

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

---

# **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 15

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

Затверджено до друку Вченою радою  
НУЦЗ України  
(протокол № 10 від 24.05.2012 р.)

Харків 2012

УДК 331.101+351.861+355.77:614.84+502.5:504.062+504.056:574:477.54+  
504.5:665.6+519.6+533.27+614.8+614.84+614.876:355.58+666.84+  
681.324+681.5

Проблеми надзвичайних ситуацій [Текст] : зб. наук. пр. / НУЦЗ України. – Вип. 1 (2005)– . – Харків : НУЦЗУ, 2012– .  
Вип. 15. – 2012. – 227 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. Яковлєв**

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

Іл. – 39, табл. – 19

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.

*Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУТЗУ,  
Кулешов Н.Н., канд. техн. наук, проф., НУТЗУ,  
Тищенко А.М., канд. техн. наук, нач. каф., ЧАПБ*

## **АЛГОРИТМ ДИАГНОСТИКИ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА АЭС**

Разработан алгоритм, обеспечивающий диагностику датчиков первичной информации систем ослабления последствий аварий на АЭС

**Ключевые слова:** датчик первичной информации, опасный фактор чрезвычайной ситуации, диагностический алгоритм

**Постановка проблемы.** Использование автоматических систем раннего обнаружения опасных факторов чрезвычайных ситуаций различного характера позволяет существенно снизить ущерб от их последствий. В этой связи одной из проблем является научное обоснование алгоритмов реализации таких систем.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Наиболее полно решение такой проблемы применительно к АЭС изложено в [1]. В работе используется интегральный подход, вследствие чего не рассматривается влияние элементов системы на эффективность функционирования всей системы. Применительно к системе ослабления последствий аварий на АЭС в [2] разработаны методы расширения функциональных возможностей путем введения структурной избыточности в датчиках первичной информации. Следует отметить, что возможности получения избыточной информации используются не в полной мере. В частности, это касается формирования алгоритмов, обеспечивающих повышение надежности получения информации об опасных факторах чрезвычайных ситуаций.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является разработка алгоритмов, обеспечивающих диагностику датчиков первичной информации систем ослабления последствий аварий на АЭС, и как следствие – повышение надежности получения информации об опасных факторах чрезвычайных ситуаций.

В общем виде структурная схема датчика первичной информации имеет вид, приведенный на рис. 1.

Если опасный фактор чрезвычайной ситуации  $\theta(t)$  изменяется по линейному закону, т.е.

$$\theta(t) = bt, \quad b = \text{const}, \quad (1)$$

где  $b$  – скорость изменения опасного фактора, то в момент времени  $t_i$  на первом выходе датчика будет иметь место

$$u_1(t_i) = Kb \left[ t_i - \tau_1 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_i}{\tau_1}\right) \right] \right]. \quad (2)$$

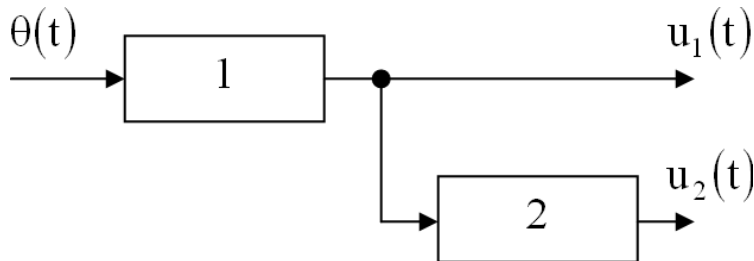


Рис. 1 – Структурная схема датчика первичной информации: 1 – датчик максимального типа; 2 – корректирующее устройство

В этом выражении  $K$ ,  $\tau_1$  – коэффициент передачи и постоянная времени датчика 1 соответственно.

Если передаточная функция устройства 2 имеет вид

$$W_{\kappa}(p) = \tau_{\kappa} p (\tau_{\kappa} p + 1)^{-1}, \quad (3)$$

то в момент времени  $t_{i+1}$ , на выходах датчика первичной информации будут соответственно сигналы

$$u_1(t_{i+1}) = Kb \left[ t_{i+1} - \tau_1 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_{i+1}}{\tau_1}\right) \right] \right]; \quad (4)$$

$$u_2(t_{i+1}) = L^{-1} \left[ \frac{K\tau_k p}{(\tau_1 p + 1)(\tau_k p + 1)} \frac{b}{p^2} \right] =$$

$$= \frac{Kb\tau_k}{\tau_k - \tau_1} \left[ \tau_k \exp\left(-\frac{t_{i+1}}{\tau_1}\right) - \tau_1 \exp\left(-\frac{t_{i+1}}{\tau_k}\right) + \tau_k - \tau_1 \right], \quad (5)$$

где  $L^{-1}$  – оператор обратного интегрального преобразования Лапласа;  $\tau_k$  – постоянная времени корректирующего устройства.

Определим разность выражений (4) и (2), приведенную к разности  $\Delta t_{i+1} = t_{i+1} - t_i$ , т.е.

$$\frac{u_1(t_{i+1}) - u_1(t_i)}{t_{i+1} - t_i} = Kb \left[ 1 + \frac{\tau_1}{t_{i+1} - t_i} \left[ \exp\left(-\frac{t_{i+1}}{\tau_1}\right) - \exp\left(-\frac{t_i}{\tau_1}\right) \right] \right]. \quad (6)$$

Следует отметить, что

$$\lim_{\Delta t_{i+1} \rightarrow 0} \frac{u_1(t_{i+1}) - u_1(t_i)}{\Delta t_{i+1}} = \frac{du_1(t_i)}{dt} = Kb \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_i}{\tau_1}\right) \right], \quad (7)$$

т.е. выражение (6) представляет по своему смыслу дискретный аналог производной сигнала  $u_1(t)$  в момент времени  $t = t_i$ . Если  $t_i \geq 3\tau_1$ , то из этого выражения следует, что оно пропорционально скорости изменения опасного фактора чрезвычайной ситуации.

Если из (6) вычесть (5), деленное на величину постоянной времени  $\tau_k$ , то получим

$$D = \frac{u_1(t_{i+1}) - u_1(t_i)}{t_{i+1} - t_i} - \frac{u_2(t_{i+1})}{\tau_k} = \left[ \frac{\tau_1}{t_{i+1} - t_i} \left[ \exp\left(-\frac{t_{i+1}}{\tau_1}\right) - \exp\left(-\frac{t_i}{\tau_1}\right) \right] - \right.$$

$$\left. - \frac{\tau_k}{\tau_k - \tau_1} \exp\left(-\frac{t_{i+1}}{\tau_1}\right) + \frac{\tau_1}{\tau_k - \tau_1} \exp\left(-\frac{t_{i+1}}{\tau_k}\right) \right] Kb. \quad (8)$$

Полагая, что  $t_{i+1} - t_i = \beta\tau_1$ ,  $\tau_k = \alpha\tau_1$ , где  $\beta$  и  $\alpha$  – параметры, выражение (8) можно переписать следующим образом

$$D = Kb \exp\left(-\frac{t_i}{\tau_1}\right) \left[ \frac{\exp(-\beta) - 1}{\beta} - \frac{\exp(-\beta)}{\alpha - 1} \left[ \alpha - \exp\left[-\beta(1 - \alpha)\alpha^{-1}\right] \right] \right]. \quad (9)$$

Следует заметить, что

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} D = 2Kb \exp\left(-t_i \tau_1^{-1}\right), \quad (10)$$

т.е. при  $t_i \geq 3\tau_1$ , это выражение стремится к нулю. Следовательно, величина  $D$  может служить мерой рассогласования между приведенной разностью (6) и величиной (5) в соответствующем масштабе. Критерий, используемый для диагностики датчиков первичной информации, будет иметь вид

$$D \leq \varepsilon, \quad (11)$$

где  $\varepsilon$  – параметр, характеризующий целесообразность использования информации, получаемой от датчика первичной информации об опасном факторе чрезвычайной ситуации.

Реализация алгоритмов (5), (6), (8) и (11) позволяет повысить надежность получения информации об опасных факторах чрезвычайной ситуации, что обусловлено введением второго информационного канала за счет структурной избыточности, который, по сути, выполняет роль резервного канала получения информации.

**Выводы.** Показано, что введение структурной избыточности в датчике первичной информации об опасных факторах чрезвычайных ситуаций открывает возможность в реализации диагностического алгоритма.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ястребенецкий М.А. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы / М.А. Ястребенецкий, В.Н. Васильченко, С.В. Виноградская, В.М. Гольдин, Ю.В. Розен, Л.И. Спектор, В.С. Харченко. – К.: Техніка, 2004. – 472 с.
2. Садковой В.П. Идентификация математической модели автоматической системы ослабления последствий аварий на АЭС / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2008. – С. 182-189.

3. Бейтмен Г. Таблицы интегральных преобразований. Преобразования Фурье, Лапласа, Меллина / Г. Бейтмен, А. Эрдейн. – М.: Наука, 1969. – 342 с.

Абрамов Ю.О., Кулешов М.М., Тищенко О.М.

**Алгоритм діагностики датчиків первинної інформації систем послаблення наслідків аварій на АЕС**

Розроблено алгоритм, який забезпечує діагностику датчиків первинної інформації систем послаблення наслідків аварій на АЕС

**Ключові слова:** датчик первинної інформації, небезпечний фактор надзвичайної ситуації, діагностичний алгоритм

Abramov Y.A., Kuleshov N.N., Tischenko A.M.

**Diagnosis algorithm for primary information sensors of reduce the consequences of accidents systems at nuclear power plants**

The algorithm provides diagnostic for the primary information sensors of reduce the consequences of accidents systems at nuclear power plants

**Key words:** primary information sensor, hazard emergency, diagnostic algorithm

**УДК 614.84**

*Аветісян В.Г., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,  
Тригуб В.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ*

**АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ РЯТУВАЛЬНИКІВ  
ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НС В УМОВАХ ПОВЕНЕЙ**

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

Показано підходи до визначення потрібних сил для проведення рятувальних робіт при повенях

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, повінь, рятувальний розрахунок, рятувальні роботи

**Постановка проблеми.** Згідно [1] основна задача підрозділів МНС при ліквідації надзвичайних ситуацій, в тому числі і при повенях та підтопленнях є рятування людей та майна, для чого потрібно завчасно, при прогнозуванні обстановки, визначити потрібну кількість сил та засобів для проведення розвідки зони НС та евакуаційних заходів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В попередніх дослідженнях докладно розглядаються питання, які стосуються прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій взагалі. В роботі [2] при визначенні сил та засобів для проведення рятувальних робіт враховують в якості основного параметру площу затоплення, в [3 – 4] – ступінь руйнування будівель та споруд внаслідок впливу водної стихії та ін. В роботі [5] розглянуто питання щодо визначення потрібної кількості сил для проведення розвідки зон затоплення. Але розглянуті фактори, що враховуються, не дозволяють отримати результат, який включає весь комплекс робіт, що виконується.

**Постановка завдання та його вирішення.** При складанні прогнозу про можливу обстановку в зоні затоплення та визначення кількості необхідних підрозділів доцільно врахувати як мого більшу кількість вражаючих факторів: площа затоплення; кількість населених пунктів, що потрапили в зону затоплення; ступені і якісні характеристики ушкоджень будинків житлового фонду (до ступенів ушкоджень будинків варто відносити важкі ушкодження, помірні та слабкі); чисельність населення, що потрапило в зону затоплення і його втрати; довжина пошкоджених комунально-енергетичних мереж; довжина пошкоджених мостів, що потрапили в зону затоплення; довжина пошкоджених захисних дамб; обсяги та трудомісткість виконання аварійно-рятувальних робіт. При прогнозуванні обстановки особливе місце займає визначення потрібної кількості сил та засобів рятувальної служби для проведення евакуаційних заходів в зоні НС.

Тому виникає необхідність уточнення існуючої методики розрахунку сил для проведення евакуації потерпілого населення з зон затоплення шляхом урахування додаткових факторів.

На основі даних можливої обстановки в зоні затоплення повинна бути створена формування сил ліквідації наслідків повені, які здатні: провести розвідку зони затоплення; провести порятунок постраждалого населення; організувати будівництво пунктів посадки та висадження постраждалого населення із усіх видів транспорту; організувати відновлення автомобільних доріг і залізничних магістралей; організувати відновлення ушкоджених і будівництво нових мостів; організувати відновлення ушкоджених і будівництво нових захисних дамб; організувати відновлення комунально-енергетичних мереж і ліній зв'язку.



Основою для створення підрозділів для проведення аварійно-рятувальних робіт є результати прогнозу оперативної обстановки в районі ймовірного затоплення.

За результатами прогнозу обстановки потрібно визначити загальну кількість ланок для проведення рятувальних робіт в зонах затоплення. Уточнення методики визначення потрібної кількості сил та засобів для проведення рятувальних робіт пропонується вирішувати наступним чином. Загальну кількість ланок для проведення рятувальних робіт в зонах затоплення можна визначити

$$N_{app} = N_p + N_p^{nz} + N_e^{nz} + N_p^{am}, \quad (1)$$

де  $N_{app}$  – загальна кількість підрозділів для проведення рятувальних робіт в зонах затоплення;  $N_p$  – кількість підрозділів для проведення розвідки зон затоплення;  $N_p^{nz}$  – кількість підрозділів для безпосереднього проведення рятувальних робіт на плавзасобах;  $N_e^{nz}$  – кількість підрозділів для проведення евакуації потерпілих з пунктів збору на плавзасобах;  $N_p^{am}$  – кількість підрозділів для проведення евакуаційних робіт на автомобільному транспорті.

Визначення необхідних сил для проведення розвідки зон затоплення розглянуто в [5].

Сили безпосереднього порятунку населення, що потрапило в зону повені (на плавзасобах) [6]

$$N_p^{nz} = 0,0033 \cdot N_{zat}, \quad (2)$$

де  $N_{zat}$  – чисельність населення, яке потрапило в зону повені, чол; 0,0033 – кількість рятувальних груп на одного потерпілого.

$$N_{zat} = S_{zat}^{m3} \cdot q^m, \text{ чол}, \quad (3)$$

де  $S_{zat}^{m3}$  – площа затопленої міської забудови, м<sup>2</sup>;  $q^m$  – щільність населення міської забудови, чол/км<sup>2</sup> (по статистичним даним).

$$S_{zat}^{m3} = b_{zat}^{m3} \cdot l_{zat}^{m3}, \text{ км}^2, \quad (4)$$

де  $l_{zat}^{m3}$  – довжина затопленої міської забудови (для прогнозу можна приймати рівній довжині міста вздовж річки, що знімається із плану міста), км;  $b_{zat}^{m3}$  – ширина затоплення міської зони, км.

$$b_{zat}^{m3} = \frac{H_e - h_{1b}}{\operatorname{tg} \alpha_1} - l_1, \quad (5)$$

де  $H_e$  – максимальна висота паводка в створі міста;  $h_{1b}$  – висота берегу від рівня води;  $\alpha$  – кут ухилу місцевості в створі міста;  $l_1$  – горизонтальна відстань від берега до міської забудови, км.

Чисельність населення сільської місцевості, що потрапила в зону затоплення, визначається за статистичними даними чисельності населення, що проживає в затоплених населених пунктах.

Розрахунок потрібної кількості підрозділів для евакуації населення із зони затоплення (з пунктів збору потерпілих) [6]

$$N_e^{n3} = \sum_{i=1}^m \frac{N_{zat.i}^{ПЗ} \cdot R_i^{ПЗ}}{N_{M.i}^{ПЗ} \cdot T} \cdot k_c \cdot k_n \cdot k_m, \quad (6)$$

де  $N_{zat.i}^{n3}$  – чисельність населення, яке евакуюється  $i$ -м видом плавзасобу, чол;  $m$  – кількість видів плавзасобів;  $N_{M.i}^{n3}$  – місткість  $i$ -го виду плавзасобу, чол;  $R_i^{n3}$  – тривалість рейсу  $i$ -го виду плавзасобу;  $k_c$  – коефіцієнт часу доби;  $k_n$  – коефіцієнт підводних умов;  $k_m$  – коефіцієнт використання плавзасобів,  $k_m = 1, 2$ ;  $T$  – тривалість евакуації (рятувальних робіт), хв.

$$R_i^{n3} = \frac{2 \cdot L_{Me}}{V_i^{ПЗ}} (1 + 0,3V_{ВП}) + t_{ПВ.i}^{ПЗ}, \quad \text{хв}, \quad (7)$$

де  $L_{Me}$  – довжина маршруту евакуації, м;  $V_i^{n3}$  – швидкість руху  $i$ -того плавзасобу по воді, м/хв;  $V_{вн}$  – швидкість течії водного потоку, м/с;  $t_{нв.i}^{n3}$  – час необхідний на завантаження та розвантаження  $i$ -того плавзасобу, хв.

Розрахунок необхідної кількості підрозділів на автомобільному транспорті для перевезення постраждалого населення від меж затоплення в райони розселення [3]

$$N_p^{am} = \sum_{i=1}^m \frac{N_{эн.i}^{am} \cdot R_i^{am}}{N_{вм.i}^{am} \cdot T} \cdot k_c \cdot k_n \cdot k_m, \quad (8)$$

де  $N_{эн}^{am}$  – кількість постраждалого населення, яке перевозиться  $i$ -м видом автотранспорту, чол;  $N_{вм.i}^{am}$  – місткість  $i$ -го виду автотранспорту, чол;  $R_i^{am}$  – тривалість руху  $i$ -го автотранспорту, год.

**Висновки.** Таким чином запропонована методика визначення кількості підрозділів для проведення рятувальних робіт в зонах затоплення при повенях дозволяє врахувати фактори, що впливають на успішне їх проведення, а також враховує весь комплекс аварійно-рятувальних та евакуаційних робіт.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про правові засади цивільного захисту: Закон України / Верховна Рада України. Київ, 2004.
2. Каммерер Ю.Ю., Харкевич А.Е. Аварийные работы в очагах поражения. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
3. Емельянов В.М. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. – М., 2002. – С. 279 – 289.
4. Саков Г.П., Цивилев М.П., Поляков И.С. и др. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций. – М: ЗАО «ПАПИРУС», 1998. – 166 с.
5. Аветисян В.Г., Тригуб В.В., Куліш Ю.О. Визначення кількості підрозділів для проведення розвідки зони НС при повенях // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб наук. пр. НУЦЗ України. Вип. 14. - Харків: НУЦЗУ, 2011. С. 3 – 6.
6. Шульгин В.Н., Шеломенцев С.В., Ларионов В.И. Методические рекомендации по организации и проведению мероприятий направленных на снижение последствий весеннего половодья и паводков. – М: ВНИИ ГОИ ЧС, 2000. – 119с.

Аветисян В.Г., Тригуб В.В.

### **Определение количества спасателей при ликвидации чрезвычайных ситуаций в условиях наводнения**

Показано подходы к определению необходимых сил для проведения спасательных работ при наводнениях

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, наводнение, спасательный расчет, спасательные работы

Avetisyan V.G., Trigub V.V.

### **Determination of the number of rescuers during emergency response to flooding conditions**

Displaying approaches to the determination of the necessary forces for rescue operations during floods

**Key words:** emergency, flood, life settlement, life-saving work

УДК 351.861

*Альбоцій О.В., канд. військ. наук, доц., НУЦЗУ*

## **МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНЮВАННЯ ПЛАНОВОГО РІВНЯ ПІДГОТОВКИ ПІДРОЗДІЛІВ ОПЕРАТИВНО-РЯТУВАЛЬНОЇ СЛУЖБИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

(представлено д-ром техн. наук Ларіним О.М.)

Стаття присвячена розробці методичних основ кількісного оцінювання рівня підготовки підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в формалізованих методиках, що важливо для врахування планового рівня підготовки при розрахунках можливостей підрозділів щодо виконання завдань за призначенням

**Ключові слова:** службова підготовка, рівень підготовки, навчальні заходи, можливості підрозділів

**Постановка проблеми.** Службова підготовка особового складу підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту є одним з найважливіших факторів, що визначає можливості підрозділів щодо виконання завдань за призначенням. Проте, оцінки можливостей підрозділів у формалізованих методиках не враховують у явному вигляді рівня вишколу (навченості) особового складу. Аналіз показує, що параметри, які чутливі до рівня підготовки, у математичних залежностях присутні. До них відносяться часові показники: тривалість розвідки, тривалість бойового розгортання тощо. Але вони не зв'язані з оцінками результативності планових заходів службової підготовки. Фактично вважається, що рівень вишколу ідеальний (у ймовірнісному вимірі рівний одиниці). Такий стан справ робить існуючі оцінки можливостей підрозділів неточними і зумовлює необхідність подальших теоретичних досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню питань службової підготовки та впливу її рівня на можливості підрозділів різних формувань щодо виконання завдань за призначенням в теоретичних дослідженнях приділялась значна увага. В роботі [1] представлені основні математичні залежності, які дозволяють описати динаміку рівня знань, умінь та навичок особового складу військових формувань від кількості навчальних заходів. Стаття [2] присвячена аналізу підходів до кількісного оцінювання

Альбоцій О.В.

впливу рівня підготовки особового складу на результати службової діяльності підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. В статті [3] досліджувались питання максимізація ефекту від проведення сукупності навчальних заходів. В роботі [4] розглянута задача визначення функціональної залежності часу бойового розгортання розрахунків пожежно-рятувальних підрозділів від рівня бойового вишколу. Розкритий методичний підхід до її розв'язання, в основі якого лежать методи теорії планування експерименту.

Проте, на даний момент часу відсутні методика, які дозволяють отримати кількісні оцінки планового рівня підготовки підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

**Постановка завдання та його вирішення.** Розробити методичні основи оцінювання планового рівня підготовки підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. Підрозділи оперативно-рятувальної служби мають бути постійно готовими до ліквідації надзвичайних подій та ситуацій, які є випадковими процесами. Стан готовності до дій за призначенням безпосередньо залежить від рівня підготовки підрозділів.

Рівень підготовки формується у процесі проведення навчальних занять, виконання професійних завдань, самоосвіти особового складу. Головну роль в цьому ряду посідають заходи службової підготовки. Сукупність заходів, що передбачаються до проведення у періоді навчання, утворює план службової підготовки. Основу плану підготовки складають заходи Типових навчальних програм проведення занять із службової підготовки з середнім і старшим начальницьким складом та з рядовим і молодшим начальницьким складом органів та підрозділів цивільного захисту [5]. Тим самим забезпечується принцип єдності підготовки. В той же час, фактичний рівень підготовки кожного підрозділу залишається індивідуальним і залежить від ряду факторів, основними з яких є:

вихідний рівень вишколу та злагодженості підрозділу;

якість підготовки і проведення занять;

готовність осіб рядового і начальницького складу до сприйняття навчального матеріалу, рівень організованості, плинність кадрів тощо.

Важливим фактором є, також, рівень ресурсного забезпечення службової підготовки. Адже, кожний навчальний захід передбачає використання певних ресурсів.

В свою чергу, нерівномірність розподілу по території техногенного навантаження, загроз природного характеру, напруженості оперативної обстановки обумовлює різний рівень вимог до готовності підрозділів.

За таких умов типовий перелік навчальних заходів необхідно розглядати як такий, що забезпечує деякий базовий рівень підготовки підрозділів. Такий рівень підготовки може не задовольняти вимогам щодо об'єктивного ступеня готовності підрозділів. Тоді, для досягнення відповідності планового рівня підготовки об'єктивним вимогам, типовий перелік має бути доповненим іншими навчальними заходами (додатковими заняттями).

Відповідне планування неможливе без кількісного оцінювання планового рівня підготовки, що зумовлює необхідність розробки відповідної математичної моделі. В основу моделі можуть бути покладені відомі математичні залежності [1]

$$P_n = \gamma - (\gamma - P_0) \cdot (1 - \xi)^n; \quad (1)$$

$$P(t) = \gamma_s - (\gamma_s - P_k) \cdot (1 - \xi_s)^{\Delta t}. \quad (2)$$

Перше рівняння відображає динаміку зростання рівня підготовки при збільшенні кількості занять (вправ). Друге – динаміку зниження рівня підготовки в інтервалі часу між заняттями. Процеси описуються в залежності від таких параметрів:

$\gamma$  – граничний рівень підготовки, який може бути досягнутим при використанні навчально-тренувального засобу певного виду (коефіцієнт адекватності навчально-тренувального засобу штатній техніці),  $0 \leq \gamma \leq 1$ ;

$P_0$  – початковий рівень підготовки (початкова ймовірність виконання завдань);

$\xi$  – доля знань, вмінь та навичок від загального обсягу, передбаченого навчальним планом, відведена на засвоєння впродовж одного заняття,  $0 \leq \xi \leq 1$ ;

$n$  – кількість повторів заняття (вправи);

$\gamma_s$  – значення рівня підготовки, до якого він буде знижуватися без проведення занять;

$P_k$  – рівень підготовки, який було досягнуто на момент закінчення занять;

$\Delta t$  – інтервал часу від моменту закінчення навчання до розрахункового моменту часу  $t$ .

Якщо процес службової підготовки представити послідовністю інтервалів часу проведення занять (1) і відсутності занять (2), то графічно динаміка рівня підготовки підрозділу, описана наведеними рівняннями, має вигляд

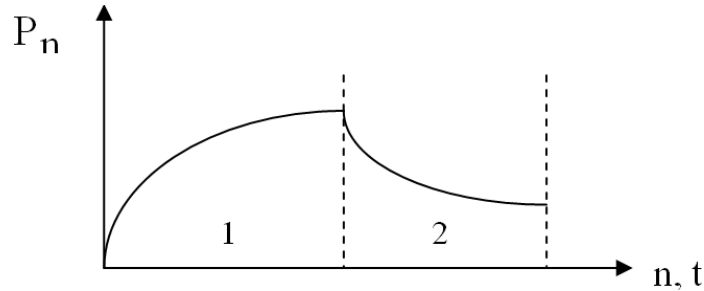


Рис. 1 – Динаміка рівня підготовки підрозділу (якісна)

Рівняння (2) дозволяє оцінити тривалість інтервалу часу зниження рівня підготовки до заданої величини  $P(t)$  (не нижче за потрібний рівень).

$$\Delta t = \frac{\ln(\gamma_s - P(t)) - \ln(\gamma_s - P_k)}{\ln(1 - \xi_s)}$$

Параметри рівнянь можуть бути оцінені експертним шляхом, або за статистичними даними (при наявності достатньої статистичної вибірки).

Наведені математичні залежності дають можливість побудувати розрахункову модель для визначення рівня підготовки підрозділу в залежності від параметрів плану службової підготовки (множини навчальних заходів). Для цього необхідно у множині навчальних заходів виділити підмножини за ознакою граничного рівня підготовки, який може бути досягнутим при використанні навчально-тренувального засобу певного виду. В загальному випадку можна вести мову про три види засобів навчання: навчальні та наочні посібники; тренажери; штатна техніка. Тоді, план службової підготовки може бути представленим множиною  $M_{ин} = \{M_{ин}, M_{тр}, M_m\}$  з підмножинами навчальних заходів:

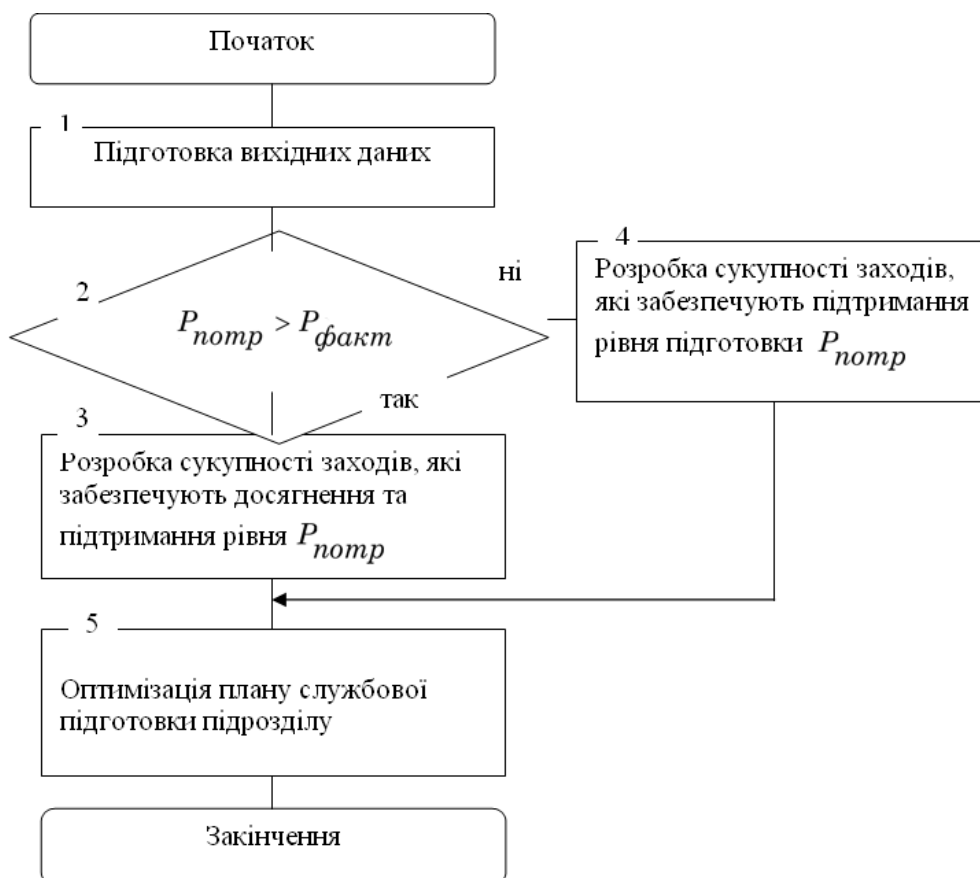
$$M_{nn} = \{m_{11}, \dots, m_{i1}, \dots, m_{g1}\};$$

$$M_{mp} = \{m_{12}, \dots, m_{i2}, \dots, m_{h2}\};$$

$$M_m = \{m_{13}, \dots, m_{i3}, \dots, m_{p3}\}.$$

Враховуючи те, що перелік навчальних заходів типових програм є обов'язковим до виконання, то задачу можна спростити, ввівши в модель базовий рівень підготовки  $\gamma_6$ , розглядаючи його як постійну величину.

Описавши динаміку рівня підготовки підрозділу для названих підмножин навчальних заходів, можна формулювати та розв'язувати задачу оптимізації плану за критерієм мінімізації витрат на досягнення та підтримання потрібного рівня підготовки конкретного підрозділу. Для пошуку оптимального плану слід використовувати алгоритм, представлений на рис.2.



**Рис. 2 – Загальний алгоритм розробки набору заходів підготовки підрозділу цивільного захисту**



На першому кроці збираються та аналізуються вихідні дані: початковий рівень підготовки підрозділу  $P_{факт}$ ;

базовий рівень підготовки, який забезпечується сукупністю типових заходів;

оцінка потрібного рівня підготовки  $P_{потр}$ ;

параметри заходів службової підготовки, включених до сукупності можливих заходів  $\gamma_i, n_i$ ;

узагальнені параметри тих, хто навчається (особового складу підрозділу)  $\xi, \xi_3$ .

На другому кроці проводиться порівняння початкового рівня підготовки  $P_{факт}$  з потрібним  $P_{потр}$ .

На третьому кроці, в залежності від співвідношення названих рівнів підготовки, здійснюється перехід до блоку 3 (якщо  $P_{потр} > P_{факт}$ ), або блоку 4 (якщо  $P_{потр} < P_{факт}$ ). Блок 3 передбачає формування альтернативних наборів навчальних заходів, які дозволяють у сукупності досягти і підтримувати впродовж періоду навчання рівень підготовки не нижче потрібного. Блок 4 передбачає формування альтернативних наборів заходів, які достатні для підтримання потрібного рівня.

Як правило, на рішення накладаються обмеження. Якщо існують ресурсні обмеження (що характерно для сучасного стану фінансування оперативно-рятувальної служби цивільного захисту), то необхідно вибрати такий набір, який має мінімальну вартість (блок 5).

**Висновки:** сучасний стан розробки питань оцінювання планового рівня підготовки різних формувань дозволяє побудувати математичну модель процесу навчання підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. В основу моделі покладені рівняння, що описують динаміку зростання та зниження рівня підготовки в залежності від плану проведення навчальних заходів, а саме упорядкованої сукупності навчальних заходів за потенційними можливостями навчально-тренувальних засобів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ./ С.Ф. Викулов – М.: Воениздат, 2001 – 440 с.

2. Альбошій О.В. Підходи до визначення впливу рівня підготовки особового складу підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту на ефективність їх професійно-службової діяльності / О.В. Альбошій. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Харків: УЦЗУ, - 2006. Вип. 4. – С.34-41.
3. Альбошій О.В. До питання забезпечення ефективності підготовки підрозділів оперативно-рятувальної служби / О.В. Альбошій Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Харків: УЦЗУ, - 2008. Вип. 8. – С. 13-19.
4. Альбошій О.В. Підхід до оцінювання часу бойового розгорання як функції бойового вишколу особового складу / О.В. Альбошій Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Харків: УЦЗУ, - 2009. Вип. 10. – С.23-28.
5. Наказ МНС України від 18 серпня 2011 року № 858 «Про організацію службової підготовки з особовим складом органів і підрозділів цивільного захисту у 2011/2012 навчальному році».

Альбоший А.В.

**Методические основы оценивания планового уровня подготовки подразделений оперативно-спасательной службы гражданской защиты**

Статья посвящена разработке методических основ количественного оценивания уровня подготовки подразделений оперативно-спасательной службы гражданской защиты в формализованных методиках, что важно для учета планового уровня подготовки при расчетах возможностей подразделений выполнять задачи по назначению

**Ключевые слова:** служебная подготовка, уровень подготовки, учебные мероприятия, возможности подразделений

Al'boschiy A.V

**Methodical bases of evaluation of the planned level of preparation of subdivisions of operatively-rescue service of civil defence**

The article is devoted development of methodical bases of quantitative evaluation of level of preparation of subdivisions of operatively-rescue service of civil defence in the formalized methods, that is important for the account of the planned level of preparation at the calculations of possibilities of subdivisions to execute tasks on purpose

**Key words:** official preparation, level of preparation, educational measures, possibilities of subdivisions

*Барбашин В.В., канд. техн. наук, нач. каф., НУЦЗУ,  
Попов І.І., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,  
Толкунов І.О., заст. нач. каф., НУЦЗУ*

## **МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

(представлено д-ром фіз.-мат. наук Яковлевим С.В.)

На підставі аналізу сучасного стану технічних засобів радіаційної розвідки та контролю, розроблені рекомендації щодо якісного метрологічного забезпечення при подовженні їх технічного ресурсу з підтриманням необхідного рівня достовірності вимірювальної інформації про радіаційні параметри надзвичайних ситуацій

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, система моніторингу надзвичайних ситуацій, радіоекологічний моніторинг, технічний засіб радіаційної розвідки та контролю, метрологічне забезпечення

**Постановка проблеми.** Згідно із «Положенням про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру», одним з основних завдань цивільного захисту є збирання і аналітичне опрацювання інформації про надзвичайні ситуації (НС), оцінка та прогноз їх наслідків [1]. Ці питання вирішуються в процесі моніторингу НС, який включає: моделювання, безперервні спостереження, виявлення та вимір джерел небезпеки, прийняття управлінських рішень.

Система моніторингу НС в Україні ґрунтується на відповідній нормативно-правовій базі, яка визначає основні організаційні та правові основи моніторингу, включаючи принципи побудови, завдання, склад сил і засобів щодо його реалізації та порядок його здійснення у межах завдань Єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру [2,3].

Контроль радіаційного стану, який є складовою частиною загального контролю за станом навколишнього середовища, полягає у проведенні радіоекологічного моніторингу (спостереження), оці-

нки та прогнозування радіаційної обстановки, і на підставі його результатів визначення необхідності проведення заходів щодо захисту населення і територій. Контроль радіаційного стану проводиться постійно на всій території країни, особлива увага при цьому приділяється районам розміщення радіаційнонебезпечних об'єктів, і в першу чергу – атомних станцій.

Це потребує оснащення систем моніторингу сучасними технічними засобами радіаційної розвідки та контролю (ТЗРРК). Тут можливі різні варіанти з огляду на їх технічне оснащення: створення системи із залученням закордонної техніки або створення її на базі вітчизняної. Крім того, технічне оснащення і пов'язані з цим необхідні витрати залежать від розроблених вимог до просторово-тимчасового розподілу засобів контролю НС та їх джерел, кількості, контрольованих параметрів, точності і дискретності спостережень. При цьому, цей процес повинен йти шляхом максимальної оптимізації витрат на розробку, створення, експлуатацію та подальше удосконалення (модифікацію) ТЗРРК без зниження їх основних показників.

Розрахунок необхідних витрат повинен розроблятися з урахуванням наявних напрацювань (діючих фрагментів системи, а також відомчих засобів контролю), що будуть функціонувати по єдиній робочій програмі, що не виключає відомчі інтереси [4].

Отже, з огляду на вищесказане, метою роботи є удосконалення методичного забезпечення метрологічного обстеження ТЗРРК.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Радіаційний моніторинг в інтересах цивільного захисту організовується і проводиться з метою виявлення і оцінки обстановки, що склалася, або може скластися внаслідок НС техногенного та природного характеру. У цих випадках моніторинг НС як у процесі спостереження за потенційно небезпечними об'єктами, так і у ході реалізації заходів в осередках ураження може здійснюватися засобами космічної, повітряної, надводної і наземної розвідок. При цьому один варіант може передбачати використання в основному стаціонарних і в меншому ступені мобільних засобів спостереження і контролю, а інший навпаки: більший за кількістю об'єм мобільних і незначне число стаціонарних засобів. Другий варіант у цілому має ряд переваг, особливо з позиції необхідних витрат, включаючи витрати на капітальне будівництво [5].

Враховуючи реальні фінансові можливості країни, продовження технічного ресурсу штатних ТЗРРК є одним з доцільних

шляхів оптимізації витрат на функціонування Єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру. При цьому, оперативність та ефективність прийняття рішень щодо ліквідації наслідків НС, і радіаційну безпеку в цілому, буде визначатися рівнем достовірності вимірjuвальної інформації, яка отримується зазначеними ТЗРРК [6,7].

Це потребує якісне метрологічне забезпечення штатних ТЗРРК на всіх етапах їх життєвого циклу, особливо при продовженні їх технічного ресурсу, яке повинно здійснюватися за принципом «витрати – потрібний рівень імовірності безвідмовної роботи».

**Постановка завдання та його вирішення.** Як відомо, більшість ТЗРРК, яка призначена та використовується для радіаційного моніторингу НС, складається з напівпровідникової елементної бази, зокрема, мікросхем і радіоелектронних засобів. При описі показників надійності напівпровідникових приладів, мікросхем і радіоелектронних засобів зазвичай використовується розподіл Вейбулла-Гнеденко. Відповідно цьому розподілу імовірність безвідмовної роботи в часовому інтервалі  $(0 \div t)$  дорівнює

$$P(t) = e^{-(t/c)^b}, \quad (1)$$

де  $b \geq 0$  – параметр форми закону розподілу, який залежить від числа відмов виробу (для ТЗРРК цей параметр знаходиться в діапазоні від 2 до 5);  $c \geq 0$  – параметр масштабу.

Щільність імовірності відмов (рис. 1, а) дорівнює

$$f(t) = \frac{b}{c} \cdot \left(\frac{t}{c}\right)^{b-1} \cdot e^{-(t/c)^b}. \quad (2)$$

Виконавши певні очевидні перетворення із (1) та (2), отримуємо вираз для визначення інтенсивності відмов

$$\lambda(t) = \frac{b}{c} \cdot \left(\frac{t}{c}\right)^{b-1}. \quad (3)$$

Неважко визначити, що при  $b < 1$  інтенсивність відмов монотонно зменшується, а при  $b > 1$  (що відповідає показнику для ТЗРРК) монотонно збільшується (рис. 1, б).

Для опису надійності ТЗРРК, широко використовується розподіл Релея, який достатньо повно описує поведінку радіоелектронних засобів та їх елементів з явно вираженим ефектом старіння та зношеності. Наступні вирази дають можливість визначити імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , щільність імовірності відмов  $f(t)$  та інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  досліджуваних технічних засобів радіаційної розвідки та контролю.

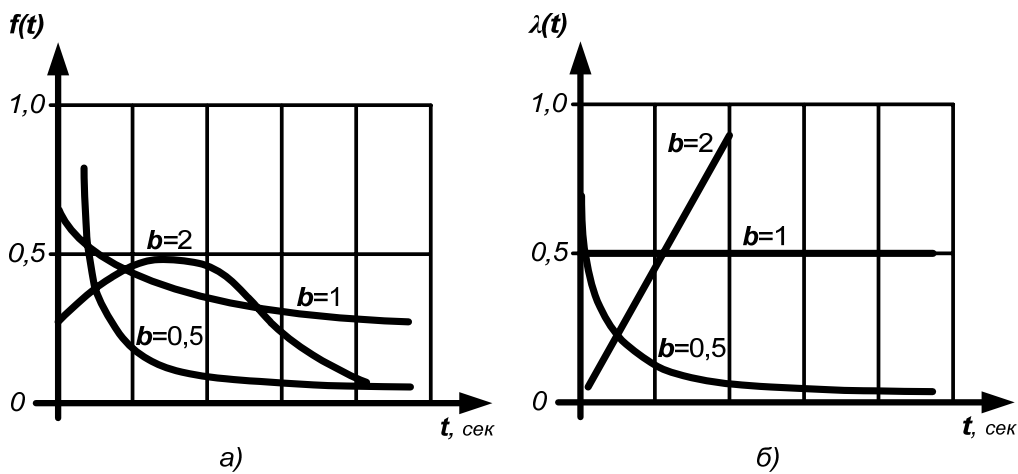


Рис. 1 – Залежності розподілу Вейбулла-Гнєденко: а) – щільності імовірності відмов; б) – інтенсивності відмов

Імовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-t^2/2s^2}, \quad (4)$$

де  $s$  – параметр розподілу.

Щільність імовірності відмов (рис. 2)

$$f(t) = \left( \frac{t}{s^2} \right) e^{-t^2/2s^2}. \quad (5)$$

Інтенсивність відмов (рис. 2)

$$\lambda(t) = \frac{t}{s^2}. \quad (6)$$

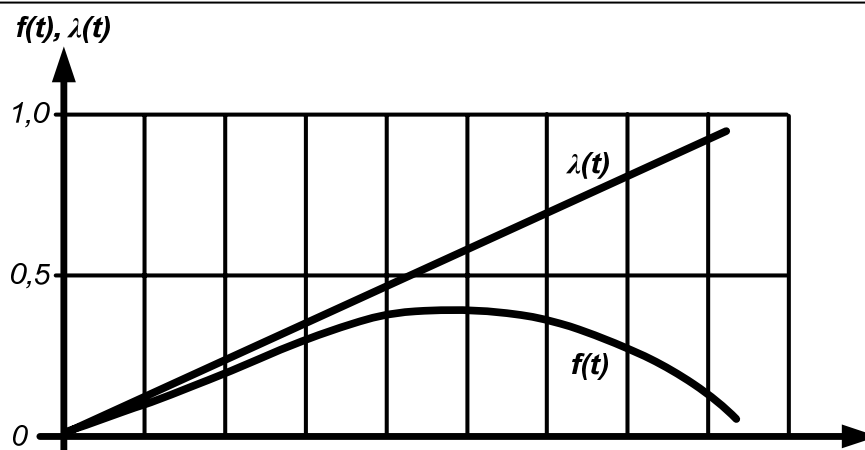


Рис. 2 – Залежності інтенсивності відмов і щільності імовірності відмов розподілу Релея

Співвідношення (1)-(6) та аналітичні залежності на рис. 1 і 2 підтверджують зростання інтенсивності відмов ТЗРРК по мірі виробітку її ресурсу. Отже, чим більше технічний засіб відпрацював, тим частіше слід проводити його метрологічне обстеження з метою визначення придатності до подальшого застосування, оскільки саме проведення періодичних контрольних перевірок параметрів ТЗРРК сприяє визначенню їх технічного стану (справності чи несправності). Якщо ТЗРРК за результатами метрологічного обстеження визнається непрацездатним, то за допомогою ремонту або регулювання він доводиться до справного стану. Тому можна стверджувати, що проведення метрологічного обстеження ТЗРРК підвищує вірогідність того, що перевірений зразок буде справним протягом часу до наступного обстеження.

**Висновки.** Основним методом підтримки технічно справного стану ТЗРРК на теперішній час є їх метрологічне обстеження, що здійснюється через певні інтервали часу. Визначення періодичності метрологічного обстеження може бути отримано або за результатами експериментального дослідження або шляхом застосування відповідних методів моделювання досліджуваних процесів, зокрема імітаційного моделювання [8].

Технічні засоби радіаційної розвідки та контролю для оснащення системи моніторингу НС потребують подальшого удосконалення (модифікації) з мінімальними витратами на її проведення в координатах «витрати – потрібний рівень імовірності безвідмовної роботи».

Розроблені рекомендації щодо методичного забезпечення метрологічного обстеження технічних засобів радіаційного моніторингу НС для продовження їх технічного ресурсу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Положення про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру: Постанова КМУ від 03.08.1998 року № 1198. – Офіц. видання – К.: КМУ, 1998. – (Нормативний документ Кабінету міністрів України. Положення).
2. Методика спостережень щодо оцінки радіаційної та хімічної обстановки: Наказ МНС України від 06.08.2002 року № 186. – Офіц. видання – К.: МНС, 2002. – (Нормативний документ Міністерства надзвичайних ситуацій України. Методика).
3. Положення про моніторинг потенційно небезпечних об'єктів: Наказ МНС України від 06.11.2003 року № 425. – Офіц. видання – К.: МНС, 2003. – (Нормативний документ Міністерства надзвичайних ситуацій України. Положення).
4. Абрамов Ю.О. Моніторинг надзвичайних ситуацій: Підручник / Ю.О. Абрамов, Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін та ін. – Х.: АЦЗУ, 2005. – 530 с.
5. Попов І.І. Розробка мобільних технічних засобів моніторингу надзвичайних ситуацій: Підсумковий звіт науково-дослідної роботи / І.І. Попов, В.В. Барбашин, Г.В. Фесенко, І.О. Толкунов та ін. – Х.: УЦЗУ, 2008. – 75 с.
6. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологічне забезпечення. Основні положення: ДСТУ 2682-94. – К.: Держстандарт України, 1994. – 16 с. – (Національні стандарти України).
7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные аварии и катастрофы. Нормируемые метрологические и точностные характеристики средств контроля и испытаний в составе сложных технических систем. Формы и процедуры их метрологического обслуживания: ГОСТ 22.2.05-97. – М.: Стандарт СССР, 1997. – 28 с.
8. Богданов Г.П. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др.; под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.



Барбашин В.В., Попов И.И, Толкунов И.А.

**Методическое обеспечение метрологического обследования технических средств радиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций**

С учетом анализа современного состояния технических средств радиационной разведки и контроля, разработаны рекомендации, касающиеся качественного метрологического обеспечения при продлении их технического ресурса с поддержанием необходимого уровня достоверности измерительной информации о радиационных параметрах чрезвычайных ситуаций

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, система мониторинга ЧС, радиоэкологический мониторинг, техническое средство радиационной разведки и контроля, метрологическое обеспечение

Barbashin V.V., Popov I.I., Tolkunov I.A.

**Methodical providing of metrology inspection of hardwares of the radiation monitoring of extraordinary situations**

Taking into account the analysis of the present state of hardwares of radiation secret service and control, recommendations, touching the high-quality metrology providing at the extension of their technical resource with maintenance of necessary level of reliability of measuring information about the radiation parameters of extraordinary situations, are developed

**Key words:** extraordinary situation, system of monitoring of extraordinary situations, radiation and ecological monitoring, hardware of radiation secret service and control, metrology providing

УДК 614.8

*Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ,  
Говаленков С.С., науч. сотр., НУГЗУ,  
Михайлюк А.А., канд. техн. наук, ст. научн. сотр., НУГЗУ*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСИИ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫБРОСА ОПАСНОГО ХИМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ВТОРИЧНОГО ОБЛАКА**

Определена дисперсия оценки интенсивности выброса опасного химического вещества в атмосферу, получаемая на основании серии замеров концентрации, проводимых на этапе разведки

**Ключевые слова:** распространение вторичного облака, оценка интенсивности выброса, дисперсия оценки

**Постановка проблемы.** При ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом опасных химических веществ в атмосферу, важной задачей является определение необходимых средств индивидуальной защиты личного состава, работающего в эпицентре аварии, определение зон, из которых необходимо проводить эвакуацию населения и технического персонала. Для этого необходимо располагать как параметрами состояния атмосферы, так и параметрами аварии, в частности, интенсивностью выброса вещества.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах [1, 3] определены зоны безопасного размещения сил средств при ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера, сопровождающихся выбросом опасных химических веществ в атмосферу, а также средства индивидуальной защиты личного состава, работающего непосредственно в зоне аварии. При этом интенсивность выброса вещества предполагается известной. В [2] предложено методом наименьших квадратов оценивать интенсивность выброса на основании замеров концентрации в различных точках местности и в различные моменты времени. Но свойства получаемой оценки, в частности, ее дисперсия, остаются невыясненными.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является определение дисперсии оценки интенсивности выброса опасного

химического вещества при распространении вторичного облака, получаемой на основании серии замеров концентраций.

Математическое ожидание концентрации опасного химического вещества  $\bar{q}$  в точке  $(x, y, z)$  в момент времени  $t$  описывается выражением

$$\bar{q}(x, y, z, t) = E \cdot F(x, y, z, t), \quad (1)$$

где  $E$  – интенсивность выброса;  $F(x, y, z, t)$  – выражение, зависящее от состояния атмосферы, направления и скорости ветра.

Будем полагать, что наблюдаемые значения концентрации  $q_i$  представляют собой сумму выражения (1) и случайной ошибки  $\varepsilon_i$

$$q_i = E \cdot F_i + \varepsilon_i, \quad (2)$$

где ошибки  $\varepsilon_i$  некоррелированы и имеют нулевое математическое ожидание

$$M\varepsilon_i = 0, \quad M\varepsilon_i\varepsilon_j = 0, \quad i \neq j, \quad (3)$$

Построим оценку интенсивности выброса  $E$  из условия минимума дисперсии ошибки  $\varepsilon$

$$D\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - E \cdot F_i)^2 \rightarrow \min_E; \quad (4)$$

$$\tilde{E} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i^2}, \quad (5)$$

где  $n$  – количество наблюдений;  $F_i$  – расчетное значение величины  $F(x_i, y_i, z_i, t_i)$ ;  $\tilde{E}$  – оценка интенсивности выброса. В выражении (4) стоит множитель  $1/n$ , а не  $1/(n-1)$ , т.к. математическое ожидание ошибки было принято нулевым, а не оценивалось на

Определение дисперсии оценки интенсивности выброса опасного химического вещества при распространении вторичного облака

основании выборки, т.е. количество степеней свободы осталось равным  $n$ . Отметим, что выражение (5) совпадает с оценкой, предложенной в [2].

Полученная оценка (5) будет несмещенной ( $M$  – оператор математического ожидания)

$$M\tilde{E} = M \frac{\sum_{i=1}^n q_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i^2} = M \frac{\sum_{i=1}^n (E \cdot F_i + \varepsilon_i) F_i}{\sum_{i=1}^n F_i^2} = E \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2}{\sum_{i=1}^n F_i^2} = E, \quad (6)$$

Определим теперь дисперсию оценки

$$D\tilde{E} = M(\tilde{E} - E)^2. \quad (7)$$

Подставляя в выражение (7) оценку (5), получим

$$\begin{aligned} D\tilde{E} &= M \left( \frac{\sum_{i=1}^n q_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i^2} - E \right)^2 = \\ &= M \left( \frac{\sum_{i=1}^n q_i F_i - E \sum_{i=1}^n F_i^2}{\sum_{i=1}^n F_i^2} \right)^2 = M \left( \frac{\sum_{i=1}^n F_i (q_i - E \cdot F_i)}{\sum_{i=1}^n F_i^2} \right)^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Поскольку  $\varepsilon_i = q_i - E \cdot F_i$ , то выражение (8) преобразуется к виду

$$D\tilde{E} = M \left( \frac{\sum_{i=1}^n F_i \varepsilon_i}{\sum_{i=1}^n F_i^2} \right)^2 = \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 M \varepsilon_i^2}{\left( \sum_{i=1}^n F_i^2 \right)^2} = D\varepsilon \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2}{\left( \sum_{i=1}^n F_i^2 \right)^2} = \frac{D\varepsilon}{\sum_{i=1}^n F_i^2}, \quad (9)$$

где учтены свойства ошибок (3). Подставляя (4) в (9), запишем

$$D\tilde{E} = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - E \cdot F_i)^2}{n \sum_{i=1}^n F_i^2}. \quad (10)$$

Подставляя теперь вместо  $E$  ее оценку (5), получим окончательное выражение для дисперсии оценки интенсивности выброса опасного химического вещества

$$D\tilde{E} = \frac{1}{n \sum_{k=1}^n F_k^2} \sum_{k=1}^n \left( q_k - F_k \frac{\sum_{i=1}^n q_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i^2} \right)^2. \quad (11)$$

Если дополнительно предположить нормальность распределения ошибок  $\varepsilon_i$ , то из (5) будет следовать, что оценка интенсивности  $\tilde{E}$  также распределена нормально. Знание ее дисперсии  $D\tilde{E}$  позволяет построить доверительный интервал для истинного значения интенсивности выброса вещества и тем самым ответить на вопрос о количестве необходимых наблюдений для минимизации случайной составляющей погрешности оценки.

**Выводы.** Определена дисперсия оценки интенсивности выброса опасного химического вещества при распространении вторичного облака, получаемая на основании серии измерений концентрации. Контроль дисперсии оценки на этапе проведения разведки позволяет определить необходимое количество замеров концентрации, обеспечивающее построение оценки интенсивности выброса с заданным уровнем точности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Басманов А.Е. Определение безопасных зон при ликвидации аварии, связанной с выбросом опасных химических веществ. / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2009. – № 10. – С. 44-51.
2. Говаленков С.С. Оценка интенсивности истечения опасных химических веществ из источника выброса / С.С. Говаленков,

А.Е. Басманов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2010. – Вип. 11. – С. 39-44.

3. 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.

Басманов О.Є., Говаленков С.С., Михайлюк А.О.

**Визначення дисперсії оцінки інтенсивності викиду небезпечної хімічної речовини при розповсюдженні вторинної хмари**

Визначено дисперсію оцінки інтенсивності викиду небезпечної хімічної речовини в атмосферу, яка отримана на підставі серії замірів концентрації, що проводяться на етапі розвідки

**Ключові слова:** розповсюдження вторинної хмари, оцінка інтенсивності викиду, дисперсія оцінки

Basmanov A.E., Govalenkov S.S., Mykhailiuk A.O.

**Determining of intensity estimation variance for secondary hazardous chemical cloud spread**

Intensity estimation variance for secondary hazardous chemical cloud spread is determining. It based on series of concentration measurements which were obtained during the exploration

**Key words:** secondary cloud spreading, estimation of intensity of emission, estimation variance

*Вамболь С.А., канд. техн. наук, зав. каф., НУГЗУ,  
Скоб Ю.А., канд. техн. наук, доц., НАКУ «ХАИ»,  
Угрюмов М.Л., д-р техн. наук, проф., НУГЗУ*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВА  
МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ  
В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**  
(представлено д-ром техн. наук Соловьем В.В.)

Рассмотрена математическая модель процесса взрыва облака метановоздушной смеси и угольной пыли в подземных горных выработках угольных шахт. Проведен анализ способа защиты горных выработок от разрушительного воздействия взрывов путем создания водяных завес для снижения концентрации угольной пыли в воздухе.

**Ключевые слова:** математическая модель, метановоздушная смесь, угольная пыль, водяная завеса

**Постановка проблемы.** Взрывы газа и угольной пыли относятся к авариям с наиболее тяжкими последствиями в социальном и экономическом плане. Взрыв метановоздушной смеси и угольной пыли в шахте, сопровождающийся формированием и распространением по сети горных выработок ударных волн – очень опасный вид подземной аварии. Угрожая жизни и здоровью горнорабочих, взрыв всегда приводит к разрушению выработок и повреждению расположенного в них горного оборудования. При этом социальные, материальные и финансовые потери могут достигать катастрофических размеров.

Для обеспечения безопасности условий труда рабочих на угольных шахтах необходимо эффективно производить гашение угольной пыли, так как пыль, находясь во взвешенном состоянии, в смеси с метаном, образует взрывчатую систему. Гашение угольной пыли в воздухе забоя может осуществляться: предварительным нагнетанием воды в пласт для его увлажнения, орошением забоя водой с подачей их, по возможности, непосредственно в места отбойки угля, а также дополнительно, путем создания заградительных завес. Таким образом, актуальной является техническая проблема повышение эффективности способов гашения угольной пы-

ли путем снижения энергетических затрат на создание заградительных завес в сети горных выработок.

В настоящей работе рассмотрена математическая модель процесса взрыва облака метано-воздушной смеси и угольной пыли в подземных горных выработках угольных шахт. Проведен анализ способа защиты горных выработок от разрушительного воздействия взрывов путем создания водяных завес для снижения концентрации угольной пыли в воздухе.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Взрыв взвешенной в воздухе угольной пыли может произойти от электрической искры, от раскаленных частиц взрывчатых веществ, вылетающих из шпура, и от других источников воспламенения [1]. Существенное влияние на взрыв угольной пыли оказывает присутствие метана  $\text{CH}_4$ . Так, при отсутствии метана угольная пыль взрывается при содержании ее в воздухе не менее  $30\text{-}40 \text{ г/м}^3$ , а при наличии  $\text{CH}_4$  2 % – опасная концентрация пыли понижается до  $10 \text{ г/м}^3$  и при наличии метана 3 % – эта концентрация еще понижается до  $5 \text{ г/м}^3$ . Для предупреждения взрыва достаточно снизить концентрацию пыли до  $5 \text{ г/м}^3$ , а с учетом запаса – до  $1 \text{ г/м}^3$  [2].

Одним из наиболее эффективных методов предотвращения чрезвычайной ситуации является создание водяных завес для снижения концентрации угольной пыли. При расходе воды до 35 л на каждую тонну добываемого угля, давлении воды у оросителей до 10-15 атмосфер и рациональном расположении оросителей эффективность способов гашения пыли предварительным нагнетанием и орошением достигает 95%.

В качестве пылеподавляющих устройств используются обычные распылители. При этом необходимо учитывать, что в процессе создания водяной завесы размер капли предназначенной для захвата угольно-пылевой частицы варьируется от 50 – 250 мкм, что существенно влияет на захват и осаждение угольной пыли.

В отличие от обычных распылителей, атомайзеры способны создавать мелкодисперсную водовоздушную смесь с витающими каплями, характерный размер которых составляет порядка 20-40 мкм [3-4]. Натурные испытания с отдельными экспериментальными образцами атомайзеров показали не только способность создавать частицы заданного размера, но и существенно снижать расход жидкости при создании водовоздушной завесы. Создание и удержание водовоздушного облака гораздо эффективней, чем при обычных распылителях.



**Постановка задачі и ее решение.** Необходимо определить эффективность водяных завес как средства влияния на процесс распространения ударных волн и высокотемпературной смеси продуктов сгорания при взрыве облака метано-воздушной смеси и угольной пыли в подземных горных выработках угольных шахт на основе математической модели рассматриваемого процесса.

Рудничная пыль представляет собой твердое вещество полезного ископаемого или породы в состоянии тонкого раздробления (измельчения). Находясь во взвешенном состоянии в воздухе, пыль образует дисперсную систему (аэрозоль). Частички пыли составляют дисперсную фазу, воздух является дисперсионной средой.

**Учет распыления капель жидкости (частиц пыли твердых фракций).** Качество распыла, как известно, характеризуется интегральными и дифференциальными кривыми распределения объемов (числа, поверхности) капель по их диаметрам и различными понятиями среднего диаметра капель. В большинстве случаев используемая в технике распыленная жидкость состоит из капель различных размеров, т.е. имеет полидисперсный характер. Для описания кривых распределения капель по размерам предложены различные зависимости. Наибольшее распространение нашло уравнение Розина-Раммлера [5]

$$P = 1 - \exp\left(-\left(d/d_+\right)^n\right).$$

Здесь  $P$  – объемная доля капель, диаметр которых меньше  $d$ ;  $d_+$  – характерный размер или средний диаметр, соответствующий определенному значению  $P = 0.3679$ ;  $n$  – константа распределения, характеризующая степень неоднородности распыла (обычно  $2 \leq n \leq 4$ ). Тогда плотность распределения капель по диаметрам примет вид

$$\rho(d/d_+) = n \left(\frac{d}{d_+}\right)^{n-1} \exp\left(-\left(\frac{d}{d_+}\right)^n\right).$$

**Учет влияния аэродинамического сопротивления капель жидкости (частиц пыли твердых фракций) на пара-**

**метры движения газовой смеси.** Определим силу сопротивления, действующую на каплю (частицу пыли)

$$\vec{F}_{mp} = -C_d \frac{\rho q^2}{2} \sigma_k \frac{\vec{q}}{|\vec{q}|},$$

где  $\sigma_k = \frac{\pi d^2}{4}$  – площадь поверхности,  $C_d$  – коэффициент аэродинамического сопротивления,  $q$  – скорость потока. Если капля сохраняет сферическую форму, то для определения  $C_d$  можно рекомендовать соотношение [6]

$$C_d = 24 / \text{Re} + 4.4 / \sqrt{\text{Re}} + 0.35,$$

где  $\text{Re} = \rho q d / \mu$  – число Рейнольдса. Тогда осредненная по диаметрам капель сила аэродинамического сопротивления для выбранного контрольного объема определяется по формуле

$$\vec{F}_{mp} = N_k \sum_{i=1}^I \rho(d_i) \vec{F}_{mp}(d_i),$$

где  $N_k = \frac{G_{\text{H}_2\text{O}} \tau}{m \rho_{\text{H}_2\text{O}} \sum_{i=1}^I \rho(d_i) V_{ki}}$  – количество капель в контрольном объ-

еме,  $G_{\text{H}_2\text{O}}$  – общий расход воды (предполагается, что вода непрерывно подается в расчетную область),  $\tau$  – шаг по времени,  $m$  – количество контрольных объемов в области с источниками (капли, частиц пыли твердых фракций),  $V_{ki} = (\pi/6)d_i^3$  – объем капли.

Количество частиц твердых фракций в контрольном объеме определяется по формуле

$$N_k = \frac{\rho_{C+} \Delta V}{\rho_C \sum_{i=1}^I \rho(d_i) V_{ki}},$$

где  $\rho_{C+}$  – концентрация пыли во взвешенном состоянии,  $\Delta V$  – контрольный объем,  $\rho_C$  – плотность вещества твердой фракции.

Учет влияния аэродинамического сопротивления капель (частиц пыли твердых фракций) на параметры движения газовой смеси осуществлялся посредством введения в уравнения движения осредненной объемной силы сопротивления:  $\vec{f}_{mp} = \frac{1}{\rho} \vec{F}_{mp} / \Delta V$ .

При этом предполагалось, что сумма удельной мощности сил сопротивления и удельной диссипируемой мощности равна нулю:  $(\rho \vec{f}_{mp}, \vec{q}) + N_d = 0$ .

**Учет влияния тепловыделения вследствие фазового перехода при кипении капель жидкости (химической реакции горения частиц пыли твердых фракций) на параметры движения газовой смеси.** Определим интенсивность изменения плотности примеси вследствие фазового перехода при кипении капель воды

$$\rho_{H_2O_s} = \frac{G_{H_2O}}{m\Delta V},$$

а интенсивность изменения плотности примеси вследствие химической реакции горения

$$\rho_{C_s} = \frac{G_C}{m\Delta V},$$

где  $G_C$  – общее изменение в единицу времени массы частиц пыли твердых фракций вследствие химической реакции горения.

Будем исходить из того, что известен закон, согласно которому время горения одной частицы зависит от начальной массы этой частицы

$$t_i = kd_i^2 = k \left( \frac{6M_{0i}}{\pi\rho_C} \right)^{\frac{2}{3}},$$

где  $k=6.14 \cdot 10^6$ ,  $M_{0i} = \rho_C V_{ki}$ . Тогда согласно известным из математического анализа и теории обыкновенных дифференциальных уравнений преобразованиям может быть получен закон определе-

ния массы частицы в произвольный момент времени химической реакции горения

$$M_i = [M_{0i}^{\frac{2}{3}} - 1.06 \cdot 10^{-7} \rho_C^{\frac{2}{3}} \cdot t]^{\frac{3}{2}},$$

а также зависимость изменение в единицу времени массы частиц пыли твердых фракций вследствие химической реакции горения

$$G_{Ci} = 1.6 \cdot 10^{-7} \rho_C^{\frac{2}{3}} (M_{0i}^{\frac{2}{3}} - 1.06 \cdot 10^{-7} \rho_C^{\frac{2}{3}} \cdot t)^{\frac{1}{2}},$$

где  $t$  – текущее время.

Общее изменение в единицу времени массы частиц пыли твердых фракций вследствие химической реакции горения может быть определено по формуле

$$G_C = m N_k \sum_{i=1}^I \rho(d_i) G_{Ci}.$$

Учет влияния фазового перехода при кипении капель воды (химической реакции горения частиц пыли твердых фракций) на параметры движения газовой смеси осуществлялся посредством введения в уравнение энергии интенсивностей тепловыделения в контрольном объеме

$$e_{H_2O_s} = -r(P) \rho_{H_2O_s}, \quad e_{C_s} = \xi H_{uC} \rho_{C_s},$$

где  $r(P)$  – удельная теплота парообразования,  $\xi$  – коэффициент полноты сгорания,  $H_{uC}$  – низшая теплота сгорания.

**Дополнительные данные к учету влияния фазового перехода при кипении капель воды (химической реакции горения частиц угольной пыли) на параметры движения газовой смеси.** Распределение капель воды по размерам –  $d \in [10, 150] \cdot 10^{-6}$  м,  $d_+ = 75 \cdot 10^{-6}$  м. Распределение частиц угольной пыли по размерам –  $d \in [10, 750] \cdot 10^{-6}$  м,  $d_+ = 75 \cdot 10^{-6}$  м. Плотность угля  $\rho_C = 1.5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Низшая теплота сгорания:

– каменный уголь:  $H_{uC} = 27 \cdot 10^6$  Дж/кг;

– антрацит:  $H_{uC} = 28 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Температура возгорания угольной пыли (антрацита):  $T = 500^\circ\text{C}$ . Концентрация угольной пыли во взвешенном состоянии –  $\rho_{C+} \leq 0.4$  кг/м<sup>3</sup>.

**Результаты исследования водяных завес как средства снижения последствий взрывов метано-воздушной смеси и угольной пыли в подземных горных выработках угольных шахт.** Компьютерное моделирование рассматриваемых процессов осуществлялось с использованием программного комплекса FIRE<sup>®</sup> [7], разработанного авторами, реализующего предложенную математическую модель. Программный комплекс FIRE<sup>®</sup> позволяет вычислять плотность, скорость, давление, температуру смеси, концентрации компонентов смеси (топлива, воздуха, продуктов сгорания), скорость тепловыделения в пределах каждого контрольного объема смеси на каждом дискретном временном шаге.

Математическая модель газодинамического процесса взрыва газовых облаков была верифицирована сопоставлением результатов численного моделирования с экспериментальными данными взрывов облака стехиометрической пропано-воздушной смеси, а также водородо-воздушной смеси в атмосфере [8-10].

Проведено компьютерное моделирование процесса взрыва облака метано-воздушной смеси и угольной пыли в штреке угольной шахты. Расчетная область представлена на рис. 1. Вычислительный эксперимент проводился при следующих условиях: длина штрека  $L_z = 31.2$  м, высота штрека была равна  $L_y = 2.2$  м, скорость ветра на входе составляла  $q = 6$  м/с, облако метано-воздушной смеси располагалось на расстоянии  $Z_1 = 10.1$  м от входа, радиус облака составлял  $R_1 = 1.6$  м (см. рис. 1.а). На расстоянии  $Z_2 = 13$  м располагалась зона, заполненная мелкодисперсной фазой – частицами угольной пыли либо каплями воды (в зависимости от рассматриваемого сценария расчета). Предполагалось, что в случае наличия в этой зоне капель воды, обеспечивается полное осаждение угольной пыли. На расстоянии  $Z_3 = 14.9$  м располагалась контрольная точка  $P$ , в которой осуществлялись изменения избыточного давления, температуры газовой смеси. Форма поперечного сечения штрека представлена на рис. 1.б, здесь  $L_x = 3.2$  м,  $Y_1 = 0.6$  м,  $R_2 = 1.6$  м.

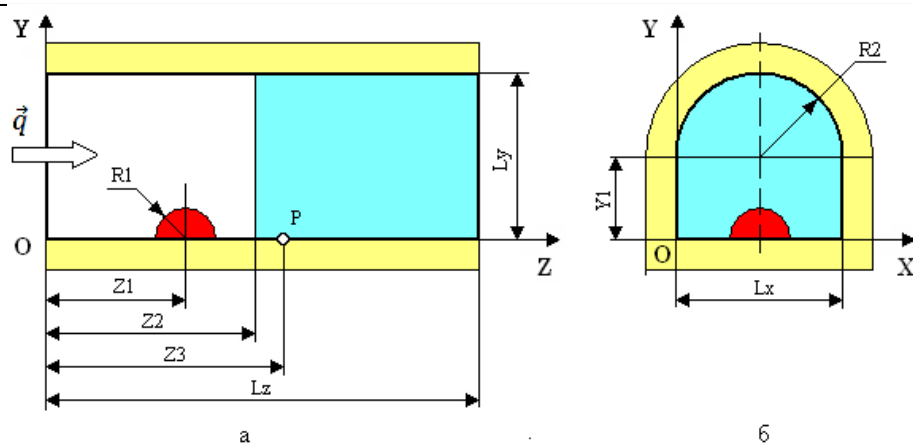


Рис. 1 – Схема расчетной области

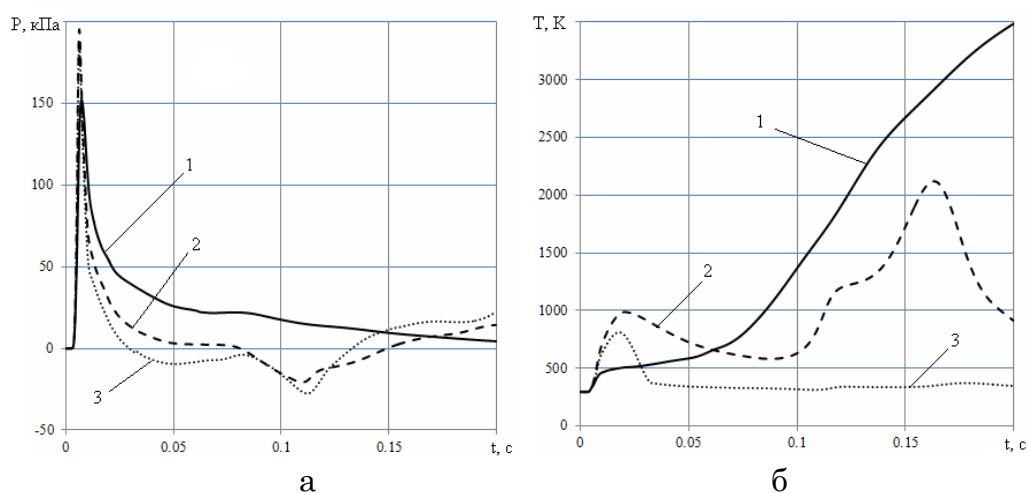


Рис. 2 – Изменение избыточного давления (а) и температуры в контрольной точке: 1 – при наличии угольной пыли в воздухе; 2 – воздух без дисперсных фаз; 3 – при наличии водяной завесы в воздухе

Рассматривались три возможных сценария развития событий, связанных с процессом взрыва облака метано-воздушной смеси в штреке. В начальный момент времени в результате взрыва метано-воздушной смеси формировалось облако продуктов сгорания с высоким давлением и температурой. Далее реализовался процесс рассеяния продуктов сгорания, сопровождающийся конвективным переносом и турбулентным рассеянием продуктов сгорания вдоль штрека. Согласно принятым расчетным схемам в первом случае (сценарий 1) рассматривалось рассеяние продуктов сгорания вдоль штрека при наличии угольной пыли в воздухе, во втором случае (сценарий 2) – без наличия дисперсных фаз, в третьем случае (сценарий 3) – при наличии капель воды (водяной завесы) в воздухе.

Как следует из анализа результатов расчетов, присутствие в воздухе угольной пыли приводит к росту избыточного давления и температуры в штреке, вызванного возгоранием этой фазы. Наличие капель воды обеспечивает не только полное осаждение угольной пыли, но и дополнительное снижение избыточного давления и температуры за счет перехода жидкой фазы в парообразное состояние при прохождении вдоль штрека высокотемпературного облака продуктов сгорания метано-воздушной смеси.

**Выводы.** Разработана математическая модель процесса взрыва облака метано-воздушной смеси и угольной пыли в подземных горных выработках угольных шахт. Проведен анализ способа защиты горных выработок от разрушительного воздействия взрывов путем создания водяных завес для снижения концентрации угольной пыли в воздухе. Взрыво-локализирующее действие водяных завес состоит в создании гасящей среды на пути распространяющегося по горной выработке фронта пламени от взрыва метано-воздушной смеси. Эффективность водяных завес снижается при гашении взрывов только метано-воздушной смеси (т.е. без участия во взрыве угольной пыли).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шохин В. Н. Гравитационные методы обогащения / В. Н. Шохин, А. Г. Лопатин. – М.: Недра, 1993. – 313 с.
2. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т. I. Обогащительные процессы и аппараты: учебник для вузов. – М.: Изд-во Московск. гос. горн, ун-та, 2001.– 472 с.
3. Ляшенко А.М. Физические аспекты пылеподавления и распылительные устройства для их реализации / А.М. Ляшенко, Н.В.Нечипорук, Н.В. Кобрина, С.А. Вамболь // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х: НАКУ «ХАИ», 2010. – Вып. № 48. – С. 234-239.
4. Кобрина Н.В. Моделирование процесса пылеподавления при погрузке, разгрузке и транспортировке сыпучих материалов / Н.В.Кобрина , В.Е. Костюк , В.Н. Кобрин, С.А. Вамболь / Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х: НАКУ «ХАИ», 2010. – Вып. № 48. – С. 248-252.

5. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкостей. – М.: Химия, 1979. – 216 с.
6. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. Т.1. – М.: Наука, 1987. – 384 с.
7. Комп'ютерна програма „Комп'ютерна інтерактивна система інженерного аналізу та прогнозу руху хімічно реагуючих газо-повітряних сумішей в задачах промислової аеродинаміки та екології атмосфери «FIRE»”: Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 30079 / Скоб Ю.А., Угрюмов М.Л., Коробчинський К.П. (Україна). – Дата реєстрації 28.08.2009.
8. Скоб Ю.А. Численное моделирование взрывов газо-воздушных смесей в атмосфере // Авиационно-космическая техника и технология.– 2007.– №3(39).– С. 72-78.
9. Computational Modeling of Pressure Effects from Hydrogen Explosions / E.A. Granovskiy, V.A. Lyfar, Yu.A. Skob, M.L. Ugrumov // Abstracts Book and CD-ROM Proceedings of the 2nd International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 15 p. (ICHS Paper No. 1.3.52)
10. Численная оценка последствий взрыва водорода в атмосфере / К.П. Коробчинский, Ю.А. Скоб, М.Л. Угрюмов, В.В. Шенцов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 1 (48). – С. 79 – 88.

Вамболь С.О., Скоб Ю.А., Угрюмов М.Л.

**Математичне моделювання вибуху метаноповітряної суміші та вугільного пилу в підземних гірничих виробках вугільних шахт**

Розглянута математична модель процесу вибуху метано-повітряної суміші та вугільного пилу у підземних гірських виробок вугільних шахт. Проведено аналіз засобу захисту гірських виробок від руйнівної дії вибухів шляхом створення водяних завіс для зниження концентрації вугільного пилу у повітрі.

**Ключові слова:** математична модель, метано-повітряна суміш, вугільний пил, водяна завіса

Vambol S.A., Skob Ju.A., Ugrjumov M.L.

**Mathematical simulation of explosion of methane-air mixture and coal dust in underground coal mines**

A mathematical model of the explosion cloud of methane-air mixture and coal dust in underground coal mines. The analysis of the ways to protect the mines from the destructive effects of blasts through the creation of water curtains to reduce the concentration of coal dust in the air.

**Key words:** mathematical model, the methane-air mixture, coal dust, water curtain



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

## **ИМИТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЫБРОСА ОПАСНОГО ХИМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА МЕТОДОМ РЕКОНДЕНСАЦИИ РАСЧЕТАМИ РАЗНОГО УРОВНЯ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ**

(представлено д-ром техн. наук Бодянским Э.В.)

Показано, что время локализации типовой чрезвычайной ситуации спасателями в зависимости от уровня подготовленности меняется по экспоненциальному закону. При этом различие математических ожиданий времени локализации чрезвычайной ситуации, полученных путем имитационного на ЭВМ и физического моделирования, статистически незначимо.

**Ключевые слова:** имитационная оценка, локализация чрезвычайной ситуации, средства защиты, подготовленность, спасатели

**Постановка проблемы.** Эффективное проведение аварийно-спасательных работ (АСР) при ликвидации чрезвычайной ситуации с выбросом опасных химических веществ (ОХВ) требует разработки комплекса организационно-технических мероприятий, реализация которых обеспечит сокращение времени работ при ограничениях на людские и технические ресурсы, а также без снижения уровня безопасности спасателей. Учитывая то, что для обеспечения не только реальных АСР, но даже для проведения учений, связанных с ликвидацией последствий выброса ОХВ, требуются значительные материальные затраты, что возможны разнообразные способы проведения работ [1], и при этом конечные результаты существенно зависят от уровня подготовленности спасателей [2], одним из направлений обоснования практических рекомендаций является имитационное моделирование деятельности спасателей

**Анализ последних исследований и публикаций.** Опыт использования моделирования в пожарной охране для решения организационно-управленческих задач [3,4], в авиации и космонавтике [5], других сферах деятельности [6,7] подтвердил эффек-

тивность использования результатов моделирования деятельности специалистов, работающих в экстремальных ситуациях.

Однако в каждом случае проводился отдельный анализ того, что полученной моделью можно пользоваться. Так, в моделях группового поведения [6] вывод об их достоверности делают после того, как в итоговых результатах проявляются заявленные при создании моделей такие психологические качества как напряженность, спаянность, психосоциальные эффективность и направленность, моральные качества отдельных номеров боевого расчета. В [3] подбор итоговых моделей осуществляется по результатам статистического анализа результатов реального пожарно-оперативного обслуживания за достаточно продолжительный период с последующей оценкой их достоверности по, как правило, критерию Романовского. При этом полученные модели не реагируют на изменение технических средств или уровня подготовленности пожарных. Этот недостаток устранен в [4], однако объясняется в первую очередь тем, что рассматриваемая ситуация (боевое развертывание специального пожарного автомобиля) позволяла провести сравнение результатов имитационного и натурального экспериментов при всех рассмотренных исходных данных. Аналогичная ситуация имеет место и в [5]. В более сложных ситуациях, например в [7], проводится проверка попадания натуральных результатов, полученных в ходе тактико-специальных учений для отдельных событий рассматриваемого процесса (в данном случае проведения АСР на станциях метрополитена), в диапазон трех среднеквадратичных отклонений, от математического ожидания времени наступления этого события, полученного в результате имитационного моделирования. Т.е., фактически, доказана работоспособность модели.

Проведенный анализ показывает, что все рассмотренные ситуации не только характеризуются сложностью обоснования достоверности полученной имитационной оценки, но и, практически, неприменимы для анализа достоверности имитационной оценки результатов проведения АСР при ликвидации ЧС с выбросом ОХВ, поскольку даже практика подготовки спасателей (а не только их боевой работы, которая носит эпизодический характер) не позволяет проводить многочисленные натурные эксперименты.

**Постановка задачи и ее решение.** Исходя из этого, поставлена задача анализа результатов АСР при ликвидации ЧС с выбросом ОХВ, полученных как в результате имитационного, так

и в результате физического моделирования процесса локализации очага методом реконденсации.

Для этого, используя модель, описанную в [2], было проведено имитационное моделирование АСР спасателями, которые имеют разный уровень подготовленности. Полученные на ЭВМ результаты в обобщенном виде приведены в табл.1.

**Таблица 1 – Результаты имитационного моделирования локализации очага чрезвычайной ситуации методом реконденсации спасателями разного уровня подготовленности**

Попытка, $n$	1	2	3	4	5	6	7
$\bar{t}_{КСИЗ\ 1}, \text{ с}$	1123,21	819,96	719,84	583,93	552,96	528,97	517,55
$G_{КСИЗ\ 1}, \text{ с}$	167,53	93,21	81,6	66,2	59,1	57,63	49,44
$\bar{t}_{КСИЗ\ \text{ФП}}, \text{ с}$	926,71	681,89	556,74	490,56	475,32	463,35	456,43
$G_{КСИЗ\ \text{ФП}}, \text{ с}$	121,6	56,74	59,09	46,81	41,75	39,06	36,38

В качестве показателя уровня подготовленности выступало количество тренировочных попыток, которые они осуществили прежде, чем приступили к выполнению операций, составляющих рассматриваемый процесс (см. рис.2 в [2]). При каждом из семи рассмотренных уровней подготовленности было проведено по 100 имитационных итераций.

Полученные результаты имитационного моделирования показали (см. рис.1), что в ходе тренировок время локализации типовой чрезвычайной ситуации методом реконденсации спасателями 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)

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

где  $\bar{t}_{гран}$  - оценка математического ожидания, к которому приближается время локализации, с;  $\bar{t}_1$  - оценка математического ожидания времени локализации в первой попытке, с;  $\lambda$  - параметр экспоненциального распределения.

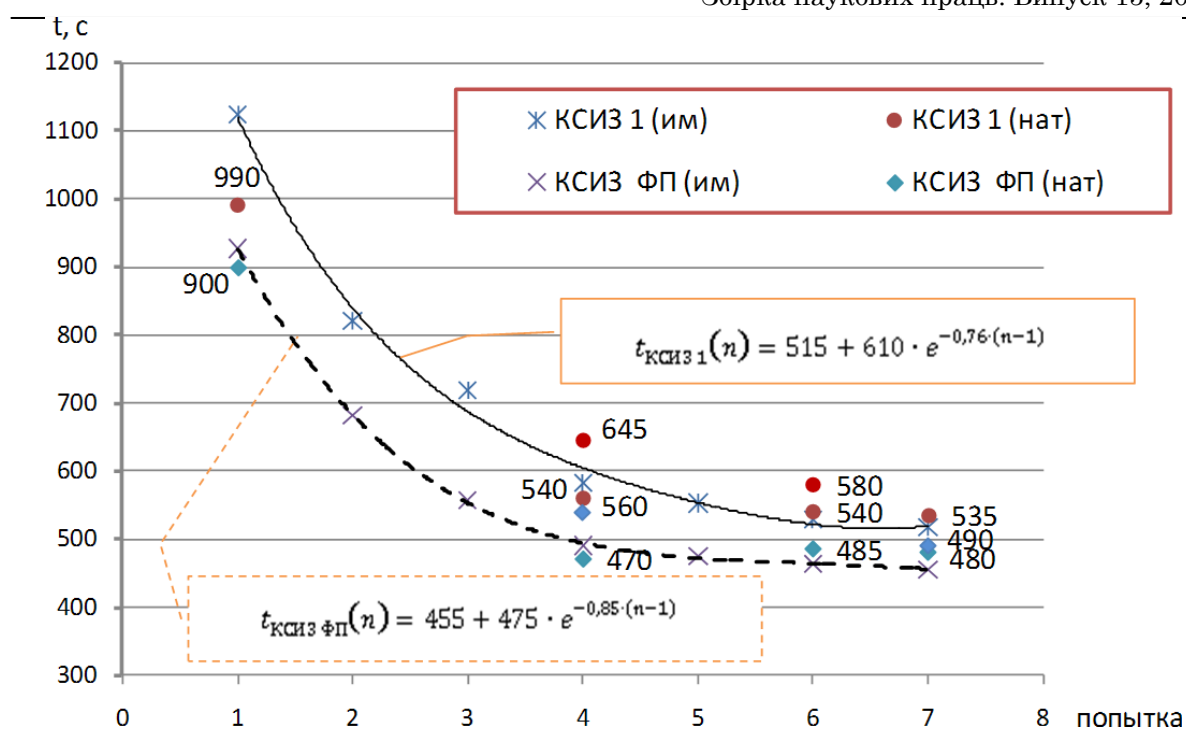


Рис. 1 – Залежність часу локалізації ЧС методом реконденсации від рівня підготовленості спасателів

Крім результатів імітаційного моделювання на рис.1 приведені також результати фізичного моделювання локалізації методом реконденсации, отримані після  $n$  тренувальних спроб у виконанні окремих операцій, що складають розглянутий процес [2]. Наявність натурних результатів дозволяє порівняти оцінки, отримані шляхом імітаційного моделювання, з оцінками, які були отримані шляхом фізичного моделювання. Для того щоб можна було порівняти результати, що стосуються різного рівня  $n$  підготовленості персоналу та різного оснащення спасателів (в КСИЗ першого типу та в КСИЗ з фільтруючим противогоздом), попередньо була виконана їх норміровка

$$x_{\text{КСИЗ1(ФП)}}(n) = \frac{t_{\text{КСИЗ1(ФП)}}(n) - t_{\min \text{КСИЗ1(ФП)}}(n)}{t_{\max \text{КСИЗ1(ФП)}}(n) - t_{\min \text{КСИЗ1(ФП)}}(n)}, \quad (2)$$

де  $t_{\text{КСИЗ1(ФП)}}(n)$  – оцінка часу виконання розглянутого процесу, отримана в результаті натурального або імітаційного експерименту, с;  $t_{\max \text{КСИЗ1(ФП)}}(n)$  – максимальна оцінка часу виконання розглянутого процесу, отримана в результаті

имитационного эксперимента, с;  $t_{\min КСИЗ1(ФП)}(n)$  – минимальная оценка времени выполнения рассматриваемого процесса, полученная в результате имитационного эксперимента, с.

После преобразования (2) кодированная оценка математического ожидания времени локализации по результатам имитационного моделирования равна  $\bar{x}(им) = 0,5$ , а кодированная оценка среднеквадратичного отклонения времени локализации по результатам имитационного моделирования, учитывая [1], –  $G_x(им) \approx 0,167$ . Кодированные оценки времени локализации по результатам натуральных экспериментов  $x_{нат}$  приведены в табл.2.

**Таблица 2 – Экспериментальные (натурные и имитационные) и кодированные оценки времени локализации очага ЧС методом реконденсации**

Эксперимент	$t_{нат}, с$	$x_{нат}$	$t_{\max им}, с$	$t_{\min им}, с$	$\bar{t}_{им}, с$
1	990	0,367	1625,80	620,61	1123, 21
2	560	0,440	782,52	385,34	583,93
3	635	0,628	782,52	385,34	583,93
4	540	0,532	701,85	356,10	528,97
5	560	0,590	701,85	356,10	528,97
6	535	0,559	655,88	369,21	517,55
7	900	0,463	1291,58	561,83	926,71
8	470	0,427	631,00	350,12	490,56
9	540	0,676	631,00	350,12	490,56
10	485	0,592	580,54	346,16	463,35
11	475	0,585	565,58	347,28	456,43
12	465	0,539	565,58	347,28	456,43

Для проверки эмпирического распределения  $\{x_{нат}\}$  на нормальность вначале были получены оценки его математического ожидания  $\bar{x}(нат) \approx 0,533$  и среднеквадратического отклонения  $G_x(нат) \approx 0,091$ . Поскольку все отклонения от среднего значения меньше  $\pm 3 \cdot G_x(нат)$

$$\left\langle \begin{array}{l} x_{\min нат} = 0,367 > 0,259 \\ x_{\max нат} = 0,676 < 0,808 \end{array} \right\rangle, \quad (3)$$

$2/3$  всех отклонений меньше  $\pm G_x(\text{нат}) \approx 0,091$ , и половина всех отклонений меньше  $\pm 0,657 \cdot G_x(\text{нат}) \approx 0,060$ , то можно [8] считать, что эмпирическое распределение  $\{x_{\text{нат}}\}$  является нормальным.

Это позволяет проверить, значимо ли различаются средние значения, полученные по двум независимым выборкам (по результатам имитационного  $\bar{x}(\text{им})$  моделирования на ЭВМ и натурального  $\bar{x}(\text{нат})$  эксперимента), используя  $t$ -критерий Стьюдента. В этом случае рассматривается гипотеза

$$H_0 : \bar{x}(\text{нат}) = \bar{x}(\text{им}) \quad (4)$$

и ее альтернатива

$$H_1 : \bar{x}(\text{нат}) \neq \bar{x}(\text{им}), \quad (5)$$

которая доказывает простое различие средних значений.

С целью выбора конкретной методики расчета  $t$ -критерия [8] вначале была проверена гипотеза о равенстве дисперсий имитационного и натурального экспериментов (гипотеза  $H_0 : G_x^2(\text{нат}) = G_x^2(\text{им})$  и ее альтернатива  $H_1 : G_x^2(\text{нат}) \neq G_x^2(\text{им})$ ). Поскольку рассчитанные значения  $F$ -критерия больше табличного

$$F_{\text{набл}} = \frac{G_x^2(\text{им})}{G_x^2(\text{нат})} = 3,32 > F_{\text{табл}} = 1,94, \quad (6)$$

полученного при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и числе степеней свободы

$$\nu_{\text{им}} = n_{\text{им}} - 1 = 699, \quad \nu_{\text{нат}} = n_{\text{нат}} - 1 = 11, \quad (7)$$

где  $n_{\text{им}} = 700$  – количество имитационных экспериментов на ЭВМ,  $n_{\text{нат}} = 12$  – количество натуральных экспериментов, принимается гипотеза  $H_1$ , т.е. дисперсии отличаются значимо.

Исходя из этого, стандартная ошибка разности  $S_{\text{им-нат}}$  и число степеней свободы  $\nu$  с учетом того, что выборки отличаются, при вычислении  $t$ -критерия рассчитываются [8] следующим образом

$$S_{им-нат} = \sqrt{\frac{G_{им}^2}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2}{n_{нат}}} = 0,027, \quad (4)$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{G_{им}^2}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2}{n_{нат}}\right)^2}{\frac{G_{им}^4}{n_{им}^2 \cdot (n_{им} - 1)} + \frac{G_{нат}^4}{n_{нат}^2 \cdot (n_{нат} - 1)}} = 12,26. \quad (5)$$

В результате

$$t_{набл} = \frac{|\bar{x}_{нат} - \bar{x}_{им}|}{S_{им-нат}} = 1,23 < t_{табл}(\alpha = 0,05) = 1,78, \quad (6)$$

т.е. значение  $t$ -критерия  $t_{набл}$  меньше критического значения  $t$ -критерия  $t_{табл}$  при заданном уровне значимости  $\alpha=0,05$  и числе степеней свободы  $\nu$ . Это говорит о том, что на уровне значимости  $\alpha$  (вероятность ошибки меньше 5%) можно принять гипотезу  $H_0$ . Следовательно, различие математических ожиданий времени локализации чрезвычайной ситуации методом реконденсации, полученных путем имитационного на ЭВМ и физического моделирования, статистически незначимо.

#### **Выводы:**

- Время локализации типовой чрезвычайной ситуации спасателями в зависимости от количества тренировочных попыток меняется по экспоненциальному закону независимо от того, были ли они одеты в КСИЗ 1 типа или в изолирующий костюм, оснащенный фильтрующим противогазом.

- Переход к представлению полученных экспериментальных (имитационных и натуральных) данных в кодированных переменных позволяет сравнить имитационные и натурные результаты, несмотря на существенную разность в их количестве.

- Для разработки практических рекомендаций, связанных с работой в комплексе средств индивидуальной защиты при ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасных химических веществ, могут использоваться результаты имитационного моделирования, поскольку они отличаются от результатов физического моделирования статистически незначимо.

## 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. Васильев М.В. Представление исходных данных для имитационного моделирования процесса ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасного химического вещества / М.В. Васильев, В.М. Стрелец // Проблемы надзвичайних ситуацій - № 14 – Харків, Фоліо, 2011 – С.
3. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. Учебник / Брушлинский Н.Н.– М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
4. Абрамов Ю.А. Имитационная оценка деятельности боевых расчетов пожарных автомобилей / Ю.А. Абрамов, В.М. Стрелец, В.Н. Чучковский // Эргономика на автомобильном транспорте. – Харьков, ХГАДТУ, 1997. – С. 92-95
5. Попович П.Р. Эргономическое обеспечение деятельности космонавтов / П.Р. Попович, А.И. Губинский, Г.М. Колесников – М.: Машиностроение, 1985.- 272 с.
6. Зигель А. Модели группового поведения в системе "человек-машина" / А. Зигель, Дж. Вольф – М.: Мир, 1976. - 356 с.
7. Стрелець В.М. Імітаційна оцінка ефективності пожежогасіння на станціях метрополітену / В.М. Стрелець, П.Ю. Бородич // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб.– К.: Техніка, 2004. – Вип. 55. - С. 229-239.

Стрелець В.М., Тригуб В.В., Васильев М.В.

**Імітаційна оцінка локалізації викиду небезпечної хімічної речовини методом реконденсації розрахунками різного рівня підготовленості**

Показано, що час локалізації типової надзвичайної ситуації рятувальниками в залежності від рівня підготовленості змінюється за експоненціальним законом. При цьому відмінність математичних очікувань часу локалізації надзвичайної ситуації, отриманих шляхом імітаційного на ЕОМ і фізичного моделювання, статистично незначуща.

**Ключові слова:** імітаційна оцінка, локалізація надзвичайної ситуації, засоби захисту, підготовленість, рятувальники



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**

It is shown that the time localization of the type of emergency rescue workers, depending on the level of preparedness varies exponentially. At the same time, the difference of the expectations of localization of an emergency, obtained by a computer simulation and physical modeling, not statistically significant.

**Key words:** simulation evaluation, the localization of an emergency, protection, preparedness, rescue

**УДК 666. 84**

*Дейнека В.В., канд. техн. наук, ст. преп., НУГЗУ*

### **СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ РАДИАЦИОННОГО ФОНА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ РАДИАЦИОННООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

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

Строительство сооружений, зданий, инженерных сетей и транспортных коммуникаций с заданными уровнями безопасности и надежности от негативного воздействия радиации диктует необходимость разработки вяжущих материалов со специальными свойствами, которые не обеспечиваются применением цементов общестроительного назначения. Проблема разработки средств защиты от радиации очень актуальна в наше время. С точки зрения обеспечения безопасности окружающей среды, населения, территории и объектов от выбросов радиоактивных веществ, наиболее интересны для изучения и внедрения цементы на основе четырехкомпонентной системы  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , содержащие, кроме ферритов и силикатов кальция, ферриты бария, которые по скорости нарастания прочности и конечной ее величины могут конкурировать со специальными конструктивными материалами. Применение этих цементов обеспечивает изделиям повышенный удельный вес, более высокий коэффициент массового поглощения гамма-излучений, повышенную стойкость к агрессивному действию сульфатной коррозии.

**Ключевые слова:** жесткое радиационное излучение, вяжущие материалы, сульфатная коррозия

**Постановка проблемы.** Постоянный технический прогресс связан с ростом числа объектов повышенной опасности, к одним из

---

Снижение уровня радиационного фона в рабочей зоне радиационноопасных объектов

которых относятся атомные электростанции, предприятия по изготовлению ядерного топлива, переработке и захоронению ядерных отходов, научно-исследовательские и другие учреждения, имеющие ядерные установки и стенды, транспортные ядерные энергетические установки, некоторые военные объекты. В свою очередь, это ведет к увеличению вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, поражением населения, территории и объектов от негативных последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера, а соответственно, необходимостью строительства сооружений, зданий, инженерных сетей и транспортных коммуникаций с заданными уровнями безопасности и надежности от негативного воздействия радиации [1, 2].

Кроме того, неизбежным следствием использования атомной энергии является образование радиоактивных отходов. Проблема обостряется по мере накопления радиоактивных отходов и физического старения инженерных сооружений, где хранятся как жидкие, так и твердые отходы.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Одним из перспективных направлений при строительстве отдельных хранилищ и противорадиационных укрытий, атомных электростанций, предприятий по изготовлению ядерного топлива, переработке и захоронению ядерных отходов является получение и использование вяжущих материалов, предназначенных для защиты от жесткого радиационного излучения, таких как цементы на основе составов, включающих ферриты бария. Эти цементы представляют особый интерес для специалистов в области технологии вяжущих веществ, как многокомпонентные оксидные системы, в которых присутствуют оксиды кальция и бария. Цементы, синтезированные на основе композиций таких систем, обладают специальными свойствами: повышенный удельный вес, стойкость к агрессивному воздействию сульфатной коррозии, способность ослаблять жесткое радиационное излучение и др. [3 - 5], что значительно увеличивает предпочтительность их применения в сравнении с существующими защитными материалами.

**Постановка задачи и ее решение.** Повышение техногенной безопасности за счет разработки и внедрения при строительстве потенциально опасных объектов, сооружений для переработки и захоронения ядерных отходов, зданий и инженерных сетей, других ответственных сооружений в промышленном и гражданском

строительстве, где требуется длительный срок службы покрытий, с заданными уровнями безопасности и надежности новых эффективных полифункциональных вяжущих материалов, способных одновременно выдерживать воздействие нескольких агрессивных факторов окружающей среды, не теряя при этом своих свойств, является актуальной.

При строительстве потенциально опасных объектов хорошо зарекомендовали себя цементы на основе силикатов и ферритов бария [6]. При нагревании такой цементный камень сохраняет плотную керамическую структуру, так как прерывается процесс перекристаллизации и сохраняется его высокая прочность. Этим, бариевые цементы резко отличаются от соответствующих кальциевых составов. Наилучшие защитные свойства бетонов от жесткого радиоактивного излучения были получены для составов из бариевого силикатного цемента с заполнителем из фракционированного клинкера того же состава.

Не менее острой остается проблема создания надежных контейнеров для захоронения и хранения радиоактивных отходов. В последнее время таким сооружениям отводят одну из ключевых ролей в многобарьерной системе защиты населения и окружающей среды от воздействия остаточного и вторичного ионизирующих излучений. Особенно это относится к низко- и среднеактивным отходам, захоронение которых осуществляется или планируется осуществлять в неглубокие подземные или специальные наземные хранилища. Использование композиционных материалов на основе бетона для изготовления контейнеров, предназначенных для длительного хранения и транспортирования радиоактивных отходов, позволяет решить следующие задачи:

- 1) добиться необходимой надежности контейнеров, то есть обеспечить достаточную продолжительность безопасного временного хранения радиоактивных отходов с возможностью последующего захоронения;
- 2) повысить радиационную и коррозионную стойкость;
- 3) обеспечить гарантии безопасности за счет заводского изготовления основного элемента хранилища (контейнера);
- 4) обеспечить механическую прочность;
- 5) обеспечить технологичность и низкую стоимость изготовления и эксплуатации контейнеров;
- 6) упростить конструкцию временных хранилищ.

С другой стороны, к материалам для изготовления контейнеров предъявляют достаточно жесткие требования к свойству ослаблять радиационное излучение, прочности, водо- и газонепроницаемости, долговечности [2, 7].

С этой точки зрения интерес представляет четырехкомпонентная система  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , которая включает в себя бинарные и тройные фазы, необходимые для производства барийсодержащих полифункциональных высокопрочных вяжущих материалов с широким спектром эксплуатационных свойств: радиационностойких, жаростойких, тампонажных, коррозионностойких и т.д. [8].

Проведенные термодинамические исследования по тетраэдрации системы  $\text{CaO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  с учетом всех стабильных фаз при температуре 1200 - 1600 К позволили выбрать область, оптимальную с точки зрения получения цементов специального назначения, ограниченную соединениями  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 - \text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 - \text{Ba}_2\text{SiO}_4$  [9]. Представленная область включает соединения, обладающие как высокой гидравлической активностью, так и высокими специальными защитными свойствами.

Для синтеза ферросиликатных кальций-бариевых цементов в качестве исходных сырьевых материалов использовались: углекислый барий технический (ГОСТ 2149 – 75); углекислый кальций марки ХЧ (ДСТУ 4530 – 96), оксид железа ЧДА (ДСТУ 6912 - 94), песок Нововодолажского месторождения.

Были получены цементы следующего химико-минералогического состава (табл. 1).

**Таблица 1 – Химический и минералогический состав синтезированных цементов сечения  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 - \text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 - \text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 - \text{Ba}_2\text{Ca}_3\text{Si}_4\text{O}_{16}$**

№ состава	Химический состав, мас. %				Фазовый состав, мас. %			
	CaO	SiO <sub>2</sub>	BaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> S	B <sub>2</sub> F	C <sub>2</sub> F	CBF <sub>2</sub>
1	8,2	9,8	63,4	18,6	60	20	20	-
2	4,1	13,1	73,6	9,3	80	10	10	-
3	4,1	11,4	71,7	12,6	70	20	10	-
4	16,5	3,28	43,0	37,2	20	40	40	-
5	2,1	9,8	69,2	18,9	20	60	-	20
6	1,0	8,2	71,0	19,7	50	40	-	10

Цемент обжигался в криптолової печі при 1523 К с ізотермічної витримкою при максимальній температурі обжигу 3 годин.

На основі синтезованих складів були виготовлені образці цементів з використанням методики малих образців Стрелкова М.І. [10].

Результати досліджень фізико-механічних властивостей отриманих цементів приведені в табл. 2.

**Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості цементів сечення  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 - \text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 - \text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 - \text{Ba}_2\text{Ca}_3\text{Si}_4\text{O}_{16}$**

№ складу	Вода/ Цемент	Терміни схваткування, год-хв		Границя міцності на стиснення, МПа			Коеф. радіаційної стійкості, см <sup>2</sup> /г	Коеф. сульфатної стійкості
		початок	кінець	3 днів	7 днів	28 днів		
1	0,17	2 – 00	3 – 35	10,1	16,0	22,0	236	1,30
2	0,17	0 – 15	1 – 30	16,3	20,6	27,5	287	1,20
3	0,19	2 – 40	3 – 50	24,5	30,4	42,2	265	1,31
4	0,20	1 – 55	3 – 20	25,0	38,0	52,0	277	1,31
5	0,19	2 – 40	3 – 50	16,3	22,0	27,4	246	1,28
6	0,21	3 – 55	4 – 35	10,2	18,3	23,4	254	1,20

В ході проведених досліджень було встановлено, що отримані цементні матеріали є гідролічними вяжущими повітряного твердіння і мають наступні будівельно-технічні властивості: початок твердіння від 0 год – 15 хв до 3 год – 55 хв, кінець – від 1 год – 30 хв до 4 год – 35 хв, границя міцності на стиснення на 28 днів від 22 до 52 МПа. Оптимальним складом обраний склад № 4 ( $\text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5:\text{Ba}_2\text{SiO}_4:\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 = 40:20:40$ ), який характеризується високою радіаційною стійкістю (277 см<sup>2</sup>/г), гідролічній активністю і корозійною стійкістю (1,3), а також має достатньо високу міцність на стиснення (52 МПа).

**Висновки.** На основі проведених теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень встановлено, що одним з умов створення безпечної життєдіяльності населення на території

Сниження рівня радіаційного фону в робочій зоні радіаційно небезпечних об'єктів

рии с повышенной техногенной нагрузкой и риском возникновения чрезвычайных ситуаций является использование всех композиций составов оптимальной области в защитных вяжущих материалах, применяемых для создания радиационной защиты на объектах атомной энергетики, контейнеров хранения и захоронения радиоактивных отходов, при выполнении мероприятий инженерной защиты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Украины 1859–IV «Про правові засади цивільного захисту» / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2004. – (Бібліотека офіційних видань).
2. Сорокин В.Т. Экологические проблемы обращения с радиоактивными отходами / В.Т. Сорокин, В.Д. Сафутин // Радиационная безопасность: Экология – Атомная энергия : 4 Международ. конф., 2000 г : мат. конф.– СПб., 2000. – С. 78-80.
3. Прошин А.П. Особо тяжелые бетоны с суперпластификаторами для радиационной защиты / А.П. Прошин, В.И. Соломатов, Д.В. Калашников // Теория и практическое применение суперпластификаторов в композиционных строительных материалах : тез. докл. конф. – Пенза, 1991. – С. 48.
4. Петрова Т.М. Радиационная стойкость шлакощелочных бетонов / Т.М. Петрова, Н.П. Чибисов // Мол. ученые, аспиранты и докторанты Санкт-Петерб. гос. ун-та путей сообщ. – СПб., 1996. – С. 14-18.
5. Ильин В.Б. Технические требования и результаты разработки контейнеров для хранения и транспортировки РАО / В.Б. Ильин, А.И. Смирнов // Радиационная безопасность: Экология – Атомная энергия : 4 Международ. конф., 2000 г : мат. конф.– СПб., 2000. – С. 180-182.
6. Вылков В. Получение и свойства бариевых силикатных и алюминатных цементов / В. Вылков // Цемент. – 1996. - № 4. – С. 21-23.
7. Свиридов Н.В. Железобетонные контейнеры для хранения РАО, особопрочный общестроительный и радиационнозащитный бетон / Н.В. Свиридов, Р.М. Гатаулин // Радиационная безопасность: Экология – Атомная энергия : 4 Международ. конф., 2000 г : мат. конф.– СПб., 2000. – С. 182-183.

8. Шабанова Г.М. Дослідження впливу неорганічних добавок на фізико-механічні властивості спеціального барієвого цементу / Г.М. Шабанова, Н.С. Цапко, В.В. Дейнека, В.В. Тараненкова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – № 13 – С. 71-76.
9. Дейнека В.В. Термодинамика фазовых равновесий в субсолидусе системы CaO-BaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> / Г.Н. Шабанова, В.В. Дейнека, С.М. Логвинков, А.Н. Корогодская // Огнеупоры и техническая керамика. – М.: Меттекст. – 2007. – № 2. – С. 15 – 19.
10. Бутт Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов / Бутт Ю.М., Тимашев В.В. - М.: Высшая школа, 1973. - 504с.

Дейнека В.В.

#### **Зниження рівня радіаційного фону в робочій зоні радіаційно-небезпечних об'єктів**

Будівництво споруд, будівель, інженерних мереж і транспортних комунікацій із заданими рівнями безпеки і надійності від негативного впливу радіації диктує необхідність розробки в'язучих матеріалів зі спеціальними властивостями, які не забезпечуються застосуванням цементів загальнобудівельного призначення. Проблема розробки засобів захисту від радіації дуже актуальна в наш час. З точки зору забезпечення безпеки навколишнього середовища, населення, території та об'єктів від викидів радіоактивних речовин, найбільш цікаві для вивчення і впровадження цементу на основі чотирикомпонентної системи CaO - BaO - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>, що містять, крім феритів і силікатів кальцію, ферити барію, які по швидкості наростання міцності і кінцевої її величини можуть конкурувати зі спеціальними конструктивними матеріалами. Застосування цих цементів забезпечує виробам підвищену питому вагу, більш високий коефіцієнт масового поглинання гамма-випромінювань, підвищену стійкість до агресивної дії сульфатної корозії.

**Ключові слова:** жорстке радіаційне опромінення, в'язучі матеріали, сульфатна корозія

Deyneka V.V.

#### **Reduction of background radiation level in the working area of radiation hazardous facilities**

Construction of structures, buildings, engineering networks and transport communications with preset levels of security and reliability from the negative impact of radiation dictates necessity of development of binding materials with special properties, which are not provided for by application of cements of machine-building purposes. The problem of development of means of protection against radiation is very urgent in our time. From the point of view of ensuring safety of the environment, population, territory and objects from the emissions of radioactive substances, and are most interesting for the study and implementation of cements on the basis of system CaO - BaO - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> containing, in

addition to ferrites and silicate of calcium, barium ferrite, that the slow rate of the strength and its final value can compete with special construction materials. The application of these cements provides products increased weight, a higher ratio of mass of the absorption of gamma-radiation, high resistance to aggressive action sulfate corrosion.

**Key words:** hard radiation, astringent materials, sulfate corrosion, hard radiation

УДК 681.324

*Игнатъев А.М., ст. преп., НУГЗУ,  
Вальченко А.И., канд. воен. наук, доц., НУГЗУ*

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ  
ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО  
РЕЕСТРА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

(представлено д-ром техн. наук Туркиным И.Б.)

Обоснована целесообразность реализации принципов непрерывной оценки эффективности и совершенствования процесса эксплуатации сложных технических систем (СТС) сбора и обработки информации для базы данных Государственного реестра потенциально опасных объектов. Разработан подход к синтезу структуры экспертной системы поддержки принятия решений при планировании технической эксплуатации СТС, что позволит обеспечить рациональное и гибкое планирование мероприятий технического обслуживания.

**Ключевые слова:** Государственный реестр потенциально опасных объектов, сложная техническая система, планирование технической эксплуатации, экспертная система

**Постановка проблемы.** С целью получения данных о текущем состоянии потенциально опасных объектов (ПОО) и актуализации информации, которая содержится в базе данных Государственного реестра ПОО, проводится мониторинг этих объектов в рамках заданий единой государственной системы предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера [1].



При этом для передачи и обработки сообщений используются системы компьютерной связи и обработки информации. Задачи передачи и обработки циркулирующей информации возлагаются на оконечные устройства. Правильная эксплуатация такой сложной технической системы как система передачи данных (СПД) является сложной задачей. От грамотной эксплуатации напрямую зависит надежность СПД и, как следствие, качество решения возложенных на неё задач. Поэтому задача организации эксплуатации сложной технической системы передачи данных для Государственного реестра потенциально опасных объектов является актуальной.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Эффективность функционирования сложных технических систем (СТС) во многом определяет качество выполнения возложенных на них задач. Поэтому задача обеспечения постоянной готовности СТС решается путем проведения комплекса организационных и технических мероприятий [2]. Инструментом реализации принципов непрерывной оценки эффективности и совершенствования процесса эксплуатации СТС является система сбора и обработки информации, позволяющая обеспечить интегрированную логистическую поддержку (ИЛП) закупки, производства и эксплуатации СТС [3].

**Постановка задачи и ее решение.** Существующая в настоящее время система организации технического обеспечения СТС не позволяет рационально и гибко планировать мероприятия по технической эксплуатации. Возникает задача обоснования целесообразности применения распределенной системы поддержки принятия решения при планировании эксплуатации СТС и оценка ее эффективности при решении задач технического обслуживания.

В настоящее время системы поддержки принятия решений (СППР) представляют собой интеллектуальные системы (ИС), имеющие базу знаний, обучающиеся на знаниях и обрабатывающие знания. Наиболее распространенный класс ИС – это экспертные системы (ЭС). Таким образом, в качестве интеллектуальной системы поддержки принятия решений при планировании эксплуатации СТС будем использовать распределенную динамическую экспертную систему.

Оптимизация затрат на техническую эксплуатацию СТС осуществляется за счет предоставления лицу, принимающему решения (ЛПР) рациональных планирующих решений, получаемых с учетом знаний экспертов и реальной информации о состоянии СТС

---

Интеллектуальные технологии в задачах организации эксплуатации сложных технических систем передачи данных для государственного реестра потенциально опасных объектов

и всех обеспечивающих ресурсов. Результатом работы предлагаемой распределенной динамической экспертной системы поддержки принятия решений является генерация вариантов формализованных документов текущего и прогнозного планирования эксплуатации СТС по критерию обеспечения максимального уровня готовности СТС при минимальных затратах средств на её эксплуатацию.

Интегральной оценкой, позволяющей оценить степень соответствия реальных характеристик системы требуемым, является оперативная надёжность. В качестве примера рассмотрим оперативную надёжность системы связи.

Учитывая характеристики информационного потока на входе линии связи, оперативная надёжность может быть рассчитана по формуле времени обслуживания простейшего потока [2]

$$P_{он} (t_{обсл.} \leq t_{необход.}) = 1 - e^{-\frac{t_{необход.}}{t_{обсл.}}}, \quad (1)$$

где  $t_{необход.}$  – необходимое время передачи сообщения по линии связи;  $t_{обсл.}$  – среднее время передачи сообщения по линии связи.

Таким образом, одним из способов повышения оперативной надёжности является повышение вероятности безотказной работы каналов связи.

Вероятность выхода канала связи из строя по техническим причинам зависит от вероятности выхода из строя технических средств, составляющих этот канал (при условии их независимости), и определяется по формуле

$$P_T = \prod_{i=1}^m P_{ТС i}, \quad (2)$$

где  $P_{ТС i}$  – вероятность выхода из строя по техническим причинам  $i$ -го технического средства, составляющего канал связи;  $m$  – количество технических средств.

$$P_{ТС i} = 1 - P_{НФ i}, \quad (3)$$

где  $P_{НФ i}$  – вероятность нормального функционирования  $i$ -го средства, которая определяется безотказностью и восстанавливаемостью радиотехнической аппаратуры.

$$P_{HF} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} e^{(-\lambda t)}, \quad (4)$$

где  $\mu = \frac{1}{t_g}$  – интенсивность восстановления системы;  $\lambda$  – интенсивность отказов системы;  $t_g$  – среднее время восстановления и средняя наработка на отказ, соответственно.

Изменение параметров безотказности и восстанавливаемости аппаратуры за счет проведения на ней профилактических работ может быть аппроксимировано зависимостями

$$\lambda_n = \lambda \left( 1 - A \left( 1 - e^{(-\nu t_n)} \right) \right), \quad (5)$$

и

$$\mu_n = \mu \left( c + (1 - c) e^{(-\mu t_n)} \right)^{-1}, \quad (6)$$

где  $A = \frac{n_n}{n}$  – коэффициент, зависящий от характера отказов аппаратуры;  $n_n, n$  – общее число отказов аппаратуры и число постепенных отказов соответственно;  $\nu = \frac{1}{T_n}$  – интенсивность профилактики;  $t_n$  – время, отводимое на цикл профилактики;  $T_n$  – среднее время профилактики;  $c = \frac{t_{cp}}{t_g}$  – среднее время, потребное на замену отказавшего блока.

Оценим увеличение вероятности нормального функционирования аппаратуры при проведении профилактических работ. Для этого в выражение (4) подставим формулы (5) и (6)

$$P_{HF_n} = \frac{e^{\left( -\lambda_n \left( 1 - A \left( 1 - e^{(-\nu t_n)} \right) \right) t \right)}}{1 + \frac{\lambda}{\mu} \left( c + (1 - c) e^{(-\mu t_n)} \right) \left( 1 - A \left( 1 - e^{(-\nu t_n)} \right) \right)}. \quad (7)$$

Обозначим  $W_\lambda = \frac{\lambda_n}{\lambda} = 1 - A(1 - e^{-(\nu t_n)})$  как коэффициент, характеризующий сокращение интенсивности отказов аппаратуры за счет профилактики (выигрыш за счет повышения безотказности),  $W_\mu = \frac{\mu}{\mu_n} = c + (1 - c)e^{(-\mu t_n)}$  как коэффициент, характеризующий сокращение времени восстановления аппаратуры за счет профилактики (выигрыш за счет повышения восстанавливаемости). Тогда выражение (7) примет вид

$$P_{\text{эф}_n} = \frac{e^{(-\lambda_n W_\lambda t)}}{1 + \frac{\lambda}{\mu} W_\mu W_\lambda}. \quad (8)$$

Анализ показывает, что с увеличением длительности эксплуатации радиотехнических средств, актуальность уменьшения  $W_\lambda$  – возрастает

$$W_\lambda = 1 - K_{\text{ЭП}}, \quad (9)$$

где  $K_{\text{ЭП}}$  – коэффициент эффективности профилактики, который зависит от длительности (объема) профилактики и периода проведения профилактических работ.

Для повышения коэффициента готовности всей системы связи в целом необходимо сокращать время на проведения профилактических работ, но при этом уменьшается вероятность нормального функционирования аппаратуры и, следовательно, оперативная надежность системы связи, что приводит к уменьшению коэффициента готовности.

**Выводы.** Таким образом, обоснована целесообразность применения интеллектуальных технологий в задачах организации эксплуатации СТС. Разработан подход к синтезу структуры экспертной системы поддержки принятия решений при планировании технической эксплуатации СТС. Использование такой экспертной системы позволит учесть факторы, влияющие на организацию технической эксплуатации, тем самым, обеспечить рациональное и гибкое планирование мероприятий технического обслуживания СТС передачи данных для Государственного реестра потенциально опасных объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Наказ МНС України від 06.11.2003р. №425 «Про затвердження Положення про моніторинг потенційно небезпечних об'єктів» // Офіційний вісник України, 09.01.2004. – 2003 р. - № 52, том 2. – С.610. – ст. 2857.
2. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник. Издательство ЭНАС, 2008 г. – 504 с.
3. Стратегии ТОиР и диагностика оборудования [Электронный ресурс] // Информационно-справочное издание «Новости электротехники» – 2008 г. – №2(50). – Режим доступа к журн.: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/50/20.php>.

Ігнат'єв О.М., Вальченко О.І.

### **Інформаційні технології в задачах організації експлуатації складних технічних систем передачі даних для Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів**

Обґрунтовано доцільність реалізації принципів безперервної оцінки ефективності й удосконалювання процесу експлуатації складних технічних систем (СТС) збору й обробки інформації для бази даних Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів. Розроблено підхід до синтезу структури експертної системи підтримки прийняття рішень при плануванні технічної експлуатації СТС, що дозволить забезпечити раціональне й гнучке планування заходів технічного обслуговування.

**Ключові слова:** Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів, складна технічна система, планування технічної експлуатації, експертна система

Ignatiev A.M., Valchenko A.I.

### **Information technologies in tasks of the organization of operation of difficult technical systems of data transmission for the State register of potentially dangerous objects**

Expediency of realization of principles of a continuous assessment of efficiency and improvement of process of operation of difficult technical systems (DTS) of collecting and information processing for a database of the State register of potentially dangerous objects is proved. The approach to synthesis of structure of expert system of support of decision-making when planning technical operation of DTS that will allow to provide rational and flexible planning of actions of maintenance is developed.

**Key words:** State register of potentially dangerous objects, difficult technical system, planning of technical operation, expert system

УДК.614.8

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

## **ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ПРИ ТЕХНОГЕННІЙ НАДЗВИЧАЙНІЙ СИТУАЦІЇ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РОЗТАШУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ВИКИДУ**

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

У статті наводиться загальні передумови щодо створення, у першому наближенні, математичної моделі для визначення параметрів за якими будуть обиратися критерії щодо розташування захисних споруд для забезпечення безпеки населення у разі виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру

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

**Постановка проблеми.** Промисловість – найважливіший сектор господарського комплексу України. В ній використовується третина основних фондів та працює більше третини населення, зайнятого в народному господарстві. До найважливіших і, водночас, потенційно небезпечних, галузей промисловості відноситься, зокрема, хімічний комплекс. У 2010 році в промисловому комплексі України функціонувало близько 1,2 тис. об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності більше 358 тис. тонн небезпечних хімічних речовин, у тому числі: більше 5 тис. тонн хлору, 213 тис. тонн аміаку та близько 139 тис. тонн інших небезпечних хімічних речовин [1]. Аналіз загроз хімічної безпеки дозволяє зробити висновок, що найбільшу небезпеку для населення створюють хімічні виробництва, аміакопроводи, відстійники, сховища небезпечних речовин тощо.

Найбільшу кількість хімічно небезпечних об'єктів зосереджено у східних областях України, а саме у:

- Донецькій області - 174;
- Дніпропетровській області - 115;
- Луганській області - 93;
- Харківській області - 101.

Абсолютна більшість підприємств усіх галузей промисловості, зокрема хімічних, працює на морально застарілому обладнанні, що тільки збільшує ймовірність виникнення надзвичайної ситуації. Виробництво на цих підприємствах супроводжується утворенням великої кількості відходів та побічних продуктів, які не утилізуються, а складаються у відвалах та захороненнях [1, 2].

Найбільш прийнятним критерієм оцінки ступеня ризику ураження людей є вірогідність ураження в заданій точці міста, визначувана з урахуванням мінливості параметрів приземного шару повітря і кількості викинутої сильнодіючої отруйної речовини (СДОР) в процесі аварії.

Прогноз небезпеки поразки людей ділять на оперативний і довготривалий. Довготривалий прогноз застосовують у разі, коли відомо, на якому об'єкті відбудеться аварія, скільки вилетиться СДОР, і які будуть параметри повітряного середовища під час аварії. Результатом такого прогнозу є карта або план із зображенням зон хімічної небезпеки.

При прогнозуванні надзвичайних ситуацій найчастіше доводиться стикатися з декількома джерелами небезпеки. Використовувані у виробництві СДОР можуть бути сусідами з пожежо- і вибухонебезпечними об'єктами. Вірогідність вибуху в населеному пункті може істотно посилити ситуацію. Площі зони зараження є похідною величиною від глибини зони зараження, а конфігурація – від сили і напрямку вітру.

Для оцінки можливих втрат від НС по карті можна визначити площу житлових масивів, що потрапляють в область прояву тих або інших небезпечних чинників. Знаючи щільність населення, можна розрахувати кількість потерпілих і визначити ступінь ураження людей.

Укриття населення в захисних спорудах при виникненні надзвичайних ситуацій мирного часу має важливе значення, особливо при виникненні труднощів і неможливості повної евакуації населення з великих міст, а в поєднанні з іншими способами захисту забезпечує зниження ступеня його ураження від всіх можливих вражаючих дій надзвичайних ситуацій різного характеру.

Для захисту населення від надзвичайних ситуацій можуть використовуватися як захисні споруди цивільної оборони, які створюють необхідні умови для збереження життя і здоров'я людей, так і інші пристосовані для цих цілей будівлі і споруди, які можуть по своїх конструктивних характеристиках забезпечити за-

хист при радіаційних і хімічних аваріях, задимленнях, катастрофічних затопленнях, смерчах, ураганах тощо.

Відтак постає проблема технічного забезпечення захисту населення у випадку можливого викиду отруйної речовини, з якої витікає наукова задача по розробці алгоритму оптимального використання наявних технічних засобів при евакуації населення під час хімічної аварії, під час яких спостерігатиметься витік отруйної речовини з більше ніж одного джерела (комплексна аварія). В даному випадку під терміном «евакуація» розуміється безпечний рух людини від місця її проживання до захисної споруди.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз існуючих робіт показує, що в основному дослідження з моделювання руху людини проводяться з використанням наступних двох підходів: безперервного (наприклад [3]) і дискретного (наприклад [4-6]). Математичному моделюванню у геометричному проектуванні була присвячена низка видань, наприклад [7]. Останнім часом було видано доволі багато публікацій, присвячених математичному моделюванню об'єктів та процесів, наприклад [8-13]. Зокрема, питанню щодо моделювання розташування захисних споруд цивільної оборони на території міської забудови була присвячена стаття [14], в якій задача визначення раціональної кількості сховищ була сформульована у вигляді задачі раціонального розбиття точкової множини на підмножини. Крім того, питанням щодо раціонального розташування (розподілу) об'єктів з урахуванням визначених чинників було присвячено декілька дисертаційних досліджень, зокрема [15-18].

**Постановка завдання та його вирішення.** Загалом рішення задачі по визначенню алгоритму дій по забезпеченню евакуації людей під час виникнення надзвичайної ситуації пропонується в якості вирішення ймовірнісної задачі з недостатньою кількістю даних [19, 20]. На сьогодні даний підхід є досить розповсюдженим у світі. Зокрема він використовується японськими вченими для визначення алгоритму дій при евакуації населення під час землетрусів [21, 22], а також у США для визначення алгоритму дій при евакуації людей під час лісових пожеж [23-26].

Однак даний метод, хоча й має назву «з недостатньою кількістю даних», окрім серйозного статистичного аналізу, ймовірнісних математичних розрахунків та використання теорії математичного управління [27], потребує повних та точних початкових масивів



даних, які сконцентровані в установах різного структурного підпорядкування і часто не можуть бути у відкритому користуванні.

В роботі [14] розглядається постановка задачі раціонального територіального розподілу захисних споруд.

Математична модель задачі має наступний вигляд

$$N(c_1, c_2) \rightarrow \min_w \quad (1)$$

де  $W$

$$\left( \bigcup_{k=1}^N S_k \right) \cap cS_0 = \emptyset; \quad (2)$$

$$\left( \bigcup_{k=1}^N S_k \right) \cap S_0 = S_0; \quad (3)$$

$$S_k \cap S_i = \emptyset; \quad (4)$$

$$T_{\max}(S_k) \leq T; \quad (5)$$

$$kl = 1, \dots, N; k \neq l. \quad (6)$$

В даному випадку проводиться моделювання раціонального розбиття територій на райони функціонування захисних споруд. Розв'язання даної задачі дозволяє врахувати такі параметри, що впливають на раціональну кількість районів захисту, як щільність населення і рельєф місцевості, та отримати границі районів захисту, однак у даній моделі не враховується можлива зона зараження, інтенсивність впливу небезпечних чинників на людей, розміщення потенційно небезпечних об'єктів (об'єктів потенційної небезпеки), швидкість пересування людей, завантаженість шляхів тощо.

В роботі [18] на підставі рівнянь турбулентної дифузії розроблена аналітична модель для опису просторового розподілу концентрації небезпечних хімічних речовин як у стаціонарному, так й у нестаціонарному випадках розвитку аварій, що пов'язані з викидом (виливом) небезпечних хімічних речовин. Вихідне напівем-

піричне рівняння турбулентної дифузії хімічних речовин в атмосфері за певних умов подається у вигляді

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \sigma \phi + \vec{V} \vec{V} \phi - \nu \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = F(\vec{r}, t), \quad (7)$$

де  $\phi = \phi(\vec{r}, t)$  - концентрація хімічних речовин (кг/м<sup>3</sup>),  $\vec{V}$  - швидкість повітря (м/с), функція  $F(\vec{r}, t)$  описує джерела викиду речовини, а коефіцієнт  $\sigma$  уведено для врахування можливостей розпаду або реакції розглядуваної речовини з компонентами зовнішнього середовища,  $\vec{r} = (x, y, z)$  - поточні координати,  $t$  - час.

Дана модель може бути використана при розгляді можливих зон ураження в залежності від розміщення потенційно небезпечних об'єктів відносно районів житлової забудови та наявності на їх території небезпечних хімічних речовин.

Також при оцінці небезпечного впливу ймовірних чинників на навколишнє середовище та людину необхідно враховувати територіальне розміщення об'єктів відносно населених зон, щільність населення, наявність об'єктів з масовим перебуванням людей, розрахункові параметри часу дії вражаючих факторів та їх знешкодження тощо.

Тому пропонується початкове використання іншого методу – методу первинного оцінювання. Сутність цього методу можна проілюструвати на прикладі м. Харків.

На території м. Харкова загалом розташовано 69 об'єктів потенційної хімічної безпеки. Співвідношення кількості об'єктів потенційної хімічної безпеки з кількістю населення корегується від 1/8,6 до 1/62,1 (об'єкт/тис. осіб), що вносить значні корективи в розрахунок кількості населення, яке підлягає укриттю в захисних спорудах. Також існує ймовірність того, що небезпечні фактори, які можуть утворитися при виникненні надзвичайної ситуації техногенного характеру, можуть розповсюдитися у межах суміжного району.

Крім того, результати аналізу розташування об'єктів потенційної хімічної безпеки по території м. Харків свідчать, що середня відстань від об'єкту потенційної хімічної безпеки до межі житлової забудови становить 0,3 км, тоді як величина середнього радіусу можливої зони ураження – 6,5 км. З цього випливає, що

навіть у межах одного адміністративного району техногенна надзвичайна ситуація може набути комплексного характеру, оскільки відстань між суміжними об'єктами потенційної хімічної небезпеки може виявитися меншою, ніж радіус можливої зони ураження (рис.1).

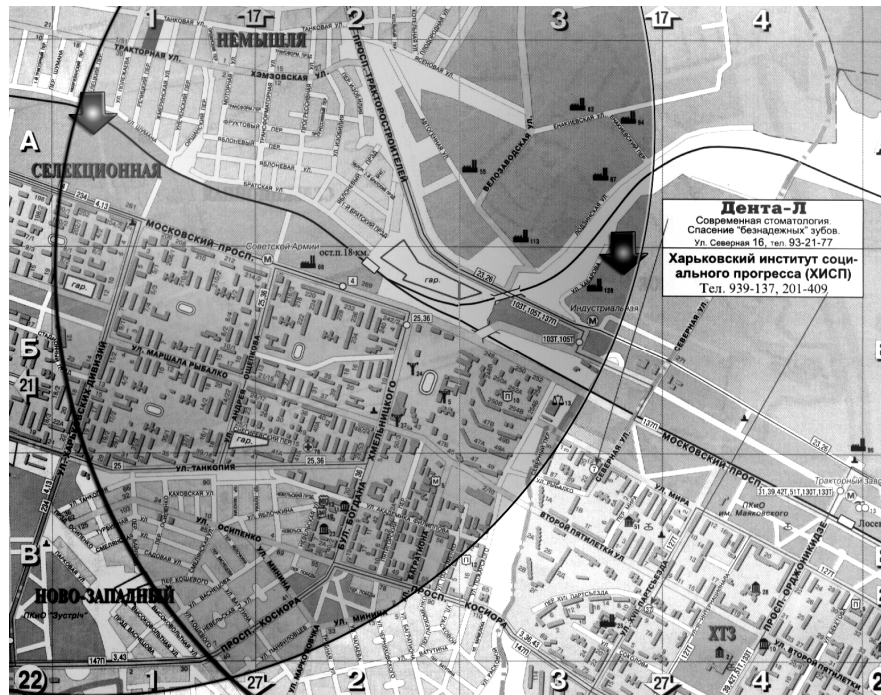


Рис. 1 – Фрагмент карти-схеми м. Харкова зі вказаними суміжними об'єктами потенційної хімічної небезпеки та можливими радіусами зони хімічного зараження

Необхідно визначити, скільки людей у суміжних районах міста може опинитися у зоні впливу небезпечного фактору надзвичайної ситуації у випадку витікання отруйної речовини за деякий період часу.

Математичну основу цього методу можна висловити наступним чином: кількість людей, які проживають в одному з суміжних районів міста позначимо як  $x$ , а кількість людей з того ж району, які можуть підпасти під вплив небезпечного фактору надзвичайної ситуації за деякий час  $t_1$  позначимо як  $x_1$ . Відповідно для другого суміжного району –  $y$  та  $y_1$ . Таким чином, сумарна кількість людей в обох районах

$$Q = x_1 + y_1, \quad (8)$$

які знаходяться у час  $t_1$  на початковій території розвитку небезпеки, дасть нам первинне поняття про кількість людей, яких треба евакуювати з території  $S$ , у межах якої знаходиться кількість людей  $Q$ . Надалі необхідно враховувати, що під час збільшення або зменшення дії вражаючого фактору за час його дії  $t_{dii}$  кількість людей  $Q$  буде змінюватися як функція від часу та від зміни кількості людей  $\Delta x$  та  $\Delta y$  у суміжних районах міста.

**Висновок.** Використання даного методу, хоча й досить наближено, надасть можливість оцінити необхідність у додаткових діях по збільшенню кількості захисних споруд цивільного захисту, оптимізації управління транспортом для здійснення евакуації населення та збільшення ефективності у прийнятті управлінських рішень, що у першому наближенні зможе вирішити поставлену задачу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки України у 2010 р. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до журн.: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopov2010.html>
2. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий / [ред. Котляревский В.А., Забегаев М.М.]. - М.: Издательство АСВ, 2005. – 375 с.
3. D.Helbing Simulating dynamical features of escape panic / D.Helbing, I.Farkas, T.Vicsek, Nature, 407(2000), Pp.487-490.
4. М.Е.Степанцов Математическая модель направленного движения группы людей / М.Е.Степанцов Математическое моделирование, в. 16(2004), № 3, с. 43-49.
5. A.Kirchner, Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics / A.Kirchner, A.Schadschneider, Physica, 312(2002), Pp.260-276.
6. K.Nishinari, Extended floor field CA model for evacuation dynamics, / K.Nishinari, A.Kirchner, A.Namazi, A.Schadschneider, IEICE Trans.Inf., & Syst. E87-D., 2004, 726.
7. Стоян Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Стоян Ю.Г., Яковлев С.В.: - Київ: Наукова думка, 1986. – 268 с.
8. Садковий В.П. Раціональне розбиття множин при територіальному плануванні в сфері цивільного захисту: Монографія / Садковий В.П., Комяк В.М., Соболев О.М.: Ун-т цивільного за-

- хисту України. – Горлівка: ПП «Видавництво Ліхтар», 2008. – 174 с.
9. Комяк В.М. Математична модель задачі розбивання множини на підмножини з урахуванням обмежень у вигляді рівностей та нерівностей / В.М. Комяк, О.М. Соболю // Вестник Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2005. – Вып. 2(22).– С. 152-156.
  10. Комяк В.М. Аналітичне розв'язання задачі розбивання множини на підмножини з урахуванням обмежень у вигляді рівностей / В.М. Комяк, О.М. Соболю // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків, 2005. - Вип. 9.– С. 103-108.
  11. Соболю О.М. Математична модель та метод розв'язання задач розбивання, характерних для проектування територіально розподілених елементів системи цивільного захисту населення і територій / О.М. Соболю // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків, 2006. – Вип. 3. – С. 120-127.
  12. Соболю О.М. Моделювання раціонального розбивання міста на райони виїзду пожежно-рятувальних підрозділів / О.М. Соболю // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Харків, 2006. – Вип.4. – С. 213-218.
  13. Соболю О.М. Раціональне розбиття міста на райони ефективного функціонування станцій швидкої допомоги / О.М. Соболю // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Харків, 2007. – Вип.5. – С. 194-199.
  14. Комяк В.М. Раціональне розбиття міста на райони функціонування захисних споруд / В.М. Комяк, О.М. Соболю, А.Г. Коссе // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Харків, 2007. – Вип.6. – С. 74-79.
  15. Розробка методів обґрунтування штатної чисельності бойових розрахунків пожежних автомобілів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.26.03 [Електронний ресурс] / В.М. Чучковський; Харк. ін-т пожеж. безпеки. — Х., 1998. — 16 с. — укр.
  16. Розміщення пожежонебезпечних об'єктів з урахуванням впливу небезпечних чинників пожежі на навколишнє середовище: Автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.02 [Електронний ресурс] / Є.В. Морщ; Акад. цив. захисту України. — Х., 2005. — 19 с. — укр.
  17. Оптимізація розміщення сил і засобів при локалізації ландшафтної пожежі: автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.02

- [Електронний ресурс] / С.Ф. Кривошликов; Ун-т цивіл. захисту України. — Х., 2009. — 20 с. — укр.
18. Визначення зон безпечного розташування пожежно-рятувальних сил при ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості: автореф. дис... канд. техн. наук: 21.02.03 [Електронний ресурс] / О.В. Захаренко; Ун-т цив. захисту України. — Х., 2009. — 20 с. — укр.
  19. Гмурман Е.В. Курс теории вероятностей и математической статистики / Гмурман Е.В. — М.: Высшая школа, 2000 — 479 с.
  20. Колемаев В.А. Теория вероятностей и математическая статистика / Колемаев В.А., Староверов О.В., Турундаевский В.Б. — М.: Высшая школа, 1990 — 461 с..
  21. Kagaya S. (2002) An Use of Conjoint Analysis with Fuzzy Regression for Evaluation of Alternatives of Urban Transportation Schemes / Kagaya, S., Shinada C., The 13th Mini-Euro Conference, Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems, pp.117-125.
  22. Kouichi T. Development of evacuation simulation software after an earthquake for earthquake preparedness education / Kouichi T, Fusanori M., 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 651
  23. Andrews, P.L. BehavePlus Modeling System: Past, Present and Future. / P.L. Andrews. US Forest Service, Rocky Montana Research Statuon, Missoula, Montana, 2005. - 13 p.
  24. Balay, S. Efficient Management of Parallelism in Object-Oriented Numerical Software Libraries, Modern Software Tools in Scientific Computing. / S. Balay, W. D. Gropp, L. C. McInnes and others. Birkhauser Press, 1997. Pp. 163-202.
  25. Byram, G. M., Martin R.E. The modeling of fire whirlwinds. / G. M. Byram, R. E. Martin // Forest Science, 1970, vol. 16, N 4. Pp. 386-398.
  26. Clark, T. L. Description of coupled atmosphere-fire model. / T. L. Clark, J. Coen, D. Latham // Int. J. Wildland Fire, 2004, №13. Pp. 49-63.
  27. Биченок М.М. Основи інформатизації управління регіональною безпекою /Биченок Микола Миколайович — К.: РНБО, Інститут проблем національної безпеки, 2005. — 194 с.

Квитковский Ю.В., Стельмах О.А.

**Основные подходы к созданию модели обеспечения защиты населения при техногенной чрезвычайной ситуации в зависимости от расположения источников выбросов**

В статье даются общие предпосылки создания, в первом приближении, математической модели определения параметров выбора критериев расположения защитных сооружений для обеспечения безопасности населения в случае возникновения чрезвычайной ситуации техногенного характера

**Ключевые слова:** защита, хранилище, опасные факторы, комплексная чрезвычайная ситуация, оценка, эвакуация

Kvitkovskiy Y.V., Stelmakh O.A.

**Basic approaches to creation of model of providing of defence of population at a technogenic extraordinary situation depending on the location of sources of extras**

In the article is pointed general pre-conditions in relation to creation, in the first approaching, mathematical model for determination of parameters after which criteria will be elected in relation to the location of protective buildings for providing of safety of population in the case of origin of extraordinary situation of technogenic character

**Key words:** defence, depository, dangerous factors, complex extraordinary situation, estimation, evacuation

УДК 681.324

*Кирочкин А.Ю., науч. сотр., НУГЗУ,  
Левтеров А.А., канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НУГЗУ*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО МОНИТОРИНГА С БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБРОСА ОПАСНОГО ХИМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА**

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

В работе предложено методическое обеспечение оценки выброса (истечения) газообразного опасного химического вещества для системы мобильного мониторинга, имеющей в составе беспилотные летательные аппараты. Приведен пример работы системы в условиях чрезвычайной ситуации с выбросом (истечением) аммиака.

**Ключевые слова:** мониторинг, беспилотный летательный аппарат, выброс, опасные химические вещества

**Постановка проблемы.** В Украине на сегодняшний день использование систем мобильного мониторинга, имеющих в своем составе беспилотные летательные аппараты (БЛА), в силу ряда объективных причин является крайне ограниченным и, в основном, находится на стадии проектирования. Тем не менее, следует отметить отечественный проект беспилотного авиационного комплекса Министерства обороны Украины для воздушного наблюдения и разведки (проект «Кречет»), проект Службы безопасности Украины для решения широкого круга задач воздушного наблюдения и разведки при обеспечении антитеррористических и чрезвычайных операций в условиях городской и промышленной застройки, а также проект авиационного беспилотного комплекса «Бекас-НГ», предназначенного для круглосуточного и внесезонного инспектирования объектов ОАО «Укрнефть» с целью видового и инструментального обследования технического состояния трасс нефтегазопроводов, нефте- и газоперерабатывающих заводов, резервуарных парков, концевых анкерных опор, линий электропередач, выявления несанкционированных врезок в нефтегазопроводы, слежения за перемещением людей и транспортных средств на территориях, прилегающих к объектам ОАО «Укрнефть». К со-



жалению, аналогичные комплексы или хотя бы их проекты в МЧС Украины отсутствуют, равно как отсутствует и концепция использования мобильных комплексов (в том числе, с БЛА) для задач мониторинга.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время для создания эффективных сравнительно дешевых систем мониторинга, воздушного наблюдения и разведки все чаще используются БЛА. По свидетельствам зарубежной печати сфера их применения постоянно расширяется и не ограничивается решением традиционных военных задач. Например, в США и странах Евросоюза на основе БЛА разрабатываются мобильные комплексы для проведения экологического мониторинга, разведки полезных ископаемых, нужд сельского хозяйства, транспорта и т.п. Все чаще такие комплексы используются для решения проблем гражданской защиты [1].

В Украине в последнее время мониторингу чрезвычайных ситуаций (ЧС) также уделяется повышенное внимание, например, 13 Всеукраинская научно-практическая конференция спасателей постановила «обеспечить условия для проведения мониторинга состояния пожарной безопасности в природных экосистемах, патрулирования лесных массивов и лесопарковых зон; выявление, оценка и прогнозирование риска возникновения чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и районах...» [2].

В работе [3] описана система мобильного мониторинга ЧС с использованием БЛА и его характеристики. Данный комплекс, при использовании соответствующего оборудования, можно применить для анализа и прогноза зоны выброса опасного химического вещества (ОХВ).

**Постановка задачи и ее решение.** Используя систему мобильного мониторинга ЧС из [3], требуется определить выброс (истечение) газообразного ОХВ и поле концентрации выбрасываемого вещества.

Расположим систему координат следующим образом: начало координат  $O$  поместим в источник выброса (истечения) ОХВ, ось  $x$  направим по направлению ветра, ось  $z$  – вертикально вверх, а ось  $y$  направлена перпендикулярно осям  $x$  и  $z$  так, чтобы система координат была правой (рис. 1).

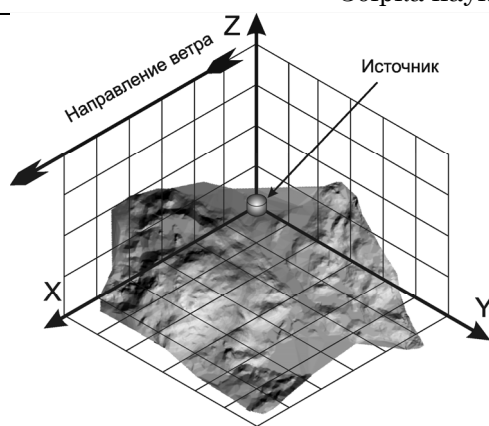


Рис. 1 – Система координат

В качестве математической модели выберем модель рассеивания Гаусса, описывающая процесс распространения легких ОХВ и определения его концентрации в приземном слое атмосферы для расстояний до 10 км от точечного источника [4]. Основное предположение модели заключается в том, что турбулентность всюду одинакова; скорость и направление ветра постоянны и не меняются при движении потока. Согласно этой модели концентрация выбрасываемого вещества в точке с координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$  равна

$$C(x, y, z) = \frac{QV}{2\pi \cdot u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right), \text{ г/м}^3 \quad (1)$$

где  $Q$  – выброс вещества, г/с;  $V$  – вертикальные условия рассеивания;  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  – стандартные отклонения рассеивания по горизонтали и вертикали, м;  $u_s$  – скорость ветра на эффективной высоте источника выбросов, м/с.

Для решения задачи используем следующий алгоритм [3].

1. Запускаем БЛА в зону ЧС.
2. В заданных точках измеряем концентрацию выбрасываемого вещества с помощью бортовых датчиков БЛА (для измерения необходимо приземление БЛА).
3. Передача данных на наземный пункт управления и их обработка.
4. Оценка выброса (истечения) ОХВ.
5. Оценка погрешности определения выброса.

Задача определения количества и взаимного расположения точек, в которых производятся измерения, в рамках данной работы не рассматривается. Оценка выброса в точке с координатами  $x_i, y_i, z_i$  проводится по формуле

$$Q_i = \frac{2\pi \cdot u_s \sigma_y \sigma_z}{V} \exp\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) C(x_i, y_i, z_i), \text{ г/с}$$

полученной из (1). После проведения измерений во всех точках усредняем полученные значения выброса

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i,$$

где  $n$  – количество точек. Примем  $n = 10$ .

Для оценки погрешности определения выброса в тех же заданных точках по формуле (1) вычислим расчетные значения концентрации выбрасываемого вещества  $C^*(x_i, y_i, z_i)$  и определим относительную погрешность измерений по формуле

$$\delta = \max_i \left( \frac{|C_i^* - C_i|}{C_i} \right).$$

Приведем пример решения задачи. Пусть на производственном объекте произошла ЧС, связанная с частичным разрушением емкости с газообразным ОХВ, сопровождающаяся длительным непрерывным истечением ОХВ в атмосферу. Имеем следующие исходные данные: ОХВ – аммиак; ясная солнечная погода (класс стабильности атмосферы  $A$ ); приземная скорость ветра  $1,4$  м/с.

Решим задачу определения выброса ОХВ, применив описанный выше алгоритм. Расположение точек, в которых проводятся измерения, и порядок их облета показаны на рис. 2.

Результаты измерений и вычислений приведены в таблице 1.

Произведя описанные расчеты, получаем  $Q = 5$  г/с и  $\delta = 4,01\%$ . Поле концентраций, рассчитанное по модели (1) при полученном выбросе, показано на рис. 3.

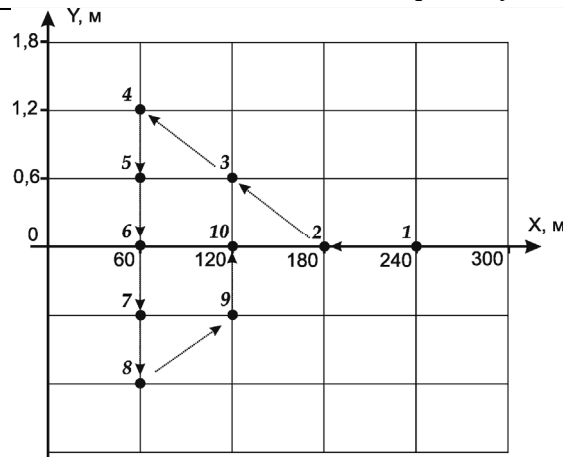


Рис. 2 – Контрольные точки и порядок их облета

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

$i$	$x_i, \text{ м}$	$y_i, \text{ м}$	$C_i^*, \text{ мкг/м}^3$	$Q_i, \text{ г/с}$	$C_i, \text{ мкг/м}^3$	$\delta_i, \%$
1	240	0	54,17	5,19	52,08	4,01
2	180	0	88,49	5,01	88,5	0,01
3	120	0,6	36,93	5	36,91	0,05
4	60	1,2	18,93	4,9	18,20	4,01
5	60	0,6	38,1	5,02	38,10	0,05
6	60	0	133,87	4,93	135,22	1
7	60	-0,6	38,48	5,05	38,10	1
8	60	-1,2	18,02	4,95	18,20	0,99
9	120	-0,6	35,82	4,85	36,93	3,01
10	120	0	124,05	5,1	121,62	2

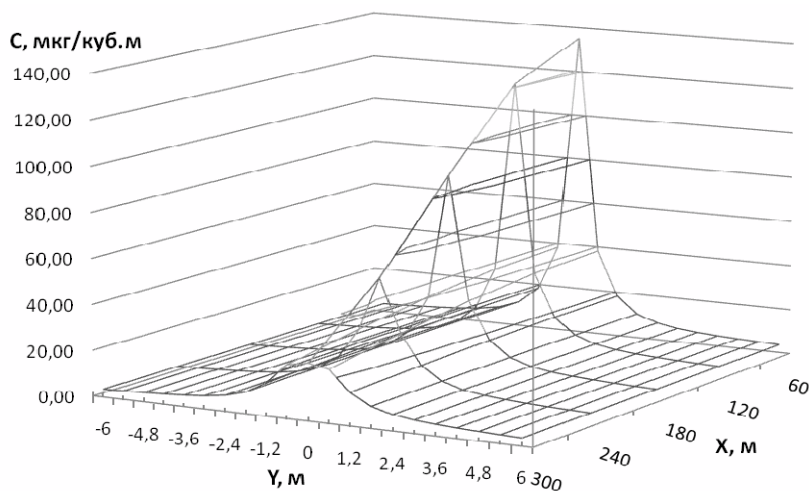


Рис. 3 – Поле концентраций ОХВ в области ЧС

**Выводы.** В работе предложено методическое обеспечение оценки выброса (истечения) газообразного ОХВ для системы мобильного мониторинга, имеющей в составе БЛА. Приведен пример работы системы в условиях ЧС с выбросом (истечением) аммиака.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Proc. 23rd Bristol International Unmanned Air Vehicle Systems (UAVS) Conf. Bristol, UK: University of Bristol, 2008.
2. Лист МНС України №03-12190/171 від 06.10.2011 «Резолюція 13 Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників».
3. Левтеров А.А. Система мобильного мониторинга чрезвычайной ситуации с использованием беспилотных летательных аппаратов [Текст] / А.А. Левтеров // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2011. – Вип. 14. – С. 112-117.
4. Techniques and decision making in the assessment of off-site consequences of an accident in nuclear facility. - Safety series № 86, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1987.

Кірочкін О.Ю., Левтеров О.А.

**Використання системи мобільного моніторингу з безпілотним літальним апаратом для оцінки характеристик викиду небезпечної хімічної речовини**

У роботі запропоновано методичне забезпечення оцінки викиду (виділення) газоподібної небезпечної хімічної речовини для системи мобільного моніторингу, що має в складі безпілотні літальні апарати. Наведено приклад роботи системи в умовах надзвичайної ситуації з викидом (виділенням) аміаку.

**Ключові слова:** моніторинг, безпілотний літальний апарат, викид, небезпечні хімічні речовини

Kirochkin A.Yu., Levterov A.A.

**Application of system of mobile monitoring with the unmanned aircraft for the estimation of characteristics of emission of dangerous substance**

In paper methodical providing an assessment of emission (expiration) of gaseous dangerous chemical for the system of mobile monitoring having in structure unmanned aircraft is offered. It is given an example system works in the conditions of an emergency situation with emission (expiration) of ammonia.

**Key words:** monitoring, unmanned device, emission, dangerous substance

УДК 614.8

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТЕЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ КРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ

В результате проведенной работы определена зависимость массового расхода водорода через отверстие от его площади и температуры водорода. Получена зависимость остаточной массы водорода в баллоне во времени при его истечении через отверстие.

**Ключевые слова:** водород, баллон, истечение, массовый расход

**Постановка проблемы.** В настоящее время водород рассматривается как один из перспективных экологически чистых энергоносителей для транспорта будущего [1, 2]. Одним из способов его хранения на автотранспорте, является хранение в жидком (криогенном) виде при температурах около 20 К [1–4].

Одной из проблем применения данных систем хранения водорода (СХВ) является их пожаровзрывоопасность [3]. Учитывая давление в СХВ, вибрацию в процессе эксплуатации, постоянное изменение температурных режимов работы, данные системы хранения водорода представляют опасность в связи с возможным разрушением бака или его разгерметизации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Одним из опасных факторов использования данной СХВ является горючая среда, образование которой возможно в результате разгерметизации бака или трубопровода и его соединений.

В работе [4] проведена оценка скорости уменьшения давления газа в сосудах при их разгерметизации. В данной работе, в качестве базового уравнения состояния газа, использовалось уравнение состояния идеального газа и уравнение Ван-дер-Ваальса, использование которых применительно к СХВ в жидком виде невозможно, ввиду наличия жидкой и газообразной фаз [3].

В работе [5] получены оценки скорости истечения водорода из СХВ в газообразном виде (давление до 70 МПа).

Однако, на сегодняшний день, отсутствуют данные о количественных значениях массового расхода, времени истечения водорода из СХВ в жидком виде при ее разгерметизации.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является определение массового расхода водорода при истечении его из криогенной СХВ, а также динамики изменения массы водорода в СХВ, что является важным фактором с точки зрения пожаровзрывоопасности этих систем.

Несмотря на то, что в данной системе хранения водород находится в двух фазах, рассмотрим только истечение газообразного водорода, как наиболее вероятного события при незначительных размерах площади отверстия истечения. Тогда, соответствии с [6], массовый расход сжатого газа из резервуара описывается следующими выражениями:

– докритическое истечение

$$Q = S \cdot \mu \left( P \cdot \rho \cdot k \left( \frac{2k}{k-1} \right) \left( \frac{P_a}{P} \right)^{\frac{2}{k}} \left[ 1 - \left( \frac{P_a}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right)^{0,5} \quad \text{при} \quad \frac{P_a}{P} \geq \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}; (1)$$

– сверхкритическое истечение

$$Q = S \cdot \mu \left( P \cdot \rho \cdot k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right)^{0,5} \quad \text{при} \quad \frac{P_a}{P} < \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (2)$$

где  $Q$  - массовый расход,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $P$  - давление газа в резервуаре, Па;  $P_a$  - атмосферное давление, Па;  $\gamma$  - показатель адиабаты газа;  $S$  - площадь отверстия,  $\text{м}^2$ ;  $\mu$  - коэффициент истечения (0,6-0,8);  $\rho$  - плотность газа в резервуаре,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Зависимость давления газообразного водорода от температуры можно представить в виде [4]

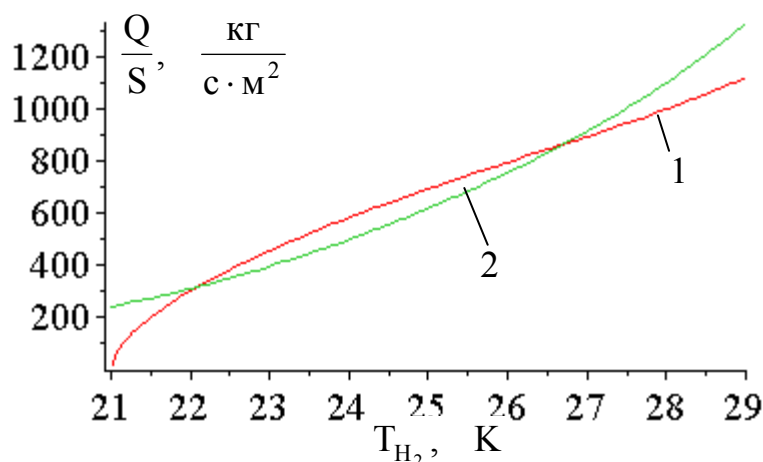
$$P_{\text{H}_2}(T_{\text{H}_2}) = 0,0059 \cdot T_{\text{H}_2}^2 - 0,2235 \cdot T_{\text{H}_2} + 2,1909 \quad (3)$$

где  $T_{\text{H}_2}$  – температура водорода.

Плотность газообразного водорода, как функцию температуры запишем в виде [7]

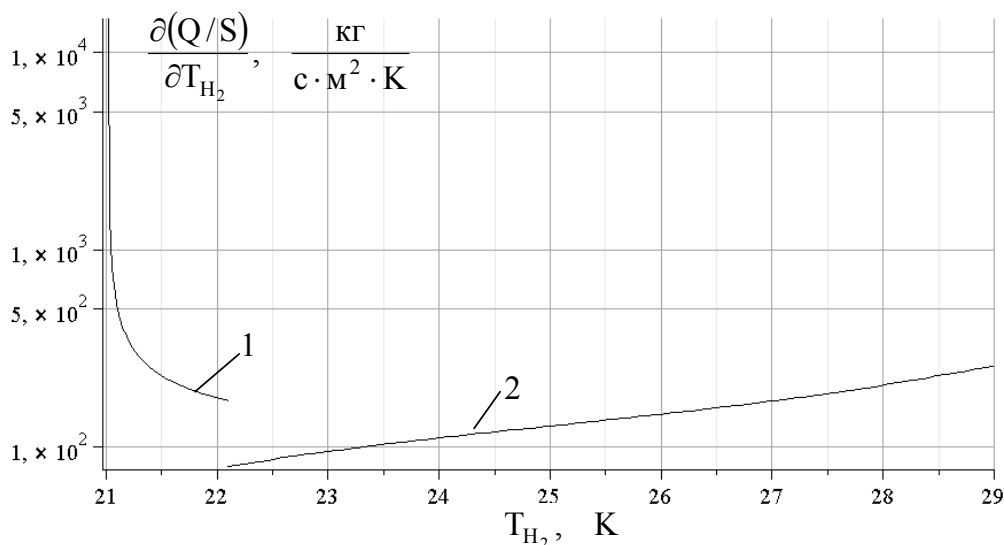
$$\rho_{\text{H}_2}(T_{\text{H}_2}) = 10^{(0,29610^{-4} \cdot T_{\text{H}_2}^4 - 0,0023624 \cdot T_{\text{H}_2}^3 + 0,064 \cdot T_{\text{H}_2}^2 - 0,5474 \cdot T_{\text{H}_2} - 0,38097)}. \quad (4)$$

В соответствии с (1) – (4) на рис. 1 показаны зависимости относительного расхода водорода от температуры.



**Рис. 1 – Зависимость относительного расхода водорода от температуры: 1 – докритическое истечение; 2 – сверхкритическое истечение**

Из рисунка следует, что с увеличением температуры растет относительный расход водорода. В соответствии с (1) и (2) температура, при которой происходит изменение закона истечения водорода, составляет 22,1 К. На рис. 2 приведены зависимости изменения относительного расхода водорода  $\frac{\partial(Q/S)}{\partial T_{H_2}}$ .



**Рис. 2 – Зависимость изменения относительного расхода водорода: 1 – до критическое истечение; 2 – сверхкритическое истечение**



Из рис. 2 следует, что с увеличением температуры ее влияние на величину  $\frac{\partial(Q/S)}{\partial T_{H_2}}$  резко уменьшается, а начиная с

$T=22,1 \text{ К}$  – увеличивается.

Дополнив (1)-(4)выражением

$$\frac{dm}{dt} = -Q, \quad (5)$$

получим систему уравнений для определения параметров истечения водорода из СХВ

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{H_2}(T_{H_2}) = 0,0059 \cdot T_{H_2}^2 - 0,2235 \cdot T_{H_2} + 2,1909; \\ \rho_{H_2}(T_{H_2}) = 10^{\left( \begin{array}{l} 0,296 \cdot 10^{-4} \cdot T_{H_2}^4 - 0,0023624 \cdot T_{H_2}^3 + \\ + 0,064 \cdot T_{H_2}^2 - 0,5474 \cdot T_{H_2} - 0,38097 \end{array} \right)}; \\ Q_{ДКИ} = S\mu \left[ P_{H_2} \rho_{H_2} \left( \frac{2k}{k-1} \right) \cdot \left( \frac{P_a}{P_{H_2}} \right)^{2/k} \left( 1 - \left( \frac{P_a}{P_{H_2}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]^{0,5}; \\ Q_{ПИКИ} = S\mu \left[ P_{H_2} \rho_{H_2} k \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right]^{0,5}; \\ \frac{dm}{dt} = -Q. \end{array} \right. \quad (6)$$

На рис. 3 приведена графическая интерпретация системы уравнений (6).

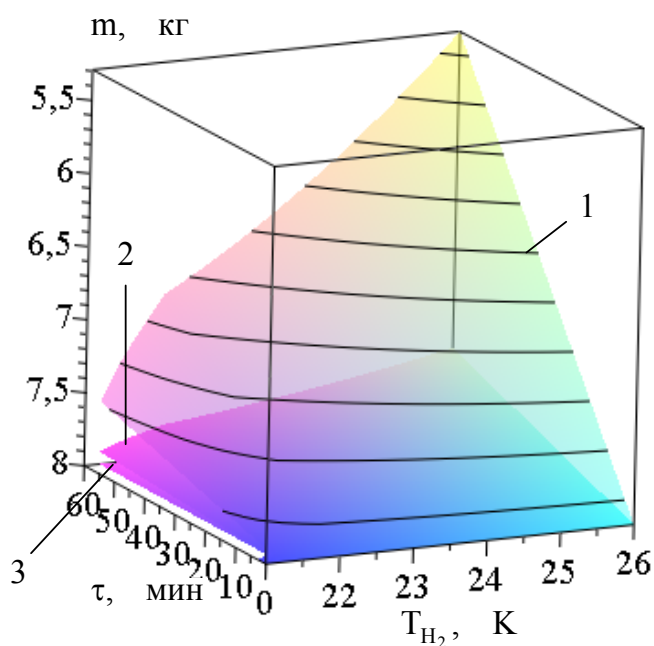


Рис. 3 – Зависимость остаточной массы водорода в баллоне при истечении через отверстие площадью: 1 – 1 мм<sup>2</sup>; 2 – 0,2 мм<sup>2</sup>; 3 – 100 мкм<sup>2</sup>

Из рисунка следует, что увеличение площади отверстия и температуры приводит к существенному увеличению количества выделившегося водорода. Так, например, увеличение температуры с 21,1 К до 26 К приводит к интенсификации процесса истечения водорода в 5 раз.

**Выводы.** В результате проведенной работы определена зависимость массового расхода водорода через отверстие от его площади и температуры водорода. Получена зависимость остаточной массы водорода в баллоне во времени при его истечении через отверстие. Полученные результаты в дальнейшем планируется использовать при оценке возможности образования горючей среды в замкнутом пространстве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузык Б.Н. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец; Авт. предисл. С.М. Миронов – М.: Институт экономических стратегий, 2007. – 400 с.
2. Высокие технологии, водородная энергетика, платиновые металлы. Сборник документов и материалов традиционного

Ключка Ю.П., Кривцова В.И.

- "круглого стола", посвященного Дню космонавтики. МИРЭА, АСМИ, 2005. – 288 с.
3. Ключка Ю.П. Особенности использования водорода на автомобильном транспорте / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – № 26. – С. 49–61.
  4. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортировка, применение: Справочное издание / Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Н.Ф. Дубовнин и др.: под ред. Д.Ю. Гамбурга, И.Ф. Дубовнина, - М.:Химия, 1989. – 672 с.
  5. Ключка Ю.П. Определение характеристик истечения газообразного водорода из баллона / Ю.П. Ключка, В.И. Кривцова, В.Г. Борисенко// Проблемы пожарной безопасности. – 2011. – № 29. – С. 84–89.
  6. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий / [И.А. Болодьян, Ю.Н. Шебеко, В.Л. Карпов, В.И. Макеев и др.]. – М.: Федеральное государственное учреждение «Всероссийский ордена "Знак почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны», 2006. – 97 с.
  7. Ключка Ю.П. Определение характеристик водорода в баке автомобиля при температурах 20 – 32 К / Ю.П. Ключка // Автомобильный транспорт: збірник наукових праць. - Харків : ХНАДУ. - 2011. - Вип. 28. - С. 32–36.

Ключка Ю.П., Кривцова В.И.

**Визначення характеристик витікання водню з криогенної системи зберігання**

В результаті проведеної роботи визначено залежність масової витрати водню через отвір від його площі і температури водню. Отримано залежність залишкової маси водню в балоні в часі при його витіканні через отвір.

**Ключові слова:** водень, балон, масова витрата

Kluchka Yu. P., Krivtsova V.I.

**Determination of the expiration of the cryogenic hydrogen storage system**

As a result of the work determined the dependence of the mass flow of hydrogen through the hole of the size and temperature of hydrogen. The dependence of the residual mass of hydrogen in the tank at the time when the end through the hole.

**Key words:** the hydrogen tank, the discharge mass flow rate

УДК 351.861

*Мищенко И.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ,  
Чернобай Г.А., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Рассматривается задача определения показателей надежности элементов конструкций с использованием нелинейной модели накопления повреждений с целью предотвращения аварийных ситуаций на объектах повышенной опасности

**Ключевые слова:** надежность, накопление повреждений, усталость, нелинейная модель

**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.

Наиболее распространенной моделью накопления повреждений является теория линейного суммирования повреждений Пальмгрена-Майнера. Для использования данной модели необходимо принять и обосновать ряд допущений (неучет полной картины циклов нагружения, игнорирование эффектов взаимодействия циклов нагружения с малой и большой амплитудами и влияния накопленного повреждения на дальнейший процесс его накопления), которые упрощают реальную картину. Однако более точные результаты по сравнению с линейной моделью дают использование гипотезы автомодельности и нелинейной модели накопления повреждений, что в полной мере относится и к объектам повышенной опасности.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Кинетические уравнения, описывающие скорость накопления повреждений, классифицируются в зависимости от модели, заложенной в них: линейной, нелинейной, а также отражающей принцип автомодельности накопления повреждений [1]. Рассмотрение меры повреждения как компоненты марковского процесса (особенно в по-

следние 30-40 лет получила распространение идея рассмотрения математического аппарата марковских процессов [2] для описания постепенного разрушения элементов конструкций) позволяет использовать аппарат марковских процессов при решении задачи надежности для элементов конструкций при циклическом нагружении [3]. Общая постановка задачи надежности с учетом внешнего случайного воздействия приводится в работе [4]. Вышесказанное позволяет использовать указанный подход при решении задачи надежности объектов повышенной опасности для различных физических моделей отказов.

**Постановка задачи и ее решение.** Рассматривается задача определения показателей надежности – вероятности безотказной работы, плотности отказов и среднего времени до разрушения – элементов конструкций при внешнем случайном воздействии. Несмотря на несоответствие реальным процессам накопления повреждений, линейная гипотеза является наиболее часто используемой в практических расчетах. Гипотеза автомодельности описывает уже нелинейный процесс накопления повреждений и позволяет согласовать с протеканием реальных процессов (например, усталость) их математическое описание. Логичным является дальнейший переход к нелинейному закону суммирования повреждений, когда история нагружения становится существенным фактором, влияющим на вероятностные оценки ресурса [1]

$$dz/dt = F[\lambda, z]. \quad (1)$$

В основе уравнений типа (1) лежат различные нелинейные модели накопления повреждений: Кортена-Долана, Фрейденталя, Серенсена-Козлова, Болотина, Райхера. В.В. Болотиным было предложено следующее уравнение, описывающее накопление усталостных повреждений [1]

$$dz/dt = [\rho(\lambda)/N(\lambda)] z^{[\rho(\lambda)-1]/\rho(\lambda)}, \quad (2)$$

где  $\rho(\lambda)$  - невозрастающая функция амплитуды напряжений  $\lambda$ ,  $\rho(\lambda) \geq 1$ . Важное значение при оценке живучести конструкций приобретает анализ и обоснование сопротивления неупругим (упруго-пластическим) деформациям. При таких условиях деформи-

рования образование предельных состояний по возникновению трещин или по окончательному разрушению оказывается возможным при числе циклов нагружения, измеряемых сотнями и тысячами. В этом случае расчет циклической несущей способности конструкций основывается на деформационных критериях сопротивления малоциклового разрушению. Для случая циклического деформирования кинетические уравнения деформационного типа можно строить по аналогии с силовыми уравнениями

$$dz/dt = F[\varepsilon, z]. \quad (3)$$

Однозначным недостатком нелинейных гипотез является как необходимость определения большого числа констант и сложность расчетных формул, так и статистический разброс прочностных свойств материала, используемого при изготовлении конструктивных элементов, что при расчете долговечности усложняет попытку получить более точные результаты.

Рассмотрение процесса накопления повреждений как компоненты двумерного марковского [3,4] позволяет использовать математический аппарат теории марковских процессов. Для получения плотности вероятности  $f(z, \lambda, t)$  решают уравнение Фоккера-Планка Колмогорова (ФПК)

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial \lambda} [A_1(\lambda)f] - \frac{\partial}{\partial z} [A_2(\lambda, z)f] + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} [B(\lambda)f] \quad (4)$$

с соответствующими граничными и начальными условиями. Для решения уравнения ФПК (4) вводится функция  $\theta(\lambda, \omega, t)$ , представляющая характеристическую функцию по переменной  $z$  и плотность вероятности по переменной  $\lambda$

$$\theta(\lambda, \omega, t) = \int_0^{\infty} f(\lambda, z, t) e^{i\omega z} dz. \quad (5)$$

Исходя из свойств плотности вероятности и соотношения (5), одномерная характеристическая функция переменной  $z$  будет равна

$$\theta(\omega, t) = \int_0^{\infty} \theta(\lambda, \omega, t) d\lambda = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f(\lambda, z, t) e^{i\omega z} dz d\lambda. \quad (6)$$

В соответствии с формулой (5) из уравнения ФПК (4) с тремя независимыми переменными получим уравнение для  $\theta(\lambda, \omega, t)$  с двумя независимыми переменными  $\lambda$  и  $t$  путем его умножения на  $e^{i\omega z}$  и интегрирования по переменной  $z$  в пределах  $[0, \infty]$ .

Рассмотренный вариант метода характеристических функций обладает тем недостатком, что в предложенном виде применим только для уравнений, описывающих линейное правило суммирования повреждений, т.е. при независимости  $A_2(\lambda)$  от меры повреждений. При использовании нелинейных уравнений вида (1) и (2) уравнение для функции  $\theta(\lambda, \omega, t)$  запишется в виде

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial \lambda} [A_1(\lambda) \theta] + i\omega \int_0^{\infty} A_2(\lambda, z) f(\lambda, z, t) e^{i\omega z} dz + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} [B(\lambda) \theta] \quad (7)$$

Используя представление функции  $\theta(\lambda, \omega, t)$  в виде ряда, получаем замкнутую систему обыкновенных дифференциальных уравнений относительно неизвестных коэффициентов этого ряда, после определения которых можно получить выражение для плотности вероятности меры повреждения  $f(z, t)$ . Далее определяются все основные показатели надежности для кумулятивных моделей накопления повреждений вероятность безотказной работы, плотность вероятности отказов, среднее время и дисперсию времени до разрушения

**Выводы.** В элементах конструкций происходит накопление усталостных повреждений, что может привести к его разрушению и отказу. В работе предложен подход, учитывающий нелинейность процесса накопления повреждений. Использование моделей отказов различной физической природы, применение математического аппарата теории марковских процессов позволяет решать задачи надежности элементов конструкций объектов повышенной опасности.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций / В.В.Болотин-М.: Машиностроение, 1990.-448 с.
2. Тихонов В.И. Марковские процессы / В.И.Тихонов, М.А.Миронов.-М.: Сов. радио, 1977.-488 с.
3. Жовдак В.А. Прогнозирование надежности элементов конструкций с учетом технологических и эксплуатационных факторов / В.А.Жовдак, И.В.Мищенко-Харьков: ХГПУ, 1999.-120 с.
4. Мищенко И.В. Постановка задачи надежности при транспортировке опасных грузов с учетом внешнего случайного кинематического воздействия / И.В.Мищенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 5. – Харків: Фоліо, 2006.-С. 150-155.

Мищенко І.В., Чернобай Г.О.

**Вирішення задачі надійності об'єктів підвищеної небезпеки з використанням нелінійної моделі накопичення пошкоджень**

Розглядається задача визначення показників надійності елементів конструкцій з використанням нелінійної моделі накопичення пошкоджень з метою запобігання аварійних ситуацій на об'єктах підвищеної небезпеки

**Ключові слова:** надійність, накопичення пошкоджень, втомленість, нелінійна модель

Mishchenko I.V., Chernobay G.A.

**Reliability problem decision for higher danger objects using the non-linear model of the damage accumulation**

The structural elements reliability characteristics calculation problem using the non-linear model of the damage accumulation is investigated to prevent the emergency situations on the higher danger objects

**Key words:** reliability, damage accumulation, fatigue, non-linear model



*Неклонський І.М., ст. викл., НУЦЗУ,  
Слізаров О.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ*

## **ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ ПІДРОЗДІЛІВ МНС УКРАЇНИ ТА МВС УКРАЇНИ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

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

За допомогою таксономічних методів одержано формальний критерій для порівняння варіантів організації взаємодії двох організаційних систем, які беруть участь у ліквідації надзвичайних ситуацій

**Ключові слова:** взаємодія, структурно-функціональний аналіз, таксономічні моделі, ефективність взаємодії, варіант організації взаємодії

**Постановка проблеми.** Формування сучасної нормативно-правової бази, що дозволяє ефективно реагувати на надзвичайні ситуації (НС), є пріоритетним напрямом в області безпеки життєдіяльності. Однак слід зазначити, що на сьогоднішній день нормативно-правова база не повною мірою відповідає потребам практичної діяльності органів виконавчої влади, задіяних у сфері захисту населення і територій від НС. Відсутня системність у правовому регулюванні питань взаємодії функціональних підсистем в рамках Єдиної державної системи цивільного захисту в цілому і підрозділів МВС України та МНС України, зокрема. З огляду на те, що МНС України (МНС) та внутрішні війська МВС України (ВВ МВС) входять в склад військового командування, якому разом з органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування, надається право здійснювати заходи правового режиму надзвичайного стану, в тому числі і при виникненні особливо тяжких НС техногенного та природного характеру [1], стає актуальним питання удосконалення організаційного забезпечення взаємодії двох структур.

Розроблені з цією метою нормативно-правові акти дебільше регламентують питання взаємодії, які обумовлені відомчими інтересами. Об'єктивно оцінити ефективність взаємодії підрозділів ВВ МВС та МНС не можна у зв'язку з невизначеністю критеріїв оці-

нювання. Таким чином, для порівняння варіантів організації взаємодії підрозділів МНС та ВВ МВС необхідно ввести відповідні формальні критерії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [2-4] визначено показники подібності структурних елементів та показники повноти організації взаємодії двох систем (МНС та ВВ МВС) та розкритий їх фізичний зміст, що дозволяє спрощувати структурно-функціональний аналіз та визначати пріоритетні (найбільш важливі) напрямки взаємодії. Під час розгляду методологічних засад розробки механізму взаємодії між підрозділами ВВ МВС та МНС в роботі [5] обґрунтовано необхідність введення загального показника ступеня раціональності варіантів організації взаємодії двох організаційних систем. Найбільш придатними для розробки критерію визначення ступеня раціональності варіантів організації взаємодії розглядаються модифіковані таксономічні математичні моделі.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для оцінки ефективності варіантів організації взаємодії підрозділів МНС та ВВ МВС пропонується систематизувати всю сукупність показників організації взаємодії та визначити фізичний зміст показника раціональності варіантів організації взаємодії.

Метою взаємодії двох організаційних систем (МНС та ВВ МВС) є підвищення ефективності дій кожного з них. Організація та здійснення взаємодії між структурно-функціональними елементами різних суб'єктів взаємодії доцільна, якщо при цьому гарантується системний (емерджентний) ефект, тобто збільшення ефективності виконання ними своїх завдань. Таким чином, ефективність взаємодії двох суб'єктів є дуальною – вона характеризує збільшення ефективності як першого так і другого суб'єкта за рахунок їх взаємодії.

Оцінку ефективності варіантів організації взаємодії, доцільно проводити за завданнями суб'єктів взаємодії та за напрямками взаємодії, під якими розуміються ті парні сполучення завдань суб'єктів взаємодії, які можуть виконуватися незалежно або потребують цілком певної форми взаємодії [6, 7, 8].

Нехай для двох суб'єктів взаємодії (МНС –  $ОС_1$ , ВВ МВС –  $ОС_2$ ) визначено:

$Z_i^{(1)}$ ,  $i \in I$  – структурно-функціональний базис  $i$ -го завдання  $ОС_1$ ;

$A_i^{(1)} = (a_{iu}^{(1)})$ ,  $i \in I$ ,  $u \in R$  – кількість структурних елементів ОС<sub>1</sub> що призначені для виконання завдання і згідно структурному базису  $S^{(1)}$ ;

$Z_j^{(2)}$ ,  $j \in J$  – структурно-функціональний базис  $j$ -го завдання ОС<sub>2</sub>;

$A_j^{(2)} = (a_{ju}^{(2)})$ ,  $j \in J$ ,  $u \in R$  – кількість структурних елементів ОС<sub>2</sub>, що призначені для виконання завдання і згідно структурному базису  $S^{(2)}$ ;

$W^s$  – структурний базис взаємодії;

$W^f$  – функціональний базис взаємодії.

Структурно-функціональні базиси завдань  $Z^{(1)}$ ,  $Z^{(2)}$  організаційних систем ОС<sub>1</sub> і ОС<sub>2</sub>, структурний  $W^s$  та функціональний  $W^f$  базиси їх взаємодії разом із розподілом структурних елементів за завданнями  $A^{(1)}$ ,  $A^{(2)}$  об'єднаємо у множину  $V = \{Z^{(1)}, Z^{(2)}, A^{(1)}, A^{(2)}, W^s, W^f\}$ . Ця множина однозначно визначає сукупність напрямків взаємодії які повинні бути відпрацьовані, тобто варіант організації взаємодії.

Кожен варіант організації взаємодії характеризується досить великою кількістю показників, таких як:

$e_i^{(1)}(V)$ ,  $i \in I$  – ефективність самостійного виконання завдання  $i$  ОС<sub>1</sub>;

$e_j^{(2)}(V)$ ,  $j \in J$  – ефективність самостійного виконання завдання  $j$  ОС<sub>2</sub>;

$\Delta_{ij}^{(1)}(V)$ ,  $i \in I$ ,  $j \in J$  – показник збільшення ефективності виконання завдання  $i$  ОС<sub>1</sub> в результаті її взаємодії з ОС<sub>2</sub>, що виконує завдання  $j$ .

$\Delta_{ij}^{(2)}(V)$ ,  $i \in I$ ,  $j \in J$  – показник збільшення ефективності виконання завдання  $j$  ОС<sub>2</sub> в результаті її взаємодії з ОС<sub>1</sub>, що виконує завдання  $i$ .

$\Delta_i^{(1)}(V) = \sum_{j=1}^n \Delta_{ij}^{(1)}(V)$  – загальний показник збільшення ефективності виконання завдання  $i$  ОС<sub>1</sub> в результаті її взаємодії з ОС<sub>2</sub>;

$\Delta_j^{(2)}(V) = \sum_{i=1}^m \Delta_{ij}^{(2)}(V)$  – загальний показник збільшення ефективності виконання завдання  $j$  ОС<sub>2</sub> в результаті її взаємодії з ОС<sub>1</sub>;

$E_i^{(1)}(V) = e_i^{(1)}(V) + \Delta_i^{(1)}(V)$  – ефективність виконання завдання  $i$  ОС<sub>1</sub> при взаємодії з ОС<sub>2</sub>;

$E_j^{(2)}(V) = e_j^{(2)}(V) + \Delta_j^{(2)}(V)$  – ефективність виконання завдання  $j$  ОС<sub>2</sub> при взаємодії з ОС<sub>1</sub>;

$e_{ij}^{(1)}(V) = e_i^{(1)}(V) + \Delta_{ij}^{(1)}(V)$  – ефективність виконання завдання  $i$  ОС<sub>1</sub> при взаємодії з ОС<sub>2</sub>, що виконує завдання  $j$ ;

$e_{ij}^{(2)}(V) = e_j^{(2)}(V) + \Delta_{ij}^{(2)}(V)$  – ефективність виконання завдання  $j$  ОС<sub>2</sub> при взаємодії з ОС<sub>1</sub>, що виконує завдання  $i$ ;

$k1_{i_1, i_2}^s(V)$  – коефіцієнт структурної подібності завдань ОС<sub>1</sub>;

$k2_{j_1, j_2}^s(V)$  – коефіцієнт структурної подібності завдань ОС<sub>2</sub>;

$k_{ij}^s(V)$  – коефіцієнт структурної подібності завдань ОС<sub>1</sub>, ОС<sub>2</sub>;

$k1_{i_1, i_2}^f(V)$  – коефіцієнт функціональної подібності завдань ОС<sub>1</sub>;

$k2_{j_1, j_2}^f(V)$  – коефіцієнт функціональної подібності завдань ОС<sub>2</sub>;

$k_{ij}^f(V)$  – коефіцієнт функціональної подібності завдань ОС<sub>1</sub>, ОС<sub>2</sub>;

$k1_{i_1 i_2}^{sf}(V)$  – коефіцієнт структурно-функціональної подібності завдань  $i_1$  та  $i_2$  ОС<sub>1</sub>;

$k2_{i_1 j_2}^{sf}(V)$  – коефіцієнт структурно-функціональної подібності завдань  $j_1$  та  $j_2$  ОС<sub>2</sub>;

$k_{ij}^{sf}(V)$  – коефіцієнт структурно-функціональної подібності завдань  $i$  та  $j$  ОС<sub>2</sub>.

$C_{ij}(V)$  – кількість напрямків структурно-функціональної взаємодії, реалізація яких потрібна при виконанні  $i$ -го завдання ОС<sub>1</sub> та  $j$ -го завдання ОС<sub>2</sub>;

$p_{ij}(V)$  – часткові показники повноти організації взаємодії при виконанні різних завдань ОС<sub>1</sub> та ОС<sub>2</sub>;

$P(V)$  – показник повноти організації взаємодії.

Велика кількість різноманітних показників, що мають різну розмірність, різний вплив на кінцевий результат застосування і взаємодії організаційних систем, значно ускладнює конструювання одного, загального показника ступеня раціональності варіантів організації взаємодії двох організаційних систем. Тому всю сукуп-

ність показників організації взаємодії, що перераховані вище, доцільно поділити на три групи. Першу групу складають показники ефективності, другу – показники подібності завдань, що виконуються суб'єктами взаємодії, третю – часткові і загальний показники повноти організації взаємодії.

При цьому кожна із цих трьох груп також може бути поділена на дві підгрупи, що об'єднують часткові та загальні показники.

При збільшенні значення кожного з показників першої групи (показників ефективності) ступінь досягнення мети своїх дій кожним суб'єктом взаємодії збільшується. Тому ці показники будемо відносити до *стимуляторів*.

До другої групи показників відносяться показники подібності завдань, що виконуються організаційними системами.

Загалом великі значення показників подібності завдань не сприяють збільшенню ефективності виконання завдань організаційними системами. Велика структурно-функціональна подібність завдань – це ознака недосконалості організації. Таким чином, чим менша подібність завдань різних організаційних систем, тим більш досконала їх організація, що зменшує необхідність взаємодії, організація якої вимагає часто значних сил і займає багато часу. Тому ці показники відносяться до групи показників – *дестимуляторів*.

Більш складний вплив на ефективність організації взаємодії мають показники третьої групи (показники повноти організації взаємодії).

Дійсно, велика кількість напрямків, які за результатами структурно-функціонального аналізу є пріоритетними, не є позитивним явищем, а, скоріше всього, свідчать про недосконалість варіанту організації взаємодії. Тому цей показник, скоріше всього потрібно віднести до дестабілізуючих.

Разом з тим, якщо пріоритетні напрямки взаємодії визначені правильно, то показник повноти організації взаємодії є індикатором ефективної роботи її організаторів. Це означає, що показники повноти організації взаємодії є стабілізуючими.

Що ж стосується того, які показники є частковими, а які більш загальними, то очевидно, що ядро загальних показників складають структурно-функціональні показники, тобто:

Стимулятори:

$$e_{ij}^{(1)}(V) = e_i^{(1)}(V) + \Delta_{ij}^{(1)}(V) - \text{ефективність виконання завдання } i$$

ОС<sub>1</sub> при взаємодії з ОС<sub>2</sub>, що виконує завдання *j*;

$e_{ij}^{(2)}(V) = e_j^{(2)}(V) + \Delta_{ij}^{(2)}(V)$  – ефективність виконання завдання  $j$  ОС<sub>2</sub> при взаємодії з ОС<sub>1</sub>, що виконує завдання  $i$ ;

Дестимулятори:

$k1_{i_1 i_2}^{sf}(V)$  – коефіцієнт структурно-функціональної подібності завдань  $i_1$  та  $i_2$  ОС<sub>1</sub>;

$k2_{j_1 j_2}^{sf}(V)$  – коефіцієнт структурно-функціональної подібності завдань  $j_1$  та  $j_2$  ОС<sub>2</sub>;

$k_{ij}^{sf}(V)$  – коефіцієнт структурно-функціональної подібності завдань  $i$  та  $j$  ОС<sub>2</sub>.

Показник раціональності варіантів організації взаємодії організаційних систем пропонується за допомогою таксономічних методів. [9,10] Найбільш придатними для розробки критерію визначення ступеня раціональності варіантів організації взаємодії організаційних систем є модифіковані таксономічні математичні моделі. [11]

Нехай визначено  $d$  варіантів організації взаємодії ОС<sub>1</sub> з ОС<sub>2</sub>

$V_q = \{Z_q^{(1)}, Z_q^{(2)}, A_q^{(1)}, A_q^{(2)}, W_q^s, W_q^f\}$ ,  $q=1,2,\dots,d$ , і для кожного варіанту розраховані значення стимулюючих та дестимулюючих показників організації взаємодії:

- показники ефективності виконання завдань ОС<sub>1</sub> при взаємодії з ОС<sub>2</sub> (стимулятори)  $e_{ijq}^{(1)}(V_q) = e_i^{(1)}(V_q) + \Delta_{ij}^{(1)}(V_q) = x_{ijq}^{(1)}$ ,  $i \in I, j \in J$ ,  $q=1,2,\dots,d$ ;

- показники ефективності виконання завдань ОС<sub>2</sub> при взаємодії з ОС<sub>1</sub> (стимулятори)  $e_{ijq}^{(2)}(V_q) = e_j^{(2)}(V_q) + \Delta_{ij}^{(2)}(V_q) = x_{ijq}^{(2)}$ ,  $i \in I, j \in J$ ,  $q=1,2,\dots,d$ ;

- показники структурно-функціональної подібності завдань ОС<sub>1</sub> і ОС<sub>2</sub> (дестимулятори)  $k_{ij}^{sf}(V_q) = x_{ijq}^{(3)}$ ,  $i=1,2,\dots,m$ ;  $j=1,2,\dots,n$ ;  $q=1,2,\dots,d$ ;

- показники структурно-функціональної подібності завдань ОС<sub>1</sub> (дестимулятори)  $k_{i_1 i_2}^{sf}(V_q) = x_{i_1 i_2 q}^{(4)}$ ,  $i_1=1,2,\dots,m$ ;  $i_2=1,2,\dots,m$ ;  $q=1,2,\dots,d$ ;

- показники структурно-функціональної подібності завдань ОС<sub>2</sub> (дестимулятори)  $k_{j_1 j_2}^{sf}(V_q) = x_{j_1 j_2 q}^{(5)}$ ,  $j_1=1,2,\dots,n$ ;  $j_2=1,2,\dots,n$ ;  $q=1,2,\dots,d$ .

Здійснимо еквівалентне перетворення (нормування) вихідних даних шляхом ділення відхилення цієї величини від серед-

нього значення на величину середньоквадратичного відхилення за такими формулами

$$\begin{aligned}
 m_{ij}^{(u)} &= \frac{1}{d} \sum_{q=1}^d x_{ijq}^{(u)}, \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n; u=1,2,3; \\
 m_{i_1 i_2}^{(4)} &= \frac{1}{d} \sum_{q=1}^d x_{i_1 i_2 q}^{(4)}, \quad i_1=1,2,\dots,m; i_2=1,2,\dots,m; \\
 m_{j_1 j_2}^{(5)} &= \frac{1}{d} \sum_{q=1}^d x_{j_1 j_2 q}^{(5)}, \quad j_1=1,2,\dots,n; j_2=1,2,\dots,n; \\
 \sigma_{ij}^{(u)} &= \sqrt{\frac{1}{d} \sum_{q=1}^d (x_{ijq}^{(u)} - m_{ij}^{(u)})^2}, \quad u=1,2,3; \quad \sigma_{i_1 i_2}^{(4)} = \sqrt{\frac{1}{d} \sum_{q=1}^d (x_{i_1 i_2 q}^{(4)} - m_{i_1 i_2}^{(4)})^2}; \\
 \sigma_{j_1 j_2}^{(5)} &= \sqrt{\frac{1}{d} \sum_{q=1}^d (x_{j_1 j_2 q}^{(5)} - m_{j_1 j_2}^{(5)})^2}, \\
 z_{ijq}^{(u)} &= \frac{x_{ijq}^{(u)} - m_{ij}^{(u)}}{\sigma_{ij}^{(u)}}, \quad z_{i_1 i_2 q}^{(4)} = \frac{x_{i_1 i_2 q}^{(4)} - m_{i_1 i_2}^{(4)}}{\sigma_{i_1 i_2}^{(4)}}, \quad z_{j_1 j_2 q}^{(5)} = \frac{x_{j_1 j_2 q}^{(5)} - m_{j_1 j_2}^{(5)}}{\sigma_{j_1 j_2}^{(5)}}.
 \end{aligned}$$

В результаті нормування одержимо безрозмірні рівно важливі значення показників, що аналізуються, які представляються в багатовимірному (в залежності від їх кількості) просторі певною сукупністю точок.

У цьому ж просторі відшукаємо так названу “ідеальну” точку, яка характеризує такі значення аналізованих показників, які є бажаними з точки зору їхнього впливу на якість організації взаємодії

$$z_{0ij}^{(u)} = \begin{cases} \max_q z_{ijq}^{(u)}, & u = 1, 2; \\ \min_q z_{ijq}^{(u)}, & u = 3; \end{cases} \quad z_{0i_1 i_2}^{(4)} = \min_q z_{i_1 i_2 q}^{(4)}; \quad z_{0j_1 j_2}^{(5)} = \min_q z_{j_1 j_2 q}^{(5)}.$$

Надалі розрахуємо евклідову відстань кожної з точок до визначеної ідеальної точки і сформуємо таксономічний показник раціональності варіантів організації взаємодії організаційних систем

$$c_{q0} = \sum_{u=1}^3 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (z_{ijq}^{(u)} - z_{0ij}^{(u)})^2 + \sum_{i_1=1}^m \sum_{i_2=1}^m (z_{i_1 i_2 q}^{(4)} - z_{0i_1 i_2}^{(4)})^2 + \sum_{j_1=1}^n \sum_{j_2=1}^n (z_{j_1 j_2 q}^{(5)} - z_{0j_1 j_2}^{(5)})^2,$$

$$\bar{c}_0 = \frac{1}{d} \sum_{q=1}^d c_{q0}, \sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{d} \sum_{q=1}^d (c_{q0} - \bar{c}_0)^2}, c_0 = \bar{c}_0 + 3\sigma_0, d_q = 1 - \frac{c_{q0}}{c_0}.$$

Найбільш раціональним є той варіант організації взаємодії  $q^*$ , який має найбільше значення таксономічного показника, тобто:  $q^* = \arg \max_q (d_q)$ .

Таким чином, одержано формальний критерій для порівняння варіантів організації взаємодії організаційних систем. Надалі цей критерій буде покладено в основу методики порівняльного аналізу варіантів організації взаємодії організаційних систем за допомогою таксономічних методів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про правовий режим надзвичайного стану: закон України станом на 16 березня 2000 р. / Верховна рада України. – Офіц. вид. – К: Офіційний вісник України., 2000.- № 15 - С. 7. - (Бібліотека офіційних видань).
2. 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. – 2009. - Вип. 10. – С. 84 – 90.
3. Побережний А.А. Методика визначення пріоритетних напрямів взаємодії між частинами (підрозділами) внутрішніх військ МВС України та формуваннями сил цивільного захисту МНС України у разі виникнення надзвичайних ситуацій / Побережний А.А., Неклонський І.М. // Честь і закон. – 2009. – № 4. – С. 61 – 67.
4. Кириченко І. О. Підбір вихідних даних для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями сил цивільного захисту МНС України та підрозділами внутрішніх військ МВС України у разі виникнення надзвичайних ситуацій / Кириченко І.О., Неклонський І.М. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – 2011. - Вип. 13 – С. 77 – 84.



5. Кириченко І. О. Методологічні засади розробки механізму взаємодії між рятувальними формуваннями сил цивільного захисту МНС України та підрозділами внутрішніх військ МВС України при виникненні надзвичайних ситуацій. / Кириченко І.О., Неклонський І.М. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. –2011. - Вип. 14.– С. 84 - 97.
6. Кириченко І.О. Аксиоматичні основи теорії взаємодії службово-бойових систем. / Кириченко І.О., Аллеров Ю.В., Тробюк В.І., Урсакий Ю.Ф. // Честь і закон. – 2006. – № 1. – С. 9 – 17.
7. Кириченко І.О. Сутність, закономірності та принципи взаємодії військ (сил) / І.О. Кириченко, М.М. Литвин, Ю.В. Аллеров // Честь і закон. – 2003. – № 4. – С. 9–16.
8. Кириченко І.О. Варіант побудови загальної структурно-функціональної моделі організації взаємодії підрозділів аварійно-рятувальних служб / Кириченко І.О., Неклонський І.М.// Організаційно-управлінські, економічні та нормативно-правові аспекти забезпечення діяльності органів управління та підрозділів МНС України: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Черкаси, 2009. – С.112 - 113.
9. Загорка О.М. Елементи дослідження складних систем військового призначення. / Загорка О.М., Мосов С.П., Сбитнев А.І., Стужук П.І. – К.: НАОУ, 2005. – 124 с.
10. Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в эконометрическом моделировании. / Плюта В – М.: Финансы и статистика, 1989. – 176 с.
11. Городнов В.П.. Высшая математика (в популярном изложении): Учеб. пособие для студентов экон. специальностей / Городнов В. П. // Нар. укр. акад. [Каф. математики и мат. моделирования]. – Х.: НУА, 2004. – 384 с.

Неклонский И.М., Елизаров А.В.

**Определение критерия оценки эффективности организации взаимодействия подразделений МЧС Украины и МВД Украины при ликвидации чрезвычайных ситуаций**

С помощью таксономических методов получено формальный критерий для сравнения вариантов организации взаимодействия двух организационных систем, участвующих в ликвидации чрезвычайных ситуаций

**Ключевые слова:** взаимодействие, структурно-функциональный анализ, таксономические модели, эффективность взаимодействия, вариант организации взаимодействия

Neklonsky I.M., Elizarov A.V.

**Determination of criteria for evaluating the effectiveness of interaction units of the Ministry of Emergencies of Ukraine and the Ministry of Internal Affairs of Ukraine in liquidation of emergency situations**

Using taxonomic methods obtained a formal criterion for the comparison of variants of interaction of the two organizational systems involved in emergency response

**Key words:** interaction, structural and functional analysis of, taxonomic model, efficiency of interaction, version of interaction

**УДК 504.5:665.6**

*Неронов А.А., нач. отделения, НУГЗУ,  
Чуб И.А., канд. техн. наук, нач. лаб., НУГЗУ*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ЛОКАЛИЗАЦИИ  
И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

Определяется зависимость площади зоны загрязнения земной поверхности и величины потерь на фильтрацию в грунт и испарение при аварийном разливе нефти в зависимости от времени локализации и ликвидации

**Ключевые слова:** аварийный разлив нефти, потери нефти на фильтрацию в грунт и испарение, время локализации, ликвидации

**Постановка проблемы.** Использование современных технологий транспортировки нефти или нефтепродуктов и строгое соблюдение требований безопасности не гарантируют отсутствие чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с аварийными разливами. Успешной ликвидации таких ЧС препятствует недостаточная разработка эффективных методов оценки параметров ЧС и расчета необходимых сил и средств. Решение указанных проблем возможно на основе применения математического моделирования и современных информационных технологий. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на разработку математических моделей зоны загрязнения с учетом геоклиматических особенностей местности, а также моделирование площади загрязне-

Неронов А.А., Чуб И.А.

ния и потерь нефти в зависимости от времени локализации и ликвидации аварийных разливов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известен ряд публикаций [1, 2], в которых рассматриваются различные вопросы анализа и моделирования ЧС с аварийными разливами нефти (АРН), а также подходы к построению систем поддержки принятия решений для их локализации и ликвидации с использованием ГИС [3, 4]. Недостатками указанных подходов является общий характер рекомендаций, не учитывающих особенности формирования и динамики нефтяного пятна в зависимости от времени локализации аварии, а также зависимость потерь нефти и уровня экологического ущерба от времени ликвидации последствий АРН, влияющих на принятие решений по организации аварийно-восстановительных работ.

**Постановка задачи и ее решение.** В соответствии с вышесказанным, *целью статьи* является моделирование зоны загрязнения земной поверхности и величины потерь при АРН в зависимости от времени локализации и ликвидации. Границы аварийного разлива находятся с учетом процессов фильтрации нефти в грунт и испарения в атмосферу. Для упрощения анализа рассматривается случай истечения нефти на горизонтальный участок, однако результаты моделирования справедливы и для областей с рельефом.

Пусть на производственном объекте произошла авария, связанная с частичным разрушением нефтепровода (прокол), сопровождающаяся непрерывным истечением нефти на сушу и возникновением области загрязнения, размеры и форма которой определяются площадью отверстия, параметрами перекачки, метеорологическими условиями в зоне аварии и характеристиками подстилающей поверхности. Способы определения объемов истечения нефти из аварийного трубопровода при различных режимах были проанализированы в [5, 6]

Необходимо определить размеры зоны загрязнения и суммарные потери нефти на фильтрацию в грунт и испарение легких фракций в атмосферу в зависимости от времени прибытия аварийно-восстановительной бригады, полного устранения течи и сбора разлившейся нефти.

***Определение потерь нефти на фильтрацию в грунт.*** Объем нефти  $V_f$ , которая впиталась в грунт, определяется свойствами

грунта, размерами пятна, временем фильтрации и вычисляется по формуле [7]

$$V_{\Gamma} = k_H S_{\text{РАЗЛ}} h_{\Gamma}, \quad (1)$$

где  $k_H$  – нефтеемкость грунта, %;  $h_{\Gamma}$  – средняя глубина пропитки нефтью грунта, м;  $S_{\text{РАЗЛ}}$  – площадь аварийного разлива, м<sup>2</sup>.

Глубина пропитки находится по формуле

$$h_{\Gamma} = W_{\phi} t, \quad (2)$$

где  $W_{\phi}$  – скорость фильтрации, м/с;  $t$  – время фильтрации, с. Здесь время фильтрации равно общему времени локализации и ликвидации АРН.

Для оценки величины скорости фильтрации воспользуемся линейной зависимостью Дарси [8]

$$W_{\phi} = \beta k^*. \quad (3)$$

В формуле (3) величина  $\beta = h / l$  представляет собой отношение высоты слоя нефти на поверхности грунта  $h$  к рассматриваемой толщине грунта в направлении фильтрации  $l$  ( $l=0,4$  м [7]). Коэффициент проницаемости  $k^*$  имеет вид

$$k^* = k v / \rho,$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации, м/с;  $v$  – кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с;  $\rho$  – плотность нефти.

С учетом этого выражение (3) примет вид

$$W_{\phi} = \beta k^* = \frac{h k v}{l \rho},$$

а объем нефти, впитавшейся в грунт, оценивается как

$$V_{\Gamma} = \frac{k_H h k v}{l \rho} S_{\text{РАЗЛ}} t. \quad (4)$$

Определение потерь нефти на испарение. Объем  $V_{И}$ , легких фракций нефти, испарившихся в атмосферу, может быть найден по формуле

$$V_{И} = \frac{1}{\rho} W_{И} S_{РАЗЛ} t, \quad (5)$$

где  $W_{И}$  – интенсивность испарения, кг / с м<sup>2</sup>,  $t$  – время испарения, с. Здесь время испарения равно общему времени локализации и ликвидации АРН.

Для оценки величины  $W_{И}$  в работе [7] предлагается использовать формулу

$$W_{И} = 10^{-6} \eta \sqrt{M_{П} P_{Н}}, \quad (6)$$

где  $M_{П}$  – молярная масса паров нефти, г/моль;  $P_{Н}$  – давление насыщенных паров нефти, кПа;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость ветра над поверхностью испарения.

Тогда, с учетом (6), выражение (5) примет вид

$$V_{И} = 10^{-6} \frac{\eta \sqrt{M_{П} P_{Н}}}{\rho} S_{РАЗЛ} t. \quad (7)$$

Определение функциональной зависимости площади разлива от времени разлива. При разливе нефти по горизонтальной твердой подстилающей поверхности зона загрязнения имеет форму, близкую к круговой. В [9] приведены формулы для вычисления радиуса  $R$  нефтяного пятна на момент времени  $t$  после аварии:

- при разовом истечении жидкости объемом  $V$

$$R = 3.018 K_{П} V^{0.393} \nu^{-0.116} t^{0.115}; \quad (8)$$

- при непрерывном истечении с объемным расходом  $Q$

$$R = 2.358 K_{П} Q^{0.333} \nu^{-0.155} t^{0.519}. \quad (9)$$

В формулах (8), (9) приняты следующие обозначения:  $V$  – объем разлива нефти,  $\text{м}^3$ ;  $Q$  – объемная скорость истечения нефтепродукта,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $K_{II}$  – коэффициент поверхности растекания, определяющий соотношение фактического радиуса растекания по реальной поверхности и радиуса растекания по идеальной поверхности;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости нефти,  $\text{Ст}$ ;  $t$  – время растекания нефтяного пятна, с. Здесь время растекания равно времени локализации АРН, т.е. промежутку времени с момента прорыва до ликвидации течи в трубопроводе.

**Выводы.** Таким образом, в статье определены зависимости площади зоны загрязнения земной поверхности и величины потерь на фильтрацию в грунт и на испарение при аварийном разливе нефти от времени локализации и ликвидации последствий аварии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Широков Г.В. Анализ рисков аварийных отказов магистральных трубопроводов: моделирование зон загрязнения при разливах нефти на суше / Г.В.Широков, В.И. Ларионов, Т.С. Сущев // Трубопроводный транспорт. – 2010. – №2 (18). – С. 20-24.
2. Атнабаев А.Ф. Оценка последствий аварийных разливов нефти на магистральных нефтепроводах / А.Ф. Атнабаев, С.В. Павлов и др. // Нефтегазовое дело. – 2006. – №1. – С. 239-242.
3. Бахтизин Р.Н. Использование геоинформационных технологий для повышения эффективности предупреждения и ликвидации аварий на трубопроводном транспорте / Р.Н. Бахтизин, Р.З. Нагаев // Башкирский экологический вестник. – 2003. – № 2(13). – С. 17-20.
4. Митакович С.А. Применение современных геоинформационных технологий для моделирования и прогнозирования разливов нефти / С.А. Митакович, О.А. Сфремова и др. // Компьютерные науки и информационные технологии – 2003. – № 2. – С. 13-19.
5. Чуб И.А. Количественная оценка масштабов аварийных разливов нефти при авариях на нефтепроводе / И.А. Чуб, А.А. Неронов, В.М. Попов // Збірник наукових праць ХУПС. – 2012. – Вып. 1(30). – С. 185-188.
6. Козлитин А.М. Количественный анализ риска возможных разливов нефти и нефтепродуктов / А.М. Козлитин, А.И. Попов,

- П.А. Козлитин // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска: Междунар. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 2005, С. 135-160.
7. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах / Утверждено Министерством топлива и энергетики РФ 1 ноября 1995 г. – 122 с.
  8. Рабинович Е.З. Гидравлика / Е.З. Рабинович. – М.: Физматгиз. – 1963. – 492 с.
  9. Чаусов Ю.П. Растекаемость особо опасных жидкостей на твердых поверхностях / Ю.П. Чаусов // Горючесть веществ и химические средства пожаротушения. – 1978. – Вып.4. – С. 37 – 46.

Неронов О.А., Чуб І.А.

**Моделювання впливу часу локалізації та ліквідації аварійного розливу нафти на характеристики зони забруднення**

Визначається залежність площі зони забруднення земної поверхні і величини втрат на фільтрацію в ґрунт і випаровування при аварійному розливі нафти в залежності від часу локалізації та ліквідації

**Ключові слова:** аварійний розлив нафти, втрати нафти на фільтрацію в ґрунт і випаровування, час локалізації, ліквідації

Neronov O.A., Chub I.A.

**Modeling of time and location oil spill performance areas of pollution**

Dependence of the area affected zone and the magnitude of the earth's surface seepage into the ground and evaporation during emergency oil spill, depending on the location and time of liquidation, are determined

**Key words:** emergency oil spill, oil losses through seepage and evaporation in the soil, the time localization of liquidation

УДК 351.861

*Олениченко Ю.А., ад'юнкт, НУГЗУ,  
Соболь А.Н., д-р техн. наук, нач. каф., НУГЗУ*

## **СИСТЕМА ОГРАНИЧЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ НА ПОЛИГОНАХ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

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

В статье проведен анализ современного состояния вопроса, связанного с управлением твердыми бытовыми отходами. Исследована система ограничений для последующей постановки задач предупреждения и ликвидации техногенных аварий на полигонах твердых бытовых отходов.

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, полигоны, техногенная авария

**Постановка проблемы.** Проблема накопления твердых бытовых отходов (ТБО) приобретает в Украине масштаб национальной катастрофы. Общая площадь полигонов и свалок (более 6 тыс. га) сравнима с территориями заповедников и парков, причем количество данных свалок и полигонов превышает 3600 [1]. Большинство этих объектов перегружены и не отвечают требованиям техногенной безопасности. Из-за отсутствия надлежащей системы сбора ТБО в частном секторе ежегодно образуются тысячи мелких стихийных свалок, которые не поддаются учету.

При эксплуатации многих полигонов и свалок не принимаются меры по минимизации их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека. Полигоны часто занимают большие территории, а не ограниченные по размеру, четко определенные участки, что приводит к образованию больших объемов фильтрата. Редко функционирует надлежащая система его сбора и обработки. Обычно полигоны и свалки не ограждены и не накрыты почвой. Это приводит к рассеиванию отходов ветром. Часто имеют место возгорания и проседания грунта. Системы обращения со свалочным газом отсутствуют, что обуславливает самовозгорание отдельных участков. Открытые площадки свалок являются причиной распространения грызунов и носителей инфекции.



Следует отметить, что перечисленные выше негативные тенденции для города Харькова и Харьковской области имеют большую динамику, поскольку связаны с особенностями расположения мегаполиса, качественным и количественным составом населения, объектов производства и инфраструктуры. Данный вывод подтверждают официальные цифры статистики.

Так, объемы образования отходов в Харьковской области в 6,5 раз больше, чем в аналогичных регионах США, и в 3,5 раза больше, чем в странах Европейского Союза [2]. Ежегодный объем образовавшихся в области отходов составляет 0,499 млн. м<sup>3</sup>, а в г. Харькове – около 1,5 млн. м<sup>3</sup>. Всего в Харьковской области ежегодно образуется около 2,5 млн. тонн отходов. В области отсутствует контролируемый объект приема и складирования ТБО, при этом функционирует 31 полигон твердых бытовых отходов площадью 136,5 га, при этом большинство полигонов требует реконструкции. В городах области расположено 14 полигонов площадью 85,9 га, в селах и поселках городского типа – 17 полигонов площадью 50,6 га. Захоронение ТБО, собираемых в г. Харькове, осуществляется на Дергачевском и Роганском полигонах. Если мощности первого почти исчерпаны на сегодня, то второй подлежит полному закрытию до июня 2012 года, так как попадает в санитарную зону Харьковского аэропорта.

Тем не менее, выведенный из эксплуатации полигон ТБО на протяжении 20 лет продолжает быть объектом повышенной пожарной и техногенной опасности, в связи с продолжающимися на его территории биохимическими процессами. При этом сегодняшние реалии таковы, что мониторинг данных процессов при эксплуатации полигонов ТБО – нормирован, а по истечении эксплуатации – отсутствует.

Не менее важной проблемой является неготовность органов управления и подразделений МЧС Украины, органов Государственной инспекции по техногенной безопасности к проведению как профилактических мероприятий, так и мероприятий по ликвидации аварий на данных объектах. Так, масштабные техногенные аварии, для ликвидации которых привлекались крупные силы МЧС Украины, на двух приведенных объектах только в 2011 году были зафиксированы дважды (июнь – пожар на Дергачевском полигоне ТБО – площадь пожара – 400 кв. м; сентябрь – пожар на Роганском полигоне ТБО – площадь пожара – 1500 кв. м). Отрицательный рекорд был зафиксирован в мае 2007 года, когда пло-

---

Система ограничений в задачах предупреждения и ликвидации техногенных аварий на полигонах твердых бытовых отходов

щадь пожара на Роганском полигоне ТБО составила 4000 кв. м. Пожары с распространением по меньшей площади носят постоянный характер.

Таким образом, существует научно-прикладная проблема повышения пожарной и техногенной безопасности полигонов ТБО. Одними из задач, направленных на решение указанной проблемы, являются задачи предупреждения и ликвидации техногенных аварий на полигонах ТБО.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Научные исследования, направленные на разработку современных технологий обращения с отходами носят эпизодический характер [3-7]. Что касается работ, связанных с повышением пожарной и техногенной безопасности полигонов, то на сегодня они практически отсутствуют [8,9]. Методические рекомендации по обращению с ТБО, утвержденные в феврале 2010 г. МинЖКХ Украины [10], ориентированы на их захоронение без учета возможной переработки и анализа последних научных достижений в этой сфере [10-12]. Предложенная методика не позволяет классифицировать ТБО для разработки эффективных приемов обращения. Контроль состава коммунальных отходов, поступающих на полигоны, часто отсутствует или крайне ограничен. Это приводит к бесконтрольному размещению опасных отходов, несанкционированному изъятию вторсырья с нарушением эксплуатационных (инженерно-проектировочных и временных) норм складирования [13], что, в свою очередь, увеличивает риск возникновения пожаров и техногенных ЧС на полигонах ТБО. Следовательно, анализ последних исследований подчеркивает актуальность проблемы повышения пожарной и техногенной безопасности полигонов ТБО.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является проведение систематизации и обоснование ограничений (требований) с последующей их формализацией для комплексной задачи минимизации возможности возникновения техногенных аварий на полигонах ТБО с одной стороны, и повышения эффективности действий аварийно-спасательных подразделений при проведении мероприятий по ликвидации возможной аварии с другой стороны.

При организации полигонов ТБО важное значение имеют:

- правильный выбор площадки;
- создание необходимых инженерных сооружений;
- порядок заполнения полигона отходами;

- глубина предварительной обработки отходов;
- проведение мониторинга окружающей среды.

Анализ существующих подходов к управлению ТБО позволил сформировать следующие группы требований к обращению с отходами.

Первая группа требований – *инженерно-проектировочные*.

Так, благоприятными земельными участками с точки зрения размещения полигонов считаются [14,15]:

- открытые, хорошо продуваемые (проветриваемые), незатопляемые и неподтопляемые, допускающие проведение природоохранных мероприятий и выполнение инженерных решений, обеспечивающих предотвращение загрязнения окружающей среды;
- расположенные с подветренной стороны относительно нахождения населенных пунктов и рекреационных зон, в соответствии с розой ветров;
- расположенные ниже водозаборов хозяйственно-питьевого водоснабжения, рыбоводных хозяйств;
- удаленные от аэропортов на 15 км и более, от сельскохозяйственных угодий и транзитных магистральных дорог на 200 м, от лесных массивов и лесопосадок, не предназначенных для рекреации, на 50 м;
- на которых обеспечивается соблюдение 500 м санитарно-защитной зоны от жилой застройки до границ полигона;
- с преобладающими уклонами в сторону населенных пунктов, промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий и лесных массивов не более 1,5%;
- с залеганием грунтовых вод при наибольшем подъеме их уровня не менее 1 м от нижнего уровня складироваемых отходов;
- с преобладанием в геологическом разрезе экранирующих пород;
- с развитым региональным водоупорным горизонтом, характеризующимся отсутствием «гидрогеологических окон» и значительных по площади трещиноватых зон;
- с отсутствием опасных геологических процессов (оползневых, карстово-суффозионных, овражно-эрозионных и т.д.).

Таким образом, данные ограничения (требования) позволяют выделить области допустимых размещений полигонов ТБО, а также области запрета

$$S_i \in D_j; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m; \quad (1)$$

$$S_i \cap B_k = \emptyset; k = 1, \dots, p. \quad (2)$$

Следует отметить, что в выражениях (1) и (2)  $S_i$  - полигоны ТБО, необходимые для обслуживания соответствующих городов и населенных пунктов;  $D_j$  - области допустимых размещений полигонов ТБО;  $B_k$  - области запрета на размещение полигонов ТБО.

При выборе площадки для обустройства полигона ТБО следует учитывать, что площадь данного участка выбирается, как правило, из условия срока его эксплуатации не менее 15-20 лет. Более того, участок складирования ТБО разбивается на очереди эксплуатации с учетом обеспечения приема отходов в течение 3-5 лет. Естественно, разбивка участка складирования на очереди выполняется с учетом рельефа местности. Таким образом, можно сформулировать следующие требования к проектированию полигона ТБО

$$\bigcup_{l=1}^q S_{il}(t) \leq 0,95 \cdot S_i, i = 1, \dots, n; \quad (3)$$

$$h_{il}(t) \leq h_{il}^*; l = 1, \dots, q. \quad (4)$$

В выражениях (3) и (4):  $S_{il}(t)$  - очереди, на которые разбивается участок складирования ТБО (площадь данных очередей изменяется в течение времени  $t$ );  $0,95 \cdot S_i$  - площадь участка складирования ТБО, составляющая 95% полигона (остальная часть – хозяйственная зона, инженерные сооружения и коммуникации);  $h_{il}(t)$  - высота  $l$ -той очереди  $i$ -го полигона ТБО в момент времени  $t$ ;  $h_{il}^*$  - допустимые высоты очередей.

Также необходимо отметить, что полигоны ТБО должны на протяжении установленного времени обслуживать соответствующие города и населенные пункты в полном объеме. Иначе говоря, объем ТБО, который могут принять полигоны, должен быть не менее общего объема ТБО, вырабатываемого различными объектами инфраструктуры городов и населенных пунктов. Данные объемы приведены в таблице 1 [6].

Таблиця 1 – **Источники образования и нормы накопления отходов**

<b>Источник образования отходов</b>	<b>Среднегодовая норма образования и накопления отходов</b>
Жилищно-коммунальное хозяйство	350-450 кг (1,2-1,5 куб.м.) на человека
Гостиница	120 кг (0,7 куб.м) на место
Детский сад, ясли	95 кг (0,4 куб.м.) на место
Школа, техникум, институт	24 кг (0,12 куб.м.) на учащегося
Театр, кинотеатр	30 кг (0,2 куб.м.) на место
Учреждение, предприятие	40-70 кг (0,2-0,3 куб.м.) на сотрудника
Продовольственный магазин	160-250 кг (0,8-1,5 куб.м.) на кв.м. торговой площади
Промтоварный магазин	80-200 кг (0,5-1,3 куб.м.) на кв. м. торговой площади
Рынок	100-200 кг (0,6-1,3 куб.м.) на кв.м. торговой площади
Санатории, пансионаты, дома отдыха	250 кг (1 куб.м.) на место
Вокзал, аэропорт, аэровокзал	125 кг (0,5 куб.м.) на кв.м площади
Накопление ТБО в благоустроенных домах: при отборе пищевых отходов без отбора пищевых отходов	180-200 кг (0,9-1,0 куб.м.) на человека в год 210-225 кг (1,0-1,1 куб.м.) на человека в год
Общая норма накопления ТБО по благоустроенным жилым и общественным зданиям для городов с населением более 100 тыс. чел.	260-280 кг (1,4-1,5 куб.м.) на человека в год

Следовательно, ограничение на объем ТБО, который будут способны принять полигоны, будет иметь следующий вид

$$\sum_{i=1}^n V_i(t) \geq \sum_{r=1}^v V_{r,1}. \quad (5)$$

Здесь  $V_i(t)$  - объем ТБО, который способны принять полигоны на момент времени  $t$ ;  $V_{r,1}$  - объем ТБО, вырабатываемый  $r$ -м городом или населенным пунктом на протяжении одного года.

Также следует отметить, что полигоны должны размещаться таким образом, чтобы обеспечивалось эффективное использование технических средств вывоза ТБО из городов и населенных пунктов. Таким образом, необходимо учитывать следующее условие

$$W^* = \arg \min_{g=1, \dots, z} T(W_g). \quad (6)$$

Здесь  $W^*$  - оптимальная сеть подъездных дорог;  $W_g$  - допустимый вариант подъездных дорог;  $T(W_g)$  - время использования технических средств вывоза ТБО.

Таким образом, группу инженерно-проектировочных требований представим в следующем виде

$$F_{u-n}(S_i, D_j, B_k, S_{il}(t), h_{il}(t), V_i(t), W^*). \quad (7)$$

Вторая группа ограничений – *экологическая*.

При выборе участка для устройства полигона ТБО определяющими являются климатогеографические и почвенные особенности, геологические и гидрологические условия местности. Вопросы техногенной безопасности рассматриваются только через призму перечисленных выше факторов. Эти же факторы являются доминирующими при проведении профилактической работы.

Экологическая группа ограничений может быть представлена следующим образом

$$F_{ПДК}(S_i, TB_i(t), MA_i(t), MB_i(t), OC_i(t), P^*). \quad (8)$$

В зависимости от пути миграции химических веществ в определенные среды существует 4 разновидности ПДК почвы [14]:

- $TB$  – транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений;
- $MA$  – миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химических веществ из почвы в атмосферу;
- $MB$  – миграционный водный показатель, характеризующий переход химических веществ из почвы в грунтовые и поверхностные воды;
- $OC$  – общесанитарный водный показатель, характеризующий влияние химических веществ из почвы на самоочищающуюся способность почвы и микробиоценоз.

Таким образом

$$\begin{aligned} TB_i(t) \leq TB^*; MA_i(t) \leq MA^*; MB_i(t) \leq MB^*; \\ OC_i(t) \leq OC^*; i = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь  $TB^*$ ,  $MA^*$ ,  $MB^*$ ,  $OC^*$  - предельно допустимые показатели. Также необходимо рассмотреть условие, касающееся оптимального количества и мест размещения постов мониторинга окружающей среды  $P^*$ .

При рассмотрении задачи ликвидации техногенных аварий на полигонах ТБО необходимо учитывать наличие в воздушном пространстве полигонов опасных объемов диоксина, что может вызвать тяжелое отравление личного состава аварийно-спасательных подразделений.

Третья группа ограничений – *морфологические* (состав и степень опасности ТБО).

При проведении мероприятий по повышению эффективности профилактической работы на полигонах необходимо учитывать морфологический состав ТБО и ограничения, накладываемые на совместное их захоронение и степень опасности как источника возникновения техногенной аварии.

Средний морфологический состав ТБО в Украине [5] включает в себя следующие компоненты:

- пищевые отходы – 30...38%,
- отходы бумаги и картона – 25...30%,
- текстильные отходы – 4...7%,
- стеклотарой и стеклотара – 5...8%,
- отходы пластмасс - 2-5%,

- черные металлы - 0,2...0,3%,
- кости - 0,5...2%.

Из приведенного выше перечня особое внимание следует уделить первым двум позициям в силу их органического происхождения и возможности протекания в них неконтролируемых термических реакций.

Следует также отметить, что на полигонах ТБО разрешено захоронение отдельных промышленных отходов (третьей и четвертой группы опасности) [16] в установленном процентном соотношении.

Таким образом, можно сформулировать следующие требования для организации полигонов ТБО

$$\bigcap A_{i\alpha} = \emptyset; \bigcap frA_{i\alpha} = \emptyset; i = 1, \dots, n; \alpha = 1, \dots, \gamma; \quad (10)$$

$$Tp_i(t) \leq Tp_{\max}; \beta_i(t) \geq \beta_{\min}. \quad (11)$$

В выражениях (10) и (11):  $A_{i\alpha}$  - группы отходов, совместное захоронение которых недопустимо;  $\gamma$  - количество данных групп отходов;  $frA_{i\alpha}$  - границы областей захоронения соответствующих групп отходов;  $Tp_i(t)$  и  $\beta_i(t)$  - параметры хранения ТБО, описывающие, соответственно, температуру в слоях ТБО и влажность.

Необходимо учитывать то, что параметры хранения имеют как четко выраженную сезонность проявления, так и носят накопительный характер.

Накопительный процесс можно разделить на 5 фаз, а именно:

1 фаза – аэробное разложение;

2 фаза – анаэробное разложение без выделения метана (кислое брожение);

3 фаза – анаэробное разложение с непостоянным выделением метана;

4 фаза – анаэробное разложение с постоянным выделением метана;

5 фаза – затухание анаэробного процесса;

Так, для климатической зоны Харьковской области длительность 1 и 2 фазы составляет 20 – 40 суток с момента укладки, 3 – 700 суток, 4 – порядка 20 лет.



Сезонность связана в первую очередь с колебаниями процентных характеристик морфологического состава ТБО, вызванного увеличением органических составляющих в летне-осенний период, и критичным уменьшением влажности в летний период.

Следовательно, морфологическую группу ограничений можно представить в следующем виде

$$F_m(S_i, A_{i\alpha}, Tp_i(t), \beta_i(t)). \quad (12)$$

В отдельную группу ограничений следует выделить *очаговую взрывоопасность*.

Как и предыдущая группа ограничений, данная группа зависит от объемно-проектировочных решений по складированию различных групп ТБО, параметров хранения ТБО и ряда неопределенностей  $K_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , вызванных наличием локальных пустот в закладке ТБО и образованием в них критических концентраций взрывоопасных газов (таблица 2) [4].

Таблица 2 – Состав и свойства свалочного газа

Компонент	Свойства
Метан	Нетоксичен, взрывоопасен при содержании в воздухе 5-15 %, легче воздуха, температура вспышки 600 С.
Углекислый газ	Ядовит, не горюч, тяжелее воздуха
Окись водорода	Токсичен
Водород	Горюч, при взаимодействии с воздухом взрывоопасен
Сероводород	Токсичен
Меркаптан	Токсичен, имеет неприятный запах

Экспериментальные исследования [4] показывают, что ТБО при уменьшении их влажности до 40% склонны к самовозгоранию, а температура биопроцессов не опускается ниже 60°C, что в свою очередь является иницилирующим фактором возникновения техногенной аварии. Наличие на полигоне промышленной техники и резервуаров ЛВЖ не исключает влияния человеческого фактора (возникновение аварии вследствие нарушения техники безопасности и условий эксплуатации техники).

Система ограничений в задачах предупреждения и ликвидации техногенных аварий на полигонах твердых бытовых отходов

Таким образом, данную группу ограничений можно представить в виде

$$F_{o-в} (F_m, K_i(t)). \quad (13)$$

Пятая группа ограничений – *тактическая*.

Инженерно-проектировочные и экологические требования значительно влияют на процесс ликвидации техногенной аварии на полигонах ТБО и определяют группу тактических ограничений

$$F_m (F_{u-n}, F_{ПДК}, V_i^a, R^*, S_i^*), \quad (14)$$

где  $V_i^a$  - объем аварии на  $i$ -м полигоне,  $R^*$  - необходимое количество сил и средств ликвидации аварии,  $S_i^* \in S_i$ ,  $i \in \{1, \dots, n\}$ , - области допустимых размещений технических средств ликвидации аварии на полигоне ТБО.

Введение понятия объема аварии (традиционно – площадь аварии) необходимо для учета возможных методов ликвидации аварии (например, в случае тушение пожара, перекапывание горящего пласта с проливкой его водой), а также учета инженерно-проектировочных ограничений (не нарушение дренажной системы полигона и др.).

Шестая группа ограничений – *обеспечение бесперебойной работы полигона*.

Данная группа ограничений связана с тем, что в случае продолжительной аварии на  $i$ -м полигоне необходимо распределить доставку ТБО на другие полигоны или (и) запустить соответствующие очереди на рассматриваемом полигоне. Таким образом

$$F_{б-р} (V_i^a, S'_{il}, S'_\delta(T^*)), \quad (15)$$

где  $V_i^a$  - объем аварии на  $i$ -м полигоне;  $S'_{il} \in S_i$ ,  $i \in \{1, \dots, n\}$ , - допустимые для запуска очереди  $i$ -го полигона;  $S'_\delta(T^*)$  - полигоны, на которые распределяется доставка ТБО

$$S'_\delta(T^*) \in S_i; \delta \in \{1, \dots, n\}; \delta \neq i. \quad (16)$$

Выражение (16) описывает процесс выбора допустимого множества полигонов исходя из того, что  $T_{\delta}(W^*) \leq T^*$ , т.е. время достижения технических средств вывоза ТБО по сети подъездных дорог не превосходит заданное.

**Выводы.** В данной работе выполнена систематизация и обоснование ограничений для комплексной задачи минимизации возможности возникновения техногенных аварий на полигонах ТБО с одной стороны, и повышения эффективности действий аварийно-спасательных подразделений при проведении мероприятий по ликвидации возможной аварии с другой стороны. Дальнейшие исследования будут направлены на формулирование общей постановки данной комплексной задачи, исследование ее особенностей с целью построения математических моделей и разработки методов решения задач предупреждения и ликвидации техногенных аварий на полигонах ТБО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гриценко А.В. Проблемы и перспективы комплексной утилизации ТБО в Харьковском регионе / А.В. Гриценко, И.В. Коринько, Н.П. Горох, А.И. Зайцев // Проблемы охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки: Зб. наук. праць. Вип. XXV. – Харків: УкрНДІЕП, 2001.– С. 51-62.
2. EUWID – Europischer Wirtschaftsdienst. Recycling and Waste Management. Packaging Markets. – European Economic Service // Germany, 20 April 2005, <http://europa.eu.int/eur-lex/accessible/en>.
3. Голубин А. Обращение с отходами как объект системного анализа / А. Голубин, И. Клепацкая // Журнал «РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция», №4 / 2008. – С. 28-32.
4. Гладышев Н.Г. Полигон как элемент логистической цепи в сфере обращения с отходами / Н.Г. Гладышев, Д.Е. Быков, К.Л. Чертец // Экология и промышленность России, сентябрь, 2007. - С. 16-19.
5. Санитарная очистка и уборка населенных мест / А.Н. Мирный и др. // Справочник. – М.: Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова, 1997 год – 152 с.

6. Беренгартен М.Б. Управление отходами в городском хозяйстве. / М.Б. Беренгартен, И.А. Васильева, В.В. Девяткин, Н.Е. Николайкина // Учебное пособие под ред. В.Г. Систера. - М.: МГУИЭ, 1999. – 120 с.
7. Коринько И.В. Проблемы и перспективы комплексной утилизации твердых бытовых отходов / И.В. Коринько, Н.П. Горох, С.С. Пилиграмм // Екологія та виробництво. – Харків: Сфера, 2002. – С. 94-102.
8. Гладышев Н.Г. Логистические аспекты управления отходами / Н.Г. Гладышев, Д.Е. Быков, А.А. Шишканова // Вестник Самарского государственного экономического университета. – Самара: СГЭУ, 2006, №5(23). - С. 31-37.
9. Касимов А.М. Концептуальные подходы к разработке программы управления твердыми отходами в Харьковской области / А.М. Касимов, В.С. Зализный, И.Э. Линник // Коммунальное хозяйство города: Научно-технический сборник. – Харьков: ХГАГХ, №53, 2003. – С. 128-135.
10. Шмарін С.Л. Порівняння європейського і вітчизняного досвіду визначення морфологічного складу твердих побутових відходів / С.Л. Шмарін // Житлово-комунальне господарство України, № 7 (30), 2010. - С. 174-189.
11. ЕЕА Signals 2004. A European Environment Agency update on selected issues // ЕЕА, Copenhagen 2004, <http://www.eel.nl>.
12. Federal Waste Management Plan 2001. – Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management // Wien, 2001, <http://www.oecd.org>.
13. Виговська Г.П. Поводження з відходами в Україні: підсумки і перспективи / Г.П. Виговська, В.С. Міщенко //Сотрудничество для решения проблемы отходов: Матер. V Междунар. конф. – Харьков, 2008, <http://waste.com.ua/cooperation/2008/theses/vygovska.html>.
14. Инженерная экология. /Под ред. В.Т.Медведева. – М.: Гардарики, 2002. – 687 с.
15. СНиП 11-101-95 «Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений».
16. СНиП 2.01.28-85. «Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию».

Олениченко Ю.А., Соболев О.М.

**Система обмежень в задачах попередження та ліквідації техногенних аварій на полігонах твердих побутових відходів**

У статті проведено аналіз сучасного стану питання, пов'язаного з управлінням твердими побутовими відходами. Досліджено систему обмежень для подальшої постановки задач попередження та ліквідації техногенних аварій на полігонах твердих побутових відходів.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, полігони, техногенна аварія

Olenychenko Yu.A., Sobol A.N.

**Systems of restrictions in problems of prevention and liquidation anthropogenic accidents on the refuse dumps**

In this paper the modern state of the waste management is analyzed. System of restrictions for further problem statement of prevention and liquidation anthropogenic accidents on the refuse dumps is researched.

**Key words:** waste, refuse dumps, anthropogenic accident

**УДК 614.876:355.58**

*Попов В.М., канд. техн. наук, проректор, НУЦЗУ,  
Ромін А.В., канд. техн. наук, нач. фак.-проректор, НУЦЗУ,  
Фесенко Г.В., канд. техн. наук, доц., ХНАМГ*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА ІНДИВІДУАЛІЗОВАНУ  
ЕФЕКТИВНУ РІЧНУ ДОЗУ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ  
НАСЕЛЕННЯ ВІД ЇСТІВНИХ ГРИБІВ РІЗНИХ СПОСОБІВ  
ЇХ КУЛІНАРНОЇ ОБРОБКИ**

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

Наведені результати оцінки індивідуалізованої річної ефективної дози внутрішнього опромінення населення від їстівних грибів, зібраних в зоні гарантованого добровільного відселення у свіжих і вологих борах та грудях

**Ключові слова:** індивідуалізована річна ефективна доза внутрішнього опромінення, кулінарна обробка, гриби

**Постановка проблеми.** Внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС значна площа лісових масивів Українського Полісся зазнала значного радіоактивного забруднення. На відміну від сільськогосподарських угідь, на яких в післячорнобильський пері-

---

Дослідження впливу на індивідуалізовану ефективну річну дозу внутрішнього опромінення населення від їстівних грибів різних способів їх кулінарної обробки

од інтенсивно застосовувалися захисні заходи, зміна вмісту радіонуклідів в компонентах лісу відбувається лише за рахунок природних чинників [1-5]. Основні радіологічні наслідки радіоактивного забруднення лісових екосистем - накопичення радіонуклідів в лісовій продукції, що обмежує її подальше використання. Населення, що активно збирає гриби на радіоактивно забрудненій території лісу, наражається на небезпеку отримання значної дози внутрішнього опромінення. Зниження цієї дози можливе лише у разі застосування кулінарної обробки грибів, яка проводиться різними способами. В зв'язку з цим актуальним питанням є проведення оцінки індивідуалізованої річної ефективної дози внутрішнього опромінення (ІРЕДВО) від їстівних грибів з урахуванням способів їх кулінарної обробки. Результати даних оцінок доцільно використовувати при відпрацюванні заходів по управлінню дозовим навантаженням населення радіаційно забруднених територій.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У наукових публікаціях за даною тематикою [1-5] недостатньо повно відображений порядок оцінки ІРЕДВО населення при споживанні «грибного кошика», що складається з різних видів грибів, зібраних на ґрунтах різних типів лісорослинних умов (ТЛУ) та по відношенню до яких застосована кулінарна обробка.

**Постановка завдання та його вирішення.** Задача досліджень полягала в дослідженні впливу на ІРЕДВО різних способів кулінарної обробки їстівних грибів, що збираються для вжитку на ґрунтах різних ТЛУ зони гарантованого добровільного відселення (зони З)[6], з метою визначення тих способів, що забезпечують найбільше зниження дози опромінення.

До розгляду були прийняті коефіцієнти переходу радіонуклідів у гриби (КПРГ) по Cs-137, що є основним дозоутворюючим радіонуклідом у теперішній час на території лісів Поліського регіону [1-5]. Дослідження проводились для випадку, коли на території зони добровільного гарантованого відселення, забрудненій радіонуклідом Cs-137, місцевим жителем протягом року збираються наступні види грибів: білий гриб масою 9 кг, 60 % якого збирається у свіжих борах ( $B_2$ ), 40% - у свіжих грудях ( $D_2$ ); польський гриб масою 6 кг, 70 % якого збирається у  $B_2$ , 30 % - у  $D_2$ . Розглядалися наступні можливі способи кулінарної обробки грибів: очищення і миття, потім смаження (спосіб 1); відварювання зі зливом першої води, потім смаження (спосіб 2); відварювання зі зливом другої води, потім смаження (спосіб 3).

З урахуванням [4,7] авторами для розрахунку ІРЕДВО ( $E_{CS-137}$ ) згідно з запропонованими вихідними даними використовувалася наступна формула

$$E_{CS-137} = h_{CS-137} k_i^{обр} C_{CS-137} \cdot 37 \cdot 10^3 \left( \text{Бк/м}^2 \right) / \left( \text{Кі/км}^2 \right) \times \\ \times \left( M_{бг} \left( k_{бг} \left( B_2 \right) \cdot КП_{бг} \left( B_2 \right) + k_{бг} \left( B_3 \right) \cdot КП_{бг} \left( B_3 \right) \right) + \right. \\ \left. + M_{пг} \left( k_{пг} \left( B_2 \right) \cdot КП_{пг} \left( B_2 \right) + k_{пг} \left( B_3 \right) \cdot КП_{пг} \left( B_3 \right) \right) \right), \text{Зв},$$

де  $h_{CS-137}$  - дозовий коефіцієнт для переходу від надходження радіонуклідів з їжею до значення ефективної дози, Зв/Бк;  $37 \cdot 10^3 \text{ (Бк/м}^2\text{) / (Кі/км}^2\text{)}$  – коефіцієнт переходу від  $\text{Кі/км}^2$  до  $\text{Бк/м}^2$ ;  $k_i^{обр}$  – коефіцієнт зниження вмісту Cs-137 у готових до споживання грибах у порівнянні із зібраними внаслідок *i*-го способу їхньої кулінарної обробки, відн. од.;  $C_{CS-137}$  - активність Cs-137 у ґрунті в рік, що розглядається,  $\text{Кі/км}^2$ ;  $M_{бг}$  і  $M_{пг}$  - маса білих та польських грибів відповідно, яку споживає протягом року місцевий житель, кг;  $k_{бг}(B_2)$  і  $k_{бг}(B_3)$  - частка білих грибів, що збирається у ТЛУ  $B_2$  і  $B_3$  відповідно;  $k_{пг}(B_2)$  і  $k_{пг}(B_3)$  - частка польських грибів, що збирається у ТЛУ  $B_2$  і  $B_3$  відповідно;  $КП_{бг}(B_2)$  і  $КП_{бг}(B_3)$  - коефіцієнт переходу Cs-137 з ґрунту до білих грибів у ТЛУ  $B_2$  і  $B_3$  відповідно;  $КП_{пг}(B_2)$  і  $КП_{пг}(B_3)$  - коефіцієнт переходу Cs-137 з ґрунту до польських грибів у ТЛУ  $B_2$  і  $B_3$  відповідно. Результати досліджень ілюструються графіками, поданими на рис.1.

Аналіз наведених графіків дозволяє зробити наступні висновки:

найбільш низьку ефективність щодо зниження вмісту радіонуклідів у грибах демонструє спосіб 1, а найкращу – спосіб 3. Так, наприклад, при  $C_{CS-137} = 9 \text{ Кі/м}^2$  у разі застосування способу 1 доза  $E_{CS-137} = 0,31 \text{ мЗв}$ , а у разі способу 2 доза  $E_{CS-137} = 0,08 \text{ мЗв}$ , тобто ІРЕДВО у 3,8 рази є меншою;

чим більшим є щільність радіоактивного забруднення місцевості, тим відчутніша різниця між найбільш ефективним способом кулінарної обробки (спосіб 3) та іншими способами. Так, наприклад, якщо при  $C_{CS-137} = 8 \text{ Кі/м}^2$  різниця в дозі  $E_{CS-137}$  при застосуванні способів 3 та 1 складає  $0,2 \text{ мЗв}$ , то при  $C_{CS-137} = 8 \text{ Кі/м}^2$  вона вже складає  $0,31 \text{ мЗв}$ .

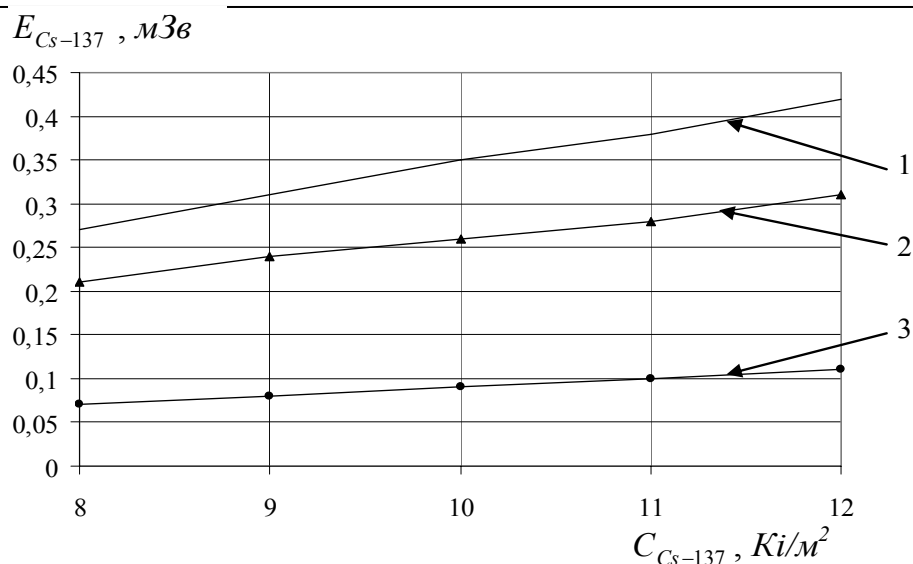


Рис. 1 – Графік залежності ІРЕДВО при вживанні підданих кулінарній обробці білих та польських грибів, зібраних в зоні гарантованого добровільного відселення, від активності Cs-137 в ґрунті: 1 - очищення і миття, потім смаження; 2 - відварювання зі зливом першої води, потім смаження; 3 - відварювання зі зливом другої води, потім смаження

**Висновки.** Проведені оцінки ІРЕДВО населення за рахунок споживання «грибного кошика», представленого білими та польськими грибами показали, що найбільш ефективним способом кулінарної обробки грибів є відварювання зі зливом другої води з подальшим їх смаженням.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Василенко В.В. Вивчення особливостей формування доз внутрішнього опромінення населення РЗТ у віддалений період аварії на ЧАЕС, обумовлених надходженням  $^{137}Cs$ ,  $^{90}Sr$  / В.В. Василенко, М.Я. Циганков, С.Ю. Нечаєв та ін.// Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього. Міжнародна конференція. 20-22 квітня 2011 року. Київ. Збірка доповідей. Висновки і рекомендації. Частина 1. – К.: КІМ, 2011. – С. 320-324.
2. Карачов І.І. Проблеми радіоактивного забруднення харчових продуктів лісу і внутрішнє опромінення населення / І.І. Карачов // Проблеми харчування. - 2006. - № 1. [Електронний ресурс] - Режим доступу до журналу: [http://www.medved.kiev.ua/arhnutr/art\\_2006/n06\\_1\\_2.htm](http://www.medved.kiev.ua/arhnutr/art_2006/n06_1_2.htm).



3. Краснов В.П. Прикладная радиоэкология леса /В.П. Краснов, А.А. Орлов, В.А. Бузун и др. - Житомир: Полесье, 2007. – 680 с.
4. Рекомендації з ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення територій. – Київ: МНС України, 2008. – 106 с. – (Нормативний документ МНС України. Рекомендації).
5. Жученко Ю.М. Проблемы радиационной реабилитации загрязненных территорий / Ю.М. Жученко, В.С. Аверин, С.К. Фирсакова и др. - Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2001. - 250 с.
6. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи: Закон України від 27.02.1991 р., № 791 а – XII - (Нормативний документ Верховної Ради України. Закон). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws>.
7. Реконструкция и прогноз доз облучения населения, проживающего на территориях Украины, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии ЧАЭС (Методика-97) - К., 1998. – 79 с. - (Нормативный документ МОЗ и МЧС Украины. Инструктивно-методические указания).

Попов В.М., Ромин А.В., Фесенко Г.В.

**Исследование влияния на индивидуализированную эффективную годовую дозу внутреннего облучения населения от съедобных грибов различных способов их кулинарной обработки**

Приведены результаты оценки индивидуализированной годовой эффективной дозы внутреннего облучения населения от съедобных грибов, собранных в зоне гарантированного добровольного отселения в свежих и влажных борах и грудах

**Ключевые слова:** индивидуализированная годовая эффективная доза внутреннего облучения, кулинарная обработка, грибы

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

**Research of influence on the individualized effective annual dose of internal irradiation of population from the edible mushrooms of different ways of their culinary treatment**

The results of estimation of the individualized annual effective dose of internal irradiation of population are resulted from edible mushrooms, collected in the area of the assured voluntarily settling out in the fresh and moist coniferous forests and heaps, are defined

**Key words:** individualized annual effective dose of internal irradiation, culinary treatment, mushrooms

УДК 614.8

*Поспелов Б.Б., д-р техн. наук, вед. науч. сотр., НУГЗУ,  
Шевченко Р.И., канд. техн. наук, нач. лаб., НУГЗУ,  
Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ,  
Федцов А.А., преп., НУГЗУ*

## **ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Рассматривается выбор показателей и критериев качества обнаружения с учетом концепции приемлемого риска для современных технических систем раннего обнаружения. Определены соотношения, связывающие показатели качества систем обнаружения ЧС с величинами приемлемого риска. Найдены количественные значения для граничных значений показателей качества обнаружения ЧС в техногенной и природной сфере. Показано, что требуемые показатели качества обнаружения обеспечиваются только при достаточно высоких значениях отношения энергии наблюдаемого опасного фактора ЧС на фоне мешающих факторов.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, показатели и критерии качества обнаружения ЧС, концепция приемлемого риска

**Постановка проблемы.** В современных условиях объекты производственной сферы часто становятся источниками серьезной угрозы и чрезвычайных ситуаций (ЧС). Одним из наиболее эффективных факторов снижения рисков возникновения ЧС является создание автоматизированных систем раннего их обнаружения. Необходимость создания таких систем регламентирована рядом государственных нормативно-правовых актов, касающихся гражданской защиты населения от ЧС техногенного и природного характера. Идеология построения систем раннего обнаружения ЧС базируется на измерении и пороговом испытании опасных факторов технологического процесса на превышение ими максимально допустимых значений, способных привести к возникновению ЧС. Вследствие случайного характера процесса измерения опасного фактора и его порогового испытания создание и оптимизация таких систем сталкивается с проблемой обоснования и выбора показателей и критериев качества обнаружения ЧС. Одним из конст-

руктивных путей решения данной проблемы является использование статистического подхода, базирующегося на концепции «приемлемого» риска.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Развитие статистического подхода к выбору критериев качества обнаружения достаточно полно выполнено применительно к радиотехническим задачам приема сигналов и оценки их параметров на фоне различных помех и шумов и достаточно полно изложено в обширной литературе по радиосистемам, например, в литературе [1]. Применительно к обнаружению ЧС с учетом риска данный статистический подход имеет свои особенности и специфику. В работе [2] предложен структурный подход к повышению надежности систем раннего обнаружения ЧС в виде пожаров на основе мажоритарного объединения первичных датчиков в комплексный обнаружитель. Однако обоснование и выбор критериев и показателей качества обнаружения для таких систем там не рассматривается. В работе [3] предложен критерий максимума разности между вероятностями правильного и ложного обнаружения для комплексного датчика применительно к факторам пожара, но не рассмотрено обоснование требуемых значений ошибок первого и второго рода для технической системы обнаружения. В [4] рассматривается применение критерия взвешенной суммы вероятностей ошибок первого и второго рода для оптимизации числа датчиков первичной информации в системе ослабления последствий ЧС. Однако обоснование и выбор показателей и критериев качества для технических систем обнаружения ЧС с учетом риска там отсутствует.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является обоснование и выбор показателей и критериев качества обнаружения с учетом концепции приемлемого риска для современных технических систем раннего обнаружения и ослабления последствий ЧС с целью их последующей оптимизации.

Традиционный отечественный подход к обеспечению безопасности технических систем и технологий базируется на концепции «абсолютной безопасности» - «настолько низко, насколько это практически достижимо». Как показывает практика, такая концепция не адекватна законам техносферы. Эти законы имеют вероятностный характер, и абсолютная безопасность достигается только в системах, лишенных запасенной энергии. Требование абсолютной безопасности оборачивается трагедией для людей в ЧС,

---

Выбор показателей качества и критерии оптимизации современных технических систем раннего обнаружения чрезвычайных ситуаций

поскольку обеспечить нулевой риск в реальных системах невозможно. Поэтому необходимо ориентироваться на возможность возникновения ЧС, т.е. ориентироваться на соответствующий риск. Сейчас цивилизованный мир отверг концепцию абсолютной безопасности и пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска [5].

Степень внедрения этой концепции в разных странах различна. Например, в Нидерландах она доведена до закона. Согласно ему, вероятность смерти индивидуума в течение года от опасности в техносфере, более  $10^{-6}$  считается недопустимой, а менее  $10^{-8}$  - пренебрежимой. Поэтому приемлемый уровень риска выбирается в диапазоне  $10^{-6}$  -  $10^{-8}$  в год, исходя из экономических и социальных причин.

Важным фактором при определении приемлемого уровня риска является существование случайной зависимости между частотой  $F$  наступления опасных событий и наносимыми ими ущербами  $N$  (обычно в виде числа летальных исходов или экономического ущерба в денежном исчислении). Такие зависимости получили название « $F/N$  - диаграмм» [5].

В зависимости от решаемых задач риск  $R$  представляется в виде математического ожидания ущерба или вероятности наступления неблагоприятного события за год. В первом случае риск  $R$  определяется по формуле

$$R_1 = p \cdot g, \quad (1)$$

где  $p$  - вероятность наступления ЧС (частота аварий, катастроф) за год;  $g$  - ущерб от рассматриваемой ЧС. Размерность (1) согласуется с характером ущерба и определяется в виде ущерб/год. Во втором случае риск определяется соотношением вида

$$R_2 = p \cdot s, \quad (2)$$

где  $s$  - вероятность наступления неблагоприятного события при условии возникновения ЧС. Размерность риска (2), учитывая размерность параметра  $s$ , определяется в виде 1/год. Имея в виду основную задачу – защиту населения, в качестве неблагоприятного события, как правило, рассматривается степень опасности для жизни людей. Вероятность наступления чрезвычайной ситуации

$p$  (частота аварии, катастрофы) определяется по картам районирования опасности или по статистическим данным. Потенциальный ущерб от ЧС определяют, учитывая вероятностный характер процессов, как математическое ожидание ущерба [5].

Будем полагать, что процесс измерения опасного фактора, характеризующего конкретную ЧС, сопровождается воздействием некоррелированных и ненаблюдаемых случайных факторов  $\varepsilon_1(t)$ ,  $\varepsilon_2(t)$ , ...,  $\varepsilon_n(t)$ , вследствие чего результат порогового испытания (обнаружения ЧС) носит случайный характер. В случае обнаружения ЧС (превышения порога) выдается сигнал, инициирующий систему ослабления последствий ЧС. Случайный характер результата порогового испытания опасного фактора приводит к двум видам ошибок: ошибки пропуска и ошибки ложной тревоги ЧС.

Обозначая вероятность ошибки пропуска через  $p_\alpha$ , а вероятность ошибки ложной тревоги через  $p_\beta$ , средний риск  $L_1$  от ошибок обнаружения ЧС будет определяться величиной

$$L_1 = Ap_\alpha p_c + Bp_\beta \bar{p}_c, \quad (3)$$

где  $A$ ,  $B$  – стоимости ошибок пропуска ЧС и ложной тревоги: в общем случае  $A \geq 0$ ,  $B \geq 0$ ;  $p_c$ ,  $\bar{p}_c = 1 - p_c$  – априорные вероятности соответственно наличия и отсутствия ЧС в рассматриваемой области обнаружения. Сравнивая различные системы обнаружения ЧС, следует отдавать предпочтение такой, для которой средний риск  $L_1$  оказывается меньше. Следовательно, оптимизация систем обнаружения ЧС в общем случае должна производиться в соответствии с *критерием минимума среднего риска*  $L_1$ , определяемого выражением (3).

В частности, если стоимость ошибок за ложную тревогу и пропуск ЧС одинакова и равна единице, то средний риск будет равен сумме вероятностей указанных ошибок обнаружения

$$L_2 = p_\alpha p_c + p_\beta \bar{p}_c, \quad (4)$$

Минимум этой вероятности в теории обнаружения обычно называют *критерием идеального наблюдателя* [1]. Очевидно, что критерий минимума среднего риска  $L_1$ , определяемый (3), являет-

ся более общим критерием оптимизации систем обнаружения ЧС по сравнению с критерием идеального наблюдателя (4), поскольку он учитывает различие в стоимости ошибок ложной тревоги и пропуска ЧС. С учетом того, что вероятность пропуска  $p_\alpha = 1 - \bar{p}_\alpha$ , где  $\bar{p}_\alpha$  является вероятностью правильного обнаружения ЧС, средний риск (3) может быть представлен в виде

$$L_1 = Ap_c - Ap_c(\bar{p}_\alpha - k p_\beta), \quad (5)$$

где  $k = B\bar{p}_c / Ap_c$  - весовой множитель. Поскольку первое слагаемое положительно, то критерий минимума среднего риска сводится к критерию

$$(\bar{p}_\alpha - k p_\beta) = \sup(\max), \quad (6)$$

который представляет собой весовой критерий обнаружения ЧС. Этот критерий требует такого повышения вероятности правильного обнаружения и понижения вероятности ложной тревоги в системах обнаружения ЧС, при которых увеличивается взвешенная разность  $\bar{p}_\alpha - k p_\beta$ . При этом весовой множитель  $k$  в (5) и (6) определяется априорными вероятностями наличия или отсутствия ЧС в контролируемой области пространства и стоимостями каждого вида ошибок. Если зафиксировать вероятность ложной тревоги на заданном уровне, то оптимизация системы обнаружения ЧС при заданном весовом множителе сводится к максимизации вероятности правильного обнаружения. Такая процедура в радиолокации получила название *критерия Неймана-Пирсона*.

Важной для приложений является задача определения требуемых значений для *главных показателей качества*  $\bar{p}_\alpha$ ,  $p_\alpha$  и  $p_\beta$  систем обнаружения ЧС в соответствии концепцией приемлемого уровня риска. Общее и частные решения данной задачи можно получить на основе рассмотренных выше критериев оптимальности обнаружения ЧС, если определить величину приемлемого риска, требуемые априорные вероятности наличия или отсутствия ЧС в районе ее обнаружения в тот или иной момент времени, а также стоимости соответствующих ошибок. Полагая стоимости соответствующих ошибок одинаковыми и равными единице, а априорные вероятности наличия или отсутствия ЧС равными 0,5, если невозможно знать их заранее для произвольного момента времени в ис-

следуемой опасной зоне. В этом случае соотношения, связывающие искомые главные показатели качества систем обнаружения ЧС с величинами приемлемого риска (1) и (2), имеют соответственно вид

$$p_{\alpha} g_{\alpha} \leq 2R_1 - p_{\beta} g_{\beta}, \quad (7)$$

$$p_{\alpha} \leq 2R_2 - p_{\beta}, \quad (8)$$

где  $g_{\alpha}$  и  $g_{\beta}$  - ущербы, наносимые ошибками пропуска и ложной тревоги при обнаружении ЧС.

В качестве примера на рис.1 приведены зависимости, полученные на основе (8), для граничных значений главных показателей качества  $p_{\alpha}$  и  $p_{\beta}$  систем обнаружения ЧС в соответствии с концепцией приемлемого уровня риска, определяемого принятыми допустимыми вероятностями смерти индивидуума от опасности в техносфере. При этом предполагалось, что процесс появления таких ЧС описывается пуассоновским потоком заданной интенсивности  $\lambda$ .

Следует отметить, что в мировой гражданской и оборонной техногенной сфере насчитывается до 103 объектов ядерной техники мирного и военного назначения, более 5104 ядерных боеприпасов, до 8104 тонн химических вооружений, сотни тысяч тонн взрывоопасных и пожароопасных продуктов, аварийно химически опасных веществ, десятки тысяч объектов с высокими запасами энергии. Вероятности возникновения наиболее тяжелых катастроф первых трех классов в мирное время составляют от  $(2 \div 3) \cdot 10^{-2}$  до  $(0,5 \div 1) \cdot 10^{-1}$  в год, а ущербы от 1 до 100 миллиардов долларов на катастрофу. При этом их риски изменяются в пределах от 10 тысяч долларов в год до 10 миллиардов долларов в год (произведение вероятности аварии или катастрофы и прямого ущерба, который она приносит). По данным [5] частота возникновения ЧС в техносфере в год с летальным исходом свыше 10000 человек составляет  $10^{-3}$ - $10^{-4}$ , а аналогичные данные для природных ЧС составляют  $10^{-2}$ - $10^{-3}$ .

Верхние кривые на рис. 1 соответствуют равенству (8) и получены для приемлемого риска, характеризуемого допустимой вероятностью смерти индивидуума от ЧС в техносфере (характеризуемых  $\lambda = 10^{-3}$ ) и природных ЧС (характеризуемых  $\lambda = 10^{-2}$ ), которая выбиралась равной величине  $10^{-6}$  и считается недопустимой

[5]. Нижние кривые соответствуют приемлемому риску для вероятности  $10^{-8}$ , которая считается пренебрежимой. Область, лежащая между кривыми, определяет в соответствии концепцией приемлемого уровня риска допустимую область значений для главных показателей качества  $p_\alpha$  и  $p_\beta$ , которым должны удовлетворять существующие и вновь создаваемые системы обнаружения ЧС. Если вероятности появления ЧС неизвестны (априорная неопределенность условий обнаружения ЧС), то полагают их равными 0,5. В этом случае зависимости граничных значений  $Pat$  и  $Par$  от величины вероятности ложной тревоги  $P\beta$  для главных показателей качества систем обнаружения ЧС соответственно в техногенной и природной сфере совпадают и приведены на рис. 2. Из анализа данных, приведенных на рис. 1 и рис. 2 следует, что в условиях априорной неопределенности появления ЧС к главным показателям качества систем обнаружения должны предъявляться довольно жесткие требования, обеспечение которых может потребовать значительный ресурс.

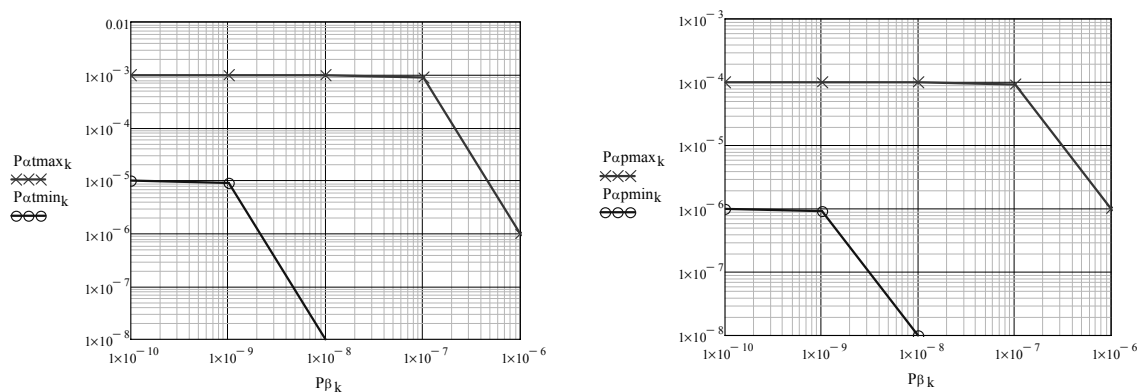
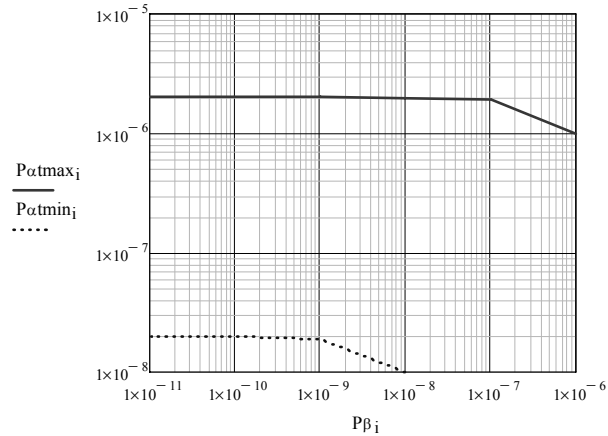


Рис. 1 – Зависимости граничных значений  $Pat$  и  $Par$  от величины вероятности ложной тревоги  $P\beta$  соответственно в техногенной и природной сфере

В работе [6] развивается системный подход к оценке риска ЧС в Украине на основе определения энергетических характеристик источников опасности. Учитывая это, представляется интересной оценка требуемых энергетических соотношений между определяемыми факторами опасности и сопутствующими мешающими факторами, необходимых, для реализации главных показателей качества систем обнаружения ЧС.





**Рис. 2 – Зависимости граничных значений  $P_{\alpha t}$  и  $P_{\alpha p}$  от величины вероятности ложной тревоги  $P_{\beta}$  для систем обнаружения ЧС в условиях априорной неопределенности**

Характеристики обнаружения  $p_{\alpha}$  и  $p_{\beta}$  факторов опасности со случайными параметрами зависят от статистики наблюдений при наличии и отсутствии опасного фактора в смеси с мешающими факторами. При наличии энергетических и неэнергетических случайных параметров у определяемого фактора опасности безусловная статистика наблюдений находится на основе интегрирования соответствующих условных статистик наблюдений по указанным случайным параметрам. Можно показать, что в этом случае статистика наблюдений при наличии и отсутствии опасного фактора в смеси описывается законом Рэлея с соответствующими параметрами. При этом вероятности  $p_{\alpha}$  и  $p_{\beta}$  оказываются зависимыми от установленного порога  $h$  обнаружения. Эти вероятности определяются следующими соотношениями

$$1 - p_{\alpha} = \exp(-h^2 / (2 + q)), \tag{9}$$

$$p_{\beta} = \exp(-h^2 / 2), \tag{10}$$

где  $q = 2E/N_0$  - отношение удвоенной энергии определяемого опасного фактора к спектральной плотности мешающих факторов. Исключив величину  $h$  из соотношений (9) и (10) получим, что

$$1 - p_{\alpha} = p_{\beta}^{(1+q/2)^{-1}}. \tag{11}$$

Из выражения (11) следует, что требуемые показатели качества систем обнаружения ЧС в соответствии концепцией допустимого уровня риска обеспечиваются только при достаточно высоких значениях отношения энергии определяемого опасного фактора ЧС к спектральной плотности мешающих факторов. Так, например, для обнаружения ЧС в техносфере с параметрами качества  $p_\alpha = 10^{-3}$  и  $p_\beta = 10^{-7}$  из допустимой подобласти (рис. 1) требуемая величина  $q = 3,222 \cdot 10^4$ . Это означает, что мешающие факторы сопутствующие наблюдению энергетического параметра опасности практически должны отсутствовать. В противном случае обеспечение требуемых показателей качества обнаружения ЧС становится весьма проблематичным.

**Выводы.** Решена задача обоснования и выбора показателей и критериев качества обнаружения с учетом концепции приемлемого риска для современных технических систем раннего обнаружения, при срабатывании которых производится инициация системы ослабления последствий ЧС. В качестве критерия оптимизации систем обнаружения ЧС рассмотрены критерий минимума среднего риска, идеального наблюдателя и критерия Неймана-Пирсона. Показано, что критерий минимума среднего риска является наиболее общим. Определены соотношения, связывающие искомые главные показатели качества систем обнаружения ЧС с величинами приемлемого риска. Найдены количественные значения для граничных значений показателей качества обнаружения ЧС в техногенной и природной сфере. Показано, что требуемые показатели качества обнаружения в соответствии концепцией допустимого уровня риска обеспечиваются только при достаточно высоких значениях отношения энергии определяемого опасного фактора ЧС к спектральной плотности мешающих факторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ван Трис Г.Л. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. I - II. Пер. с англ. Под ред. В.И. Тихонова. – М.: «Сов. Радио», 1972. – 744 с.
2. Абрамов Ю.А. Повышение эффективности обнаружения пожара по температуре / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь, Е.А. Тищенко. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 129 с.
3. Поспелов Б.Б. Оптимальный выбор количества пожарных извещателей в системе защиты резервуара с нефтепродуктом /

- Б.Б. Поспелов, А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк, Я.С. Кулик // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вып. 30. – С. 12-15.
4. Поспелов Б.Б. Структурный метод повышения надежности датчиков первичной информации в системе ослабления последствий чрезвычайной ситуации / Б.Б. Поспелов, А.Е. Басманов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вип. Вип. 14. – С. 129-134.
  5. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. Надежность технических систем и техногенный риск. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 – 386с.
  6. Калугін В.Д., Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні /Калугін В.Д.,Тютюник В.В., Чорного Л.Ф., Шевченко Р.І.// Восточно-европейский журнал передовых технологий, Харьков, 2012, 1/6 (55), - С. 59-70.

Поспелов Б.Б., Шевченко Р.І., Басманов О.Є., Федцов А.А.

**Вибір показників якості та критерії оптимізації сучасних технічних систем раннього виявлення пожежі**

Розглядається вибір показників та критеріїв якості виявлення з врахуванням концепції прийняттого ризику для сучасних технічних систем раннього виявлення. Визначені співвідношення, які пов'язують показники якості систем виявлення НС з величинами прийняттого ризику. Знайдені кількісні значення для граничних значень показників якості виявлення НС в техногенній і природній сфері. Показано, що потрібні показники якості виявлення забезпечуються лише при достатньо високих значеннях відношення енергії небезпечного фактора НС, що спостерігається, на фоні факторів, що заважають.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, показники і критерії якості виявлення НС, концепція прийняттого ризику

Pospelov B.B., Shevchenko R.I., Basmanov A.E., Fedtsov A.A.

**Selection criteria for quality and performance optimization of modern engineering of early detection of emergency**

The selection of indicators and quality criteria for detection with the concept of acceptable risk for advanced technology systems for early detection is considered. Defined relations between the quality of detection systems with emergency quantities of acceptable risk. We find quantitative values for the boundary values of quality indicators in the detection of man-made emergencies and natural area. It is shown that the required quality of detection are provided only at sufficiently high values of the ratio of the energy of the observed hazard emergencies on a background of interfering factors.

**Key words:** emergency, indicators and quality criteria for emergency detection, concept of acceptable risk

УДК 502.5:504.062

*Прохач Е.Ю., д-р техн. наук, директор, НДЦ "Моніторинг-43"*

## РЕАБІЛІТАЦІЯ ТЕРИТОРІЙ СХОВИЩ КОМПОНЕНТІВ РАКЕТНИХ ПАЛИВ

На підставі узагальнення результатів обстеження екологічного стану територій розташування сховищ, де зберігались компоненти ракетних палив, визначені основні заходи щодо попередження виникнення надзвичайних ситуацій на цих територіях. Надана технологія знешкодження резервуарів зберігання гептилу, відпрацьована під час ліквідації об'єктів інфраструктури ракетних військ стратегічного призначення.

**Ключові слова:** технологія, знезаражування, гептил

**Постановка проблеми.** На даний час на території України знаходиться ціла низка сховищ, де зберігались компоненти ракетного палива (КРП). Досвід обстежень свідчить про значний вплив цих об'єктів на екологічний стан довкілля і здоров'я населення на прилеглих територіях. Причиною забруднення довкілля були виливи або випаровування КРП під час нештатних або аварійних ситуацій, недодержання технології зливу-наливу, а також порушення цілісності резервуарів через корозію [1].

Найбільш токсичним компонентом ракетного палива є несиметричний диметилгідразин (НДМГ) або гептил та продукт його розкладу нітрозодиметиламін (НДМА) - речовини першого класу небезпеки, які за своєю дією на організм людини можуть бути порівняні з бойовими отруйними речовинами [2]-[4].

Потрапляючи до ґрунту, гептил і нітрозодиметиламін разом з талими або дощовими водами опиняються у ґрунтових горизонтах і, зрештою, у підземних ґрунтових водах, що є джерелом водопостачання навколишніх населених пунктів. Прикладом може бути ситуація в одному з районів Львівської області, де під час обстежень, проведених в 2001 році, гептил було виявлено в пробах води із ставка, де купаються діти (див. таблицю 1,  $I_n$  — відношення фактичної концентрації забруднюючої речовини до гранично допустимого значення).

Таблиця 1 – Результати аналізів проб води на вміст НДМГ та НДМА

Місце відбору проб	Концентрація забруднюючих речовин, мг/дм <sup>3</sup>			
	НДМГ	$I_n$	НДМА	$I_n$
Колодязь на території лісництва	0,019	0,95	0,077	7,7
Артезіанська свердловина на території лісництва	0,052	2,60	0,063	6,3
Ставок на території лісництва	0,126	6,30	0,016	1,6
Пожежна водойма на території військової частини	0,011	0,55	0,027	2,7

Отже, ділянки зберігання гептилу є екологічно небезпечними і їх знешкодження вирішує актуальну задачу ліквідації потенційних джерел виникнення надзвичайних ситуацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Технологія ліквідації інфраструктури зберігання КРП передбачає виконання низки заходів:

- знешкодження резервуарів, трубопроводів і проміжних нейтралізуючих розчинів до гранично-допустимого рівня;
- демонтаж технічних засобів зберігання КРП (резервуари, трубопроводи, арматура), складування отриманого металобрухту;
- нейтралізацію ґрунту, забрудненого КРП, рекультивацію території й поховання будівельного сміття.

Стосовно гептилу головними напрямками ліквідаційних робіт є нейтралізація резервуарів, трубопроводів і забрудненого ґрунту. Основним документом, що регламентує послідовність нейтралізації резервуарів і трубопроводів є чинна і до цього часу “Інструкція по нейтрализации технических средств после работы с мезанжами, амилон, гептилом и продуктом Т-185” [5]. Інструкція передбачає проведення наступних операцій:

- максимальне очищення резервуарів, трубопроводів від залишків гептилу шляхом їхнього знешкодження нейтралізуючим розчином :
- зачищення резервуара від шламу, його видалення з наступною нейтралізацією;
- сушіння резервуару;

- демонтаж резервуарів і трубопроводів;
- знешкодження нейтралізуючих розчинів.

Технологія знешкодження технічних засобів, викладена в [5], передбачає застосування спеціальних хімічних речовин, при цьому ефект знешкодження досягається за рахунок заповнення резервуарів відповідним розчином та тривалою витримкою їх у заповненому стані. При такій технології утворюється велика кількість знешкоджувальних розчинів, а їх знищення установками допалу супроводжується неминучим викидом шкідливих речовин в атмосферу.

Іншою вадою технології [5], не розрахованої на одночасну нейтралізацію кількох резервуарів одночасно, є її низька ефективність. Спеціальні технології знешкодження технічних засобів в об'ємі, необхідному при ліквідації складів компонентів ракетних палив, не розроблялись.

**Постановка завдання та його вирішення.** Задачею досліджень, результати яких наведено в статті, є розробка ефективної технології знешкодження технічних засобів інфраструктури, що забезпечує технічну, екологічну та санітарно-гігієнічну безпеку при проведенні ліквідації і утилізації. До технології знешкодження технічних засобів ставляться наступні вимоги:

- максимально можливе очищення технічних засобів від залишку гептилу;
- мінімальний шкідливий вплив на людину та навколишнє середовище;
- можливість безпечного знищення рідких та газоподібних токсичних відходів;
- мінімізація часу і витрат на виконання робіт;
- забезпечення високої якості знешкодження внутрішніх поверхонь резервуарів.

Крім того повинні бути враховані ті обставини, що резервуари виготовлені з вуглеводної сталі, і що в них довгий час, вже після зливу гептилу, знаходилися залишки, що не зливаються. При цьому основним небезпечним джерелом корозійної дії на внутрішню поверхню резервуарів була насичена гептилом парогазова суміш. Отже пошкоджена корозією внутрішня поверхня резервуарів зазнала максимального насичення гептилом.

Зазначені обставини визначили порядок робіт із знешкодження резервуарів і трубопроводів під час ліквідації інфраструктури зберігання гептилу.

Запропонований порядок і зміст робіт базуються на раніше розроблених ефективних та безпечних технологіях, що пройшли практичну перевірку при виконанні аналогічних проектів на уніфікованих заправних позиціях у рамках Програми зменшення воєнної загрози.

Розроблена комплексна технологія знешкодження технічних засобів інфраструктури зберігання гептилу передбачає 2 етапи виконання робіт:

*Підготовчий етап* - виконання якісної рідинної струминної обробки та зачищення внутрішніх поверхонь резервуарів, на основі застосування існуючих штатних технологічних операцій, передбачених чинними в Збройних Силах України експлуатаційними та керівними документами для роботи на складах ракетних палив, зокрема [5].

Для зачищення внутрішніх поверхонь передбачається застосування 0,05% розчину дві треті основної солі гіпокриту кальцію або хлорного вапна.

У результаті виконання підготовчого етапу забезпечується видалення пошкодженого корозією металу із внутрішніх поверхонь резервуарів і створюються сприятливі умови для остаточного знешкодження гептилу, конденсованого в капілярах матеріалу резервуару.

*Остаточне знешкодження* забезпечується шляхом обробки внутрішніх поверхонь перегрітою парою. Фізична сутність даного методу полягає в нагріванні резервуарів водяною парою до температури кипіння знешкоджуваної речовини, інтенсивному утворенні і видаленні пари гептилу з поверхні резервуарів в процесі нагрівання. Водяна пара стикаючись з холодною поверхнею резервуара конденсується і пари гептилу розчиняються в конденсаті. Одночасно водна плівка змиває залишки гептилу з поверхонь. Пари і промстоки видаляються з резервуару через дренажну й зливальну магістралі і далі через нейтралізуючий розчин.

У випадку знешкодження резервуарів температура пари може бути 120-130°C. Знешкодження резервуарів необхідно проводити по циклах, що включають пропарювання протягом оптимально обраного часу і продувку повітрям при тиску  $0,4 \cdot 10^5$  Па протягом 2-3 годин. В цьому випадку повітря з температурою  $\sim 10-20^\circ\text{C}$ , надходячи в резервуари, як більше холодне відносно пари пального, опускається вниз, поступово заповнюючи об'єм резервуару і витісняючи пари гептилу.

Знешкодження вважається закінченим, якщо за результатами контролю через 2 години, потім через 24 години і нарешті через 3 доби концентрація пари пального не піднімається вище ГДК робочої зони ( $0,1 \text{ мг/м}^3$ ).

При перевищенні ГДК цикл знешкодження повторюється.

Ефективність запропонованої технології підтверджена під час ліквідації ділянок зберігання гептилу в Любашівці Одеської області та Баловному Миколаївської області.

Після проведення знешкодження резервуари, трубопроводи і піддони вилучають з ґрунту (рис.1), проводиться складування металобрухту, рекультивацію території і поховання будівельного сміття. Окремим важливим заходом є нейтралізація ґрунту, забрудненого гептилом.



**Рис. 1 – Вилучення резервуару**

**Висновки.** На основі аналізу фізичних процесів, що відбуваються під час довготривалого зберігання в резервуарах залишків гептилу, що не зливаються, запропонована ефективна технологія знешкодження резервуарів, яка передбачає, поряд з використанням хімічних засобів нейтралізації, обробку поверхонь резервуарів парою з температурою  $120-130^{\circ}\text{C}$ . Показано, що завдяки такому підходу досягається висока якість знешкодження резервуарів, економія часу і витрат на проведення робіт.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Прохач Е.Ю. Експериментальна та аналітична оцінка забруднення ґрунту в районі сховищ компонентів ракетного палива // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2010. - Вип. 11. - С. 105-112.
2. Зрелов В.Н., Серегин Г.П. Жидкие ракетные топлива. - М.: Химия, 1975.- 320 с.
3. Шехтер М.С. Топлива и рабочие тела ракетных двигателей. - М.: Машиностроение, 1976.- 304 с.
4. Prokhach E., Popov N., Khrupenko A., Mikhalskaya L. The Ecology of Nuclear Disarmament. - К.: International Institute on Global and Regional Security, 1995. - 47 p.
5. Инструкция по нейтрализации технических средств после работы с меланжами, амиллом, гептилом, самином и продуктом Т-185. - М.: Воениздат, 1971. - 112 с.

Прохач Э.Е.

### **Реабилитация территорий хранилищ компонентов ракетных топлив**

На основе обобщения результатов обследования экологического состояния территорий размещения участков хранения компонентов ракетных топлив сформулированы основные мероприятия по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций на этих территориях. Предложена комплексная технология обеззараживания резервуаров хранения гептила, предусматривающая в качестве заключительной операции обеззараживания обработку внутренних поверхностей резервуаров перегретым паром. Эффективность предложенной технологии подтверждена при ликвидации объектов инфраструктуры ракетных войск стратегического назначения.

**Ключевые слова:** технология, обеззараживание, гептил

Prokhach E.Ye.

### **Rehabilitation of territories storage components of rocket fuel**

On the basis of summarizing the results of a survey of ecological state of territories storage sites placing components of rocket fuels formulated the basic measures to prevent emergencies in these areas. A complex technology of disinfection of storage tanks heptyl, providing a final disinfection of the processing operation of internal surfaces of tanks with superheated steam, is offered. The effectiveness of the proposed technology is confirmed by the liquidation of the infrastructure of strategic rocket forces.

**Key words:** technology, disinfection, heptyl

УДК 681.5

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

## **РОЗПОДІЛ РАЙОНІВ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ЧИННИКАМИ НЕБЕЗПЕКИ ТА НАПРУЖЕНІСТЮ ОПЕРАТИВНОЇ ОБСТАНОВКИ**

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

Визначено чинники що характеризують об'єм задач оперативно-рятувальної служби на території Харківської області. Здійснено кластеризацію районів Харківської області за рівнем напруженості оперативної обстановки та чинників небезпеки.

**Ключові слова:** рівень небезпеки, групування, кластер, район, регулювання

**Постановка проблеми.** Кожна територія має свої особливості що впливають на здійснення діяльності направленої на забезпечення безпеки населення та територій [1-2]. Регіони мають суттєві розбіжності за своїми характеристиками (площа, щільність населення, кількість адміністративних одиниць, напруженість оперативної обстановки та ін.). Відповідно об'єм завдань, оперативно-рятувальної служби залежить від ряду чинників що характеризують територію. Враховуючи вимоги Указу Президента України [3], гостро стає питання щодо оцінки відповідності штатної чисельності органів та підрозділів цивільного захисту цілям та задачам забезпечення безпеки населення та територій. В умовах скорочення чисельності центральних органів виконавчої влади регулювання кількісного складу підрозділів необхідно здійснювати спираючись на науковий підхід в оцінці об'ємів завдань що стоять перед підрозділами та органами управління цивільного захисту. Відповідно групування адміністративних одиниць регіонів за рівнем небезпеки та напруженості оперативної обстановки є актуальною науковою задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В [4-5] розглянуті питання використання методів зниження розмірності для адекватного описання об'єктів. В [6-7] викладені підходи щодо розбиття об'єктів на однорідні за ознаками групи. Визначенню кількісного складу сил та засобів оперативно-рятувальних служб для великих міст присвячена робота [8].

Питання розподілу адміністративних одиниць Харківського регіону за чинниками небезпеки та напруженістю оперативної обстановки не розглядались.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для групування адміністративних одиниць за об'ємом задач оперативно-рятувальної служби, необхідно визначити показники, які повно та адекватно описують рівень небезпеки території.

Відбір таких показників пропонується здійснювати за допомогою методу головних компонент. Головні компоненти є ортогональною системою координат, в якій дисперсії компонент характеризують їх статистичні властивості. Наявність великої кількості початкових ознак, що характеризують території практично унеможливорює 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.

Експертним методом було визначено наступні показники що характеризують об'єм завдань оперативно-рятувальної служби на території обслуговування: площа території; показник загиблих, під час надзвичайних подій, на 100 тис. населення; кількість міст на території обслуговування; кількість селищ міського типу; кількість сільських населених пунктів; кількість потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) на території; площа лісів; середнє значення кількості пожеж за останні 5 років; середнє значення прямих збитків від пожеж за останні 5 років; кількість населення.

Для отримання результатів методом головних компонент використовувалась програма для статистичних досліджень STATISTICA.

В результаті проведення аналізу було визначено, що адекватно описати особливість території адміністративних одиниць Харківської області можна за допомогою трьох компонент (факторів). Навантаження показників на фактори отримані за методом головних компонент представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Навантаження показників на фактори

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Площа території	0,233340	<b>-0,839907</b>	0,079065
Загиблі на 100 тис. населення	-0,245016	0,057700	-0,627010
Кількість міст	<b>0,770088</b>	0,098769	0,275395
Кількість селищ міського типу	<b>0,913741</b>	-0,143641	0,061610
Кількість сільських н. п.	0,431894	0,570905	0,109103
Кількість ПНО	0,295180	-0,237831	<b>0,757628</b>
Площа лісів	0,064192	0,310741	<b>0,825198</b>
Кількість пожеж	<b>0,847054</b>	0,170158	0,184256
Збитки від пожеж	<b>0,840352</b>	-0,216072	0,354871
Кількість населення	<b>0,940595</b>	-0,044259	0,290904

В таблиці 1 виділені показники які мають навантаження на фактор більше 0,75 показники щодо мають менше навантаження на фактори при проведенні кластеризації враховувати не будемо. Перший фактор характеризує територію з позиції виникнення надзвичайних подій обумовлених антропогенним впливом, другий враховує розмір території, третій фактор характеризує територію за чинниками масштабності та специфічності можливих надзвичайних подій.

Застосування методу головних компонент дозволило визначити чинники, які адекватно описують рівень потенційної небезпеки районів Харківської області. Усунення неоднорідності одиниць вимірювання показників територій було здійснено шляхом стандартизації значень показників наступним чином

$$z = (x - \bar{x})/\sigma, \quad (1)$$

де  $\bar{x}$  - середнє значення показника;  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення.

Для групування територій за визначеними факторами було вирішено  $n$  – мірне завдання щодо розподілу територій по групах з близькими показниками. Визначення відстаней між адміністративними територіями за означеними показниками було здійснено за наступним співвідношенням

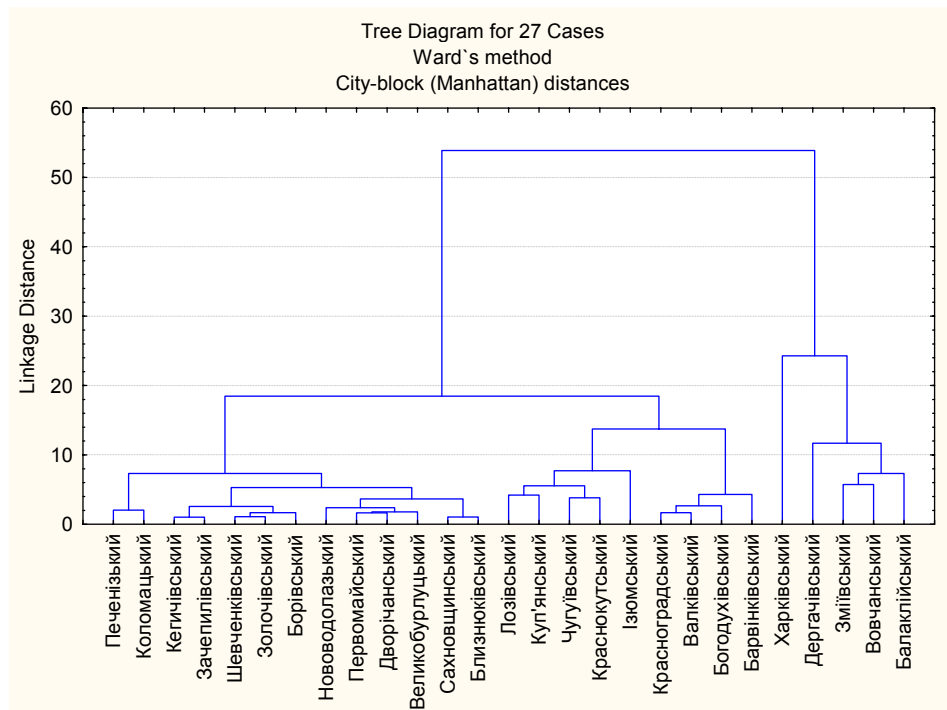
$$d_H(x_m, x_g) = \sum_{i=1}^k |x_m^i - x_g^i|, \quad (2)$$

де  $x_m^i, x_g^i$  - значення за  $i$  – им стандартизованим показником території  $m$  та  $g$  відповідно.

При проведенні кластеризації був використаний метод Варда [9, 10] за яким оцінки відстаней між кластерами знаходяться методами дисперсійного аналізу. Як відстань  $dis(Y, X)$  між кластерами  $X$  і  $Y$  береться приріст суми квадратів відстаней об'єктів до центрів кластерів отриманих при об'єднанні

$$dis(X, Y) = \frac{n_x n_y}{n_x + n_y} (\bar{X} + \bar{Y})^T \cdot (\bar{X} + \bar{Y}), \quad (3)$$

де  $\bar{X}, \bar{Y}$  радіус-вектори центрів кластерів;  $n_x, n_y$  - кількість елементів у кластерах. Метод Варда мінімізує суму квадратів для будь-яких двох кластерів, які можуть бути сформовані. На кожному кроці об'єднуються такі два кластери, які приводять до мінімального збільшення внутрішньо групової суми квадратів відстаней.



**Рис. 1 – Результати кластеризації районів Харківської області за рівнями небезпеки**

Розподіл районів Харківської області за чинниками небезпеки та напруженістю оперативної обстановки

На рис.1 представлено вертикальну деревовидну дендограму отриману за допомогою програми STATISTICA.

З наведеної дендрограми можна побачити що із всіх адміністративних одиниць виняткове положення займає Харківський район в силу своєї специфічності (відносно велика площа та кількість населення, напруженість оперативної обстановки).

Треба також окремо відмітити кластер у який увійшли Печенізький та Коломацький райони, ці райони віднесено до окремого кластеру головним чином в силу їх географічних розмірів та невеликої кількості надзвичайних подій.

**Таблиця 2 – Розподіл районів Харківської області за чинниками небезпеки та об'ємом завдань в сфері цивільного захисту**

№ кластера	Найменування району	Кількість особового складу	Середня кількість пожеж
1	Балаклійський	55	101
	Вовчанський	54	97
	<b>Зміївський</b>	<b>32</b>	<b>102</b>
	<b>Дергачівський</b>	<b>68</b>	<b>71</b>
2	Зачепилівський	27	26
	Кегичівський	27	19
	Шевченківський	32	29
	Борівський	33	20
	Золочівський	31	46
3	Краснокутський	32	40
	<b>Куп'янський</b>	<b>44</b>	<b>161</b>
	Лозівський	72	104
	Ізюмський	76	92
	Чугуївський	50	87
4	Богодухівський	32	51
	Валківський	33	66
	Барвінківський	32	26
	Красноградський	49	46
5	Близнюