даже при минимальной сложности объекта и целей оптимизации. В настоящей работе представлен опыт оптимизации минимально сложного объекта. Определены объемы трудозатрат и качество оптимизации. Для решения задачи впервые использован проблемно-ориентированный язык программирования для моделирования задач в области чрезвычайных ситуаций, предложенный в работах [9-12]. В данной статье предлагается пример исследования, основанный на макро-парсере, объединяющем три языка, соответствующим интерпретаторам «Категория», «Идентификация», «Химическое заражение» [9-12]

Рассмотрим достаточно простой пример частичной оптимизации (или рационализации), однако такой, чтобы он мог показать возможность решения сложных задач. Предположим, на некотором предприятии имеется два помещения (будем называть их помещение 1 и помещение 2), в которых находятся две разновидности

сти оборудования: установки типа 1 и установки типа 2. Для простоты будем считать, что в технологическом процессе отсутствуют трубопроводы, вентиляции и т. п. В помещении 1 находятся 3 установки типа 1 и 2 установки типа 2. В помещении 2 находятся 2 установки типа 1 и 4 установки типа 2. Объем помещения 1 - 1500 м<sup>3</sup>, объем помещения 2 - 3500 м<sup>3</sup>. В установке 1 используется единственное вещество бутилен (0.7 кг), в установке 2 ацетон, (СН<sub>3</sub>СОСН<sub>3</sub> – 1.7 кг). Предположим, принято решение заменить отработавшие свой ресурс установки типа 1 и 2 на установки, большей вместимости. В помещении 1 это по одной установке типа 1 и 2. В помещении 2 это одна установка типа 1 и две установки типа 2. Установки будут изготавливаться на опытном заводе этого же предприятия. Требуется определить вместимость этих установок в следующих условиях. Опытный завод будет изготавливать серию единичных установок (имеющих один объем) каждой разновидности. Требуется увеличить вместимость установок так, чтобы помещения не попали в категории «А» и «Б».

Полный текст программы для определения категорий помещений в данном случае многократно выполнялся модулем оптимизации Optim, описанным и доступным в [11]. В каждом этапе выполнения программа модифицируется так, что переменным Маса\_ГГ#1 и Маса\_ГГ#2 присваивались случайные значения из диапазона (0.1÷ 9.0) кг, которые и определяют максимальную загрузку аппаратов после реконструкции. Функция цели была сформирована таким образом, чтобы минимизировать отличие избыточного давления взрыва от 5 кПа при максимальных значениях Маса\_ГГ#1 и Маса\_ГГ#2.

$$\alpha = K_0 \cdot ((5 - \Delta P_1)^2 + (5 - \Delta P_2)^2) + K_1 / (\text{Маса\_ГГ\#1})^2 + K_2 / (\text{Маса\_ГГ\#2})^2$$

$\alpha$  - функция цели,  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  – весовые коэффициенты,  $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$  – избыточное давление взрыва в первом и втором помещении соответственно, определяемое по алгоритмы описанному в [9]. Такой вид функции цели позволяет найти ту грань, когда ослабление требований к безопасности объекта (избыточное давление, общее количество опасных веществ) оставляет объект на заданном пороге опасности, определенном в [13]. При необходимости можно менять параметры целевой функции и ее смысл, проверяя (или подгоняя) потребности практического производства под требования безопас-

ности. В данном процессе, применяя многоэтапный подход к оценке опасности производства (объекта), можно усовершенствовать его с точки зрения безопасности или даже проверить альтернативные варианты производств в целом.

В результате решения данной задачи определено, что при заданных условиях, оптимальная вместимость установки (1.0÷2.1)кг, установки (2.0÷1.7) кг. Оптимизация происходит по двум переменным, которые меняются от 0.1кг до 9кг. Используется метод случайного поиска с обучением. Для поиска всех экстремумов применяется мультистарт. Точность нахождения результата оценивается на основе средней величины последних трех шагов и близка к точности арифметических результатов (т.е. не хуже  $10^{13}$  кг).

**Выводы.** Рассмотренная многоэтапная методология оценки опасности объектов является эффективно работающей. При необходимости, позволяет быстро повторять процедуру оценивания для различных вариантов устройства объектов, что дает возможность находить рациональные решения, исходя из конкретно поставленных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру: Закон України - [Чинний від 2000-06-08].- 30 с.
2. Абрамов Ю.О. Моніторинг надзвичайних ситуацій. / Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю – Харків : АЦЗУ 2005. - 530 с.
3. CALINE 4 Software - Caltrans Division of Environmental Analysis. /[Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.dot.ca.gov>.
4. alpha CARES - Cumulative and Aggregate Risk Assessment Evaluation System /[Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://alphaCARES.org>.
5. RESRAD Codes - потужна комп'ютерна система для оцінки адіаційних і хімічних ризиків Міністерства енергетики США /[Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://web.ead.anl.gov>.
6. Ecological Risk Analysis Tools and Applications - інструменти для оцінки екологічного ризику /[Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.hsrdr.ornl.gov>.



7. Стоєцький В.Ф. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки / Дранишников Л.В., Єсипенко А.Д. Тернопіль: Видавництво Астон, 2005. - 408 с.
8. Социальные системы. Формализация и компьютерное моделирование: учебное пособие. / [Гуц А.К., Коробицын В.В., Лаптев А.А., Паутова Л.А., Фролова Ю.В.]. - Омск: Омск. гос. ун-т, 2000. - 160 с.
9. Тесленко О.О. Досвід застосування імітаційного моделювання до ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки/ Михайлюк О.П., Олейник В.В. - Харків: Зб. Наук. Пр. УЦЗ України «Проблеми надзвичайних ситуацій». Вип.. 7, 2008. - 139-140 с.
10. Тесленко А.А.К вопросу использования имитационного моделирования при прогнозировании последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах./ Михайлюк А.П., Олейник В.В. - Харків: Зб. Наук. Пр. УЦЗ України «Проблеми надзвичайних ситуацій». Вип. 8. 2008. - 194-198 с.
11. Олейник В.В. Моделирование в областях предупреждения, возникновения, развития чрезвычайных ситуаций, а также моделированию ликвидации последствий ЧС [Электронный ресурс] / Тесленко А.А., Михайлюк А.П., Дудак С.А. // Режим доступа: <http://www.emergencemodeling.narod.ru/>
12. Олейник В.В. Оптимизационные методы в областях предупреждения, возникновения, развития чрезвычайных ситуаций, а также моделированию ликвидации последствий ЧС [Электронный ресурс] / Тесленко А.А., Михайлюк А.П., Дудак С.А. // Режим доступа: <http://www.predictionmodels.narod.ru/>
13. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: НАПБ Б.03.002.-2007 - [Чинний від 2007-12-03]. - Наказ МНС № 833. - 40с.

Тесленко О.О., Бугайов А.Ю., Олейник В.В.

**Багатокрокова оцінка небезпеки об'єктів**

Розглядається методологія оцінки небезпеки об'єктів, що складається з декількох етапів. Спочатку створюється математична модель об'єкта. Потім елементи математичної моделі вбудовуються в існуючу мову імітаційного моделювання. Створюється імітаційна модель об'єкта. Виконується верифікація досліджуваної моделі. При необхідності процес повторюється з етапу, на якому мається потреба в зміні. Модель вивчається з метою визначення її небезпеки. Дана концепція збільшує можливості застосування методу проб і помилок при розробці імітаційних моделей, дає можливість розглянути різні версії побудови об'єкта.

**Ключові слова:** модель, оптимізація, об'єкт підвищеної небезпеки, категорія, вибухобезпека, ідентифікація.

Teslenko A.A., Bugayov A.Yu., Oleynik V.V.

**Multistage estimation of objects danger**

The methodology of estimation of danger of objects that consisting of a few stages is considered. The mathematical model of object is built at first. Then parts of mathematical model is building in simulation language. The simulation model of object is built. Verification of the studied model is produced. If necessary a process recurs from the stage on that there is a requirement in a change. Then a model is studied with the purpose of determination of her danger. This conception increases possibility of application of trial-and-error method when simulation models is designing. The method gives an possibility to create and to consider different versions of object construction.

**Key words:** model, the object of the increased danger, category, explosion safety

*Третьяков О.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ,  
Рашкевич А.С., адъюнкт, НУГЗУ*

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ**

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

Анализ теоретических основ лазерных измерений состава воздушной среды и оценка возможности его применения в чрезвычайных ситуациях (ЧС). Предложен метод решения задачи оперативного мониторинга состава газов примесей и аэрозолей в зоне ЧС применением единого комплекса лазерной измерительной аппаратуры.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, экологический мониторинг, атмосфера, дистанционные методы зондирования, лазер

**Постановка проблемы.** Состояние атмосферного воздуха в современных условиях определяется в значительной степени составом и количеством вредных и опасных веществ, выбрасываемых из различных источников промышленных предприятий. Действующая в Украине система нормирования выбросов загрязняющих веществ от промышленных объектов обеспечивает установление предельного количества выбросов по каждому ингредиенту с применением контролирующими органами экономических, административных и даже уголовных ответственности за преувеличение установленных лимитов выбросов. Но отсутствие постоянного оперативного контроля выбросов по каждому источнику позволяет виновным избежать таких наказаний, или осуществлять увеличенные выбросы во время, когда отсутствует контроль со стороны СЭС и экологического надзора. Существующие методы периодического контроля за состоянием выбросов загрязняющих веществ, применяемых лабораториями различных контролирующих органов, не дают оперативных результатов, так как требуют обязательного отбора проб с последующим их анализом и обработкой результатов.

Стремительное развитие всех отраслей промышленности, энергетики, транспорта, увеличение численности населения, ур-

банизация и химизация всех сред деятельности человека приводят к нарушению и загрязнению биосферы, ее отдельных компонентов. Экологическая ситуация, сложившаяся в ряде промышленных центров, в районах добычи и переработки минерального сырья, строительства и эксплуатации промышленных объектов, часто близка к критической. [1]

Осознание глобальной экологической катастрофы заставляет мировое сообщество искать пути выхода из кризисной ситуации. Вывод о необходимости перехода цивилизации к экологически сбалансированному развитию имеет непосредственное отношение к опасности, угрожающей человеческой цивилизации. Идея глобального мониторинга окружающей человека природной среды была выдвинута в 1972 г. на Стокгольмской конференции и нашла отклик в документах Конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992) [2,3].

Основной задачей экологического мониторинга является изучение изменений природной среды, возникающих в результате воздействия на нее человека, получение как качественных, так и количественных характеристик изменений в природной среде. Необходимым такой контроль является также для проверки деятельности идентифицированных и паспортизованных потенциально опасных объектов, являющихся одной из основных задач гражданской обороны.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Наиболее перспективным методом диагностики загрязнений воздуха является дистанционные методы зондирования. Среди дистанционных методов особое место занимают лазерные методы [4]. Одним из самых эффективных средств дистанционного мониторинга степени загрязнения окружающей среды являются лазерные мониторы, называемые также лидарами (по аналогии с радарам).

Основы лазерного мониторинга окружающей среды заложены в работах [4–6]. Их обобщение проведено в работах [7,8].

Загрязненная атмосфера содержит не присущие ей газы (двуокись серы –  $\text{SO}_2$ , окислы азота –  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ , углеводороды –  $\text{H}_x\text{C}_x$  и другие), продукты их реакций типа кислоты и окислители, а также твердые пылинки с размерами от  $10^{-8}$  до  $10^{-3}$  м (аэрозоли). Молекулы газов – загрязнителей и аэрозоли поглощают и рассеивают лазерное излучение. На этом базируются методы лазерного мониторинга загрязнений в атмосфере.

**Постановка задачі и ее решение.** Провести анализ теоретических основ лазерных измерений состава воздушной среды. Оценить возможность применения анализа в чрезвычайных ситуациях. Предложить метод решения задачи оперативного мониторинга состава газов примесей газов и аэрозолей в зоне чрезвычайной ситуации применением единого комплекса лазерной измерительной аппаратуры.

Состав выбросов вредных веществ зависит от материалов, находящихся в зоне взрыва и горения. Этот состав априори неизвестен. При горении нефти, бензина, природного газа основной состав продуктов горения хорошо известен. В него входит CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO, SO<sub>2</sub> и др. Пожары сопровождаются горением сопутствующих материалов. Состав выбросов при этом может быть самым различным. Одновременно с выбросами газов в зонах горения образуется аэрозоли, т.е. твердые негоревшие частицы вещества. Их состав и концентрация также априори неизвестны.

Несвойственные атмосфере выбросы газов и аэрозолей угрожают жизни и здоровью людей: работникам производств, где возникла зона ЧС, жителям близлежащих районов, а также ликвидаторам ЧС. Для уменьшения риска и угрозы людям требуется оперативный и достаточно точный мониторинг загрязнений в зоне ЧС.

Основным уравнением лазерной локации называют зависимость мощности отраженного (рассеянного) объектом зондирования излучения на заданной длине волны от расстояния до объекта и его параметров [9].

Уравнение может быть приведено к такому виду

$$P_S = \frac{PS\eta\beta}{R^2} e^{-2\Gamma}, \quad (1)$$

где  $P_S$  – мощность отраженного (рассеянного) излучения;  $P$  – мощность лазера;  $S$  – эффективная площадь (апертура) приемного элемента;  $\eta$  – эффективность приемного элемента;  $\beta$  – объемный коэффициент обратного рассеяния падающего излучения;  $\Gamma = \int_0^R \alpha(R) dR$  – интегральный коэффициент поглощения лазерного излучения;  $\alpha$  – объемный коэффициент поглощения лазерного излучения;  $R$  – расстояние до объекта зондирования.

В случае импульсного зондирования

$$R = c\tau/2,$$

где  $c$  – скорость света,  $\tau$  – задержка импульса при его движении от передающего объекта и от импульса до приемного устройства.

При использовании в качестве отражателя зондирующего пучка уголкового отражателя уравнение (1) модифицируется к виду

$$P_s = \frac{PS\eta C}{R_0^2} e^{-2\Gamma(R_0)}, \quad (2)$$

где  $C$  – аппаратная константа;  $R_0$  – длина трассы;  $\Gamma(R_0)$  – интегральный коэффициент поглощения при прохождении излучением всей трассы.

В уравнениях (1) и (2)  $\Gamma$  зависит от  $\alpha$ ,  $\beta$  в свою очередь

$$\alpha = \alpha_m + \alpha_a,$$

где  $\alpha_m$  и  $\alpha_a$  – коэффициенты, описывающие молекулярное и аэрозольное ослабления лазерного излучения.

Для  $\alpha_m$  установлено следующее соотношение

$$\alpha_m = \frac{3}{8\pi} \beta_m, \quad (4)$$

где  $\beta_m$  – коэффициент молекулярного рассеяния. Он дается формулой Рэля [10]

$$\beta_m = \frac{8}{3} \pi^3 \frac{(n^2 - 1)^2}{N\lambda^4} \frac{6 + 3\delta}{6 - 7\delta}, \quad (5)$$

где  $n$  – показатель преломления воздуха;  $\delta$  – степень деполяризации рассеянного излучения.

Для его описания преобразуем множитель  $A_\delta$  в (5)

$$A_{\delta} = \frac{6 + 3\delta}{6 - 7\delta} = \frac{1 + 3\delta/6}{1 - 7\delta/6}.$$

Поскольку значение  $\delta$  при однократном молекулярном рассеянии принимается в пределах  $0 - 9,7\%$  (табл. 1). Тогда с учетом того, что  $\delta \ll 1$

$$A_{\delta} = 1 + \frac{3\delta}{6} + \frac{7\delta}{6} = 1 + \frac{5}{3}\delta.$$

Значение  $A_{\delta}$  отличается от 1 на  $5\delta/3$ , т.е. не более, чем на 16%. Поэтому часто полагают  $A_{\delta} \approx 1$ .

Из (4) и (5) следует, что

$$\alpha_m = \pi^2 \frac{(n^2 - 1)^2}{N\lambda^4} \frac{6 + 3\delta}{6 - 7\delta}. \quad (5a)$$

При  $n^2 - 1 \ll 1$  или (то же самое) при  $n \approx 1$  представим в скобках в следующем виде

$$n^2 - 1 = (n - 1)(n + 1) \approx 2(n - 1).$$

Тогда из (5a) имеем

$$\alpha_m \approx 4\pi^2 \frac{(n^2 - 1)^2}{N\lambda^4}.$$

Выражение для  $\alpha_a$  следует из теории аэрозольного рассеяния (теории Ми) [10, 11].

Однако более удобное для описания аэрозольного ослабления является эмпирическое соотношение [8]

$$\alpha_a = \frac{3.912}{R_m} \left( \frac{\lambda}{0.55} \right)^{-q},$$

где  $\alpha_a$  – измеряется в  $\text{км}^{-1}$ ,  $\lambda$  – измеряется в мкм,  $R_m$  – метеорологическая дальность видимости в км при  $\lambda = 0.55$  мкм,  $q$  – показатель степени, который зависит от  $R_m$ .

При этом

$$\Gamma_a = \int_0^R \alpha_a dR.$$

Так, при  $R_m \leq 6$  км [8]

$$q = 0.585R_m^{1/3},$$

где  $R_m$  измеряется в км. Для  $R_m$ , изменяющихся в пределах 6-50 км,  $q \approx 1.3$ . При  $R_m \geq 50$  км  $q \approx 1.6$ . Значение  $R_m$  для различных условий видимости приведен в табл. 2. Результаты расчета  $q$ ,  $\alpha_a$  и  $\Gamma_a(R_m)$  для различных  $R_m$  приведена в табл. 3. Из табл. 3 видно, значение  $\alpha_a$  существенно уменьшается при улучшении видимости, в то же время значения  $\Gamma_a(R_m)$  при увеличивающихся  $R_m$  остаются неизменными и равными  $3.9 \cdot 10^{-3}$ . Иначе говоря, при  $R = R_m$  поглощается около 0.78% мощности видимого излучения.

**Таблица 1 – Степень деполяризации основных атмосферных газов и примесей [8]**

Газ	$\delta$ , %
Воздух	3.5
H <sub>2</sub> O	2
N <sub>2</sub>	3.6
O <sub>2</sub>	6.5
CO <sub>2</sub>	9.7
SO <sub>2</sub>	3.1
H <sub>2</sub> S	0.3
CH <sub>4</sub>	0
Cl <sub>2</sub>	4.1
HCl <sub>2</sub>	0.7
CO	1.3
C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	0



Таблица 2 – Значения метеорологической видимости при длине волны  $\lambda = 5.5 \cdot 10^{-7}$  м [8]

Условия видимости	$R_m$
Плотный туман	3–5 м
Густой туман	5–50 м
Средний туман	50–500 м
Легкий туман	0,5–1 км
Слабый туман	1–2 км
Дымка	2–4 км
Легкая дымка	4–10 км
Ясно	10–20 км

Таблица 3 – Расчетные значения  $q$ ,  $\alpha_a$  и  $\Gamma_a(R_m)$  при различных  $R_m$  и  $\lambda = 5.5 \cdot 10^{-7}$  м

Условия в зоне ЧС	$R_m$ , м	$q$	$\alpha_a$ , м <sup>-1</sup>	$\Gamma_a(R_m)$
Видимость очень плохая	1	0.059	$3.9 \cdot 10^{-3}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Видимость плохая	5	0.100	$0.8 \cdot 10^{-3}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Видимость средняя	10	0.126	$3.9 \cdot 10^{-4}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Видимость удовлетворительная	30	0.182	$1.3 \cdot 10^{-4}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Видимость хорошая	50	0.216	$0.8 \cdot 10^{-4}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Видимость отличная	1000	0.585	$3.9 \cdot 10^{-6}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$

Результаты расчетов  $\alpha_a$  и  $\Gamma_a(R_m)$  для CO<sub>2</sub>- и CO-лазеров приведены в табл. 4. Считалось, что для этих лазеров в среднем  $\lambda_1 = 12.3$  мкм и  $\lambda_2 = 5.5$  мкм.

Из табл. 4 видно, что ослабление лазерного излучения аэрозолями – относительно небольшое на расстоянии  $R_m$ . Оценим максимальный размер зоны чрезвычайной ситуации, считая, что аэрозоли ослабляют мощность лазерного излучения в 10 раз.

При этом

$$e^{2\Gamma_{\max}} = 10.$$

Отсюда

$$\Gamma_{a_{\max}} = \frac{1}{2} \ln 10 \approx 1.15.$$

Таблиця 4 – Значення  $\alpha_a$  і  $\Gamma_a(R_m)$  для CO<sub>2</sub>- і CO-лазерів

Умовля в зоні ЧС	$R_m$ , м	$q$	$\alpha_a(\lambda_1)$ , м <sup>-1</sup>	$\alpha_a(\lambda_2)$ , м <sup>-1</sup>	$\Gamma_a(\lambda_1)$	$\Gamma_a(\lambda_2)$
Видимость очень плохая	1	0.059	$3.25 \cdot 10^{-3}$	$3.40 \cdot 10^{-3}$	$3.25 \cdot 10^{-3}$	$3.40 \cdot 10^{-3}$
Видимость плохая	5	0.100	$5.73 \cdot 10^{-4}$	$6.21 \cdot 10^{-4}$	$2.86 \cdot 10^{-3}$	$3.11 \cdot 10^{-3}$
Видимость средняя	10	0.126	$2.64 \cdot 10^{-4}$	$2.92 \cdot 10^{-4}$	$2.64 \cdot 10^{-3}$	$2.92 \cdot 10^{-3}$
Видимость удовлетворительная	30	0.182	$7.41 \cdot 10^{-5}$	$8.58 \cdot 10^{-5}$	$2.22 \cdot 10^{-3}$	$2.57 \cdot 10^{-3}$
Видимость хорошая	50	0.216	$4.0 \cdot 10^{-5}$	$4.76 \cdot 10^{-5}$	$2.00 \cdot 10^{-3}$	$2.38 \cdot 10^{-3}$
Видимость отличная	1000	0.585	$6.4 \cdot 10^{-7}$	$1.01 \cdot 10^{-6}$	$0.64 \cdot 10^{-3}$	$1.01 \cdot 10^{-3}$

Тогда

$$R_{a_{\max}} = \frac{1.15}{\alpha_a(\lambda)}. \quad (56)$$

Результаты расчета  $R_{a_{\max}}$  приведены в табл. 5.

Таблиця 5 – Результаты расчета максимальных размеров зоны чрезвычайной ситуации для CO<sub>2</sub>- и CO-лазеров

Умовля в зоні ЧС	$R_{\max}(\lambda_1)$ , км	$R_{\max}(\lambda_2)$ , км
Видимость очень плохая	0.354	0.338
Видимость плохая	1.75	1.61
Видимость средняя	3.79	3.42
Видимость удовлетворительная	13.5	11.65
Видимость хорошая	25	21.0
Видимость отличная	1560	1000

Из табл. 5 видно, что максимальные размеры зоны чрезвычайной ситуации, подлежащей диагностике, в условиях очень плохой и плохой видимости ограничиваются сотнями метров – одним (двумя) километрами.

При лучшей видимости главную роль уже играет не ослабление аэрозолями, а мощность лазера и удаление до зоны чрезвычайной ситуации.

Заметим, что  $R_m$  описывает видимость в видимом диапазоне волн. Значения  $R_m$  изменяются от 1 до 1000 м. В то же время значения  $R_{\max}(\lambda_1)$  изменяется в пределах: 0.354–1.750 км, а  $R_{\max}(\lambda_2)$  – в пределах: 0.338–1.619 км.

В условиях визуальной невидимости (“слепоты”) лазеры на  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  позволяют производить дистанционную диагностику загрязнений зон ЧС с размерами от 340 до 1750 м. При очень крупных авариях зоны ЧС могут достигать таких размеров. Примером подобной аварии, точнее катастрофы, были взрывы военных складов вблизи г. Мелитополя в мае 2004 г.

Обратимся к уравнению (2). В этом уравнении только  $\Gamma$  зависит от длины волны  $\lambda$  (частоты  $\nu$ ) электромагнитного излучения. Для исключения неизвестных величин измерения следует вести на двух длинах волн  $\lambda_{1,2}$  (двух частотах  $\nu_{1,2}$ ). Одна из длин волн должна соответствовать максимуму в спектре поглощения, а вторая – должна быть вне этого максимума.

Представим уравнение (2) в виде

$$P_s(\lambda) = B e^{-2\Gamma(\lambda)}, \quad (6)$$

где  $B = \frac{PS\eta C}{R_0^2}$ .

Прологарифмировав (6), получим

$$\ln P_s(\lambda) = \ln B - 2\Gamma(\lambda). \quad (7)$$

При измерении на двух длинах волн для каждой составляющей, загрязняющей атмосферу, получим

$$\ln P_s(\lambda_1) = \ln B - 2\Gamma(\lambda_1), \quad (8)$$

$$\ln P_s(\lambda_2) = \ln B - 2\Gamma(\lambda_2). \quad (9)$$

После вычитания (8) из (9) имеем

$$\Gamma(\lambda_1) - \Gamma(\lambda_2) = \frac{1}{2} \ln \frac{P_s(\lambda_1)}{P_s(\lambda_2)}. \quad (10)$$

Учтем, что

$$\Gamma(\lambda_{1,2}) = \int_0^{R_0} N(R) \sigma(R, \lambda_{1,2}) dR, \quad (11)$$

где  $\sigma$  – лоренцева кривая.

Важно, что интегрирование в (11) ведется вдоль трассы.

При однородном распределении атмосферных примесей

$$\Gamma(\lambda_{1,2}) = N\sigma(\lambda_{1,2}) \times R_0. \quad (12)$$

Если размер облака выбросов  $l \ll R_0$ , то

$$\Gamma(\lambda_{1,2}) = N\sigma(\lambda_{1,2}) \times l. \quad (13)$$

В соотношениях (12), (13)  $N$  – искомая концентрация молекул.

Из (10) следует, что

$$\Delta\Gamma = \Gamma(\lambda_2) - \Gamma(\lambda_1) = N(\sigma(\lambda_2) - \sigma(\lambda_1)) \times R_0$$

или

$$\Delta\Gamma = N\Delta\sigma \times R_0, \quad (14)$$

где  $\Delta\sigma = \sigma(\lambda_2) - \sigma(\lambda_1)$ .

С другой стороны, из (10) следует, что

$$\Delta\Gamma = \frac{1}{2} \ln \frac{P_s(\lambda_1)}{P_s(\lambda_2)}. \quad (15)$$

Тогда из (14), (15) получаем

$$N = (2\Delta\sigma \times R_0)^{-1} \ln \frac{P_s(\lambda_1)}{P_s(\lambda_2)}. \quad (16)$$

Аналогічно из (13) и (14) следует, что

$$N = (2\Delta\sigma \times l)^{-1} \ln \frac{P_s(\lambda_1)}{P_s(\lambda_2)}. \quad (17)$$

В случае неоднородного распределения загрязнений в атмосферном газе для нахождения  $N$  вдоль лазерного луча необходимо решать уравнение (11) – интегральное уравнение Вольтерра. Для его решения необходимо и правую часть в (11) продифференцировать по верхнему пределу  $R_0$ . Тогда решение (11) примет вид

$$N(R_0) = \sigma(\lambda_1, \lambda_2)^{-1} \frac{d\Gamma(R_0, \lambda_1, \lambda_2)}{dR_0}. \quad (18)$$

Из (16) и (19) следует, что

$$N(R_0) = (2\Delta\sigma)^{-1} \frac{d}{dR_0} \ln \frac{P_s(\lambda_1)}{P_s(\lambda_2)}. \quad (19)$$

Соотношение (19) дает значение концентрации примесей на расстоянии  $R_0$ .

**Выводы.** Проведен анализ теоретических основ лазерных измерений состава воздушной среды. Предложена методика решения задачи оперативного мониторинга состава газов примесей и аэрозолей в зоне чрезвычайной ситуации применением единого комплекса лазерной измерительной аппаратуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беккер А.А. Охрана и контроль загрязнения природной среды. – Гидрометеиздат, 1989.
2. Стокгольмская конференция по окружающей среде 1972 года.
3. Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро 1992 года.

4. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. – М.: Мир, 1979.
5. Лазерный контроль атмосферы. под редакцией Э.Д. Хинкли. М.: Мир, 1979. 386 с.
6. В.Е. Зуев, В.В. Зуев. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. С.–П.: Гидрометеиздат, 1992. 212 с.
7. P.L. Meyer, M.W. Sigrist. Atmospheric pollution using CO<sub>2</sub>-laser photoacoustic spectroscopy and other techniques. *Rev. Sci. Instrum.*, 1990, v. 61, № 7, pp. 1779–1807.
8. Б.И. Васильев, У.М. Маннун. ИК лидары дифференциального поглощения для экологического мониторинга окружающей среды. *Квантовая электроника*, 2006, т. 36, № 9, с. 801–820.
9. Л.Ф. Черногор. Дистанционное радиозондирование атмосферы и космоса. Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2009. 348 с.
10. А. Исимару. Распространение и рассеяние волн в случайно – неоднородных средах. Т. 1. Однократное рассеяние и теория переноса. М.: Мир, 1981. 281 с.
11. Л.С. Ивлев, С.О. Андреев. Оптические свойства аэрозолей. Л.: ЛГУ, 1986. 278 с.

Третьяков О.В., Рашкевич О.С.

#### **Оцінка можливості застосування лазерних досліджень атмосфери зони надзвичайної ситуації**

Аналіз теоретичних основ лазерних вимірювань складу повітряного середовища та оцінка можливості його застосування в надзвичайних ситуаціях (НС). Запропоновано метод розв'язання задачі оперативного моніторингу складу газів домішок та аерозолів в зоні НС застосуванням єдиного комплексу лазерної вимірювальної апаратури.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, екологічний моніторинг, атмосфера, дистанційні методи зондування, лазер

Tretyakov O.V., Rashkevich A.S.

#### **Evaluate the application of laser for atmospheric zone of an emergency**

Analysis of the theoretical foundations of laser measurements of air pollution and to assess the possibility of its use in emergency situations (ES). Proposed method for solving real-time monitoring of trace gases and aerosols in the emergency area using a single set of laser measuring equipment.

**Key words:** emergency, environmental monitoring, the atmosphere, remote sensing techniques, laser

## ЗМІСТ

<b>Азаров С.І., Сидоренко В.Л.</b> Аналіз фізико-хімічних процесів при горінні графітової кладки зруйнованого реактору під час Чорнобильської аварії .....	3
<b>Альбоцій О.В., Семків О.М.</b> Основи методики розподілу ресурсів як механізму управління ресурсами при забезпеченні діяльності підрозділів цивільного захисту .....	14
<b>Басманов А.Е., Говаленков С.С., Васильев М.В.</b> Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества .....	20
<b>Басманов А.Е., Михайлюк А.А., Туркин И.Б.</b> Идентификация параметра модели локализации чрезвычайной ситуации .....	34
<b>Беляев В.Ю., Тарасенко А.А., Туркин И.Б.</b> Нахождение оптимального маршрута эвакуации населения по существующей сети автодорог .....	39
<b>Бородич П.Ю., Ковальов П.А., Росоха С.В., Стрелець В.М.</b> Вызначення особливостей роботи рятувальників в ізолюючих протигазах .....	47
<b>Васильев М.В., Стрелець В.М., Тригуб В.В.</b> Сравнительный анализ закономерностей работы спасателей в средствах индивидуальной защиты первого и второго типа .....	58
<b>Квітковський Ю.В., Стельмах О.А.</b> Загальні підходи до забезпечення безпечного руху людей у напрямку захисних споруд .....	66
<b>Кириченко І.О., Неклонський І.М.</b> Підбір вихідних даних для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями сил цивільного захисту та підрозділами внутрішніх військ у разі виникнення надзвичайних ситуацій .....	77
<b>Кривцова В.И., Ключка Ю.П.</b> Оценка вероятности разрушения баллонов с водородом .....	85
<b>Левтеров А.А., Стрелець В.М., Федцов А.А.</b> Оценка уровня подготовленности личного состава к работе со специальным оборудованием .....	94
<b>Мищенко И.В., Чернобай Г.А., Колосков В.Ю.</b> Решение задачи надежности объектов повышенной опасности при широкополосном внешнем воздействии .....	101
<b>Оберемок Н.Н., Прокопов А.В.</b> Алгоритм оценки экономической целесообразности инвестиций в метрологическую деятельность пожарно-спасательных подразделений .....	107
<b>Попов В.М., Ромин А.В., Фесенко Г.В.</b> Прогнозная оценка потерь населения в зонах катастрофического затопления с учетом степени неадекватности действий сил гражданской защиты и населения .....	113
<b>Рогозін А.С., Хоменко В.С.</b> Вдосконалення функцій координації та регулювання у здійсненні наглядової діяльності .....	120
<b>Светличная С.Д.</b> Оценка полученной токсодозы при распространении первичного облака токсического вещества .....	127
<b>Семків О.М.</b> Оптимізація проведення евакуаційних заходів з використанням проміжних пунктів евакуації .....	132
<b>Соболь О.М., Семків О.М., Коссе А.Г., Собина В.О.</b> Раціональне покриття об'єктів захисту районами виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів .....	139
<b>Тесленко А.А., Бугаев А.Ю., Олейник В.В.</b> Многоэтапная оценка опасности объектов .....	147
<b>Третьяков О.В., Рашичевич А.С.</b> Оценка возможности использования лазерного мониторинга атмосферы в зоне чрезвычайной ситуации .....	155

*Наукове видання*

## **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 13

Відповідальний за випуск Ю.О. Абрамов

Технічний редактор О.Ю. Кірючкін

---

Підписано до друку 08.04.2011

Ум.-друк. арк. 9,67

Вид. арк. 9,58

Формат паперу 60x84/16

Тир. 300

Зам. 104 – 2011

Ціна договірна

---

61023, Харків, вул. Чернишевського, 94

Електронна адреса: <http://nuczu.edu.ua/ukr/>

Типографія Національного університету цивільного захисту України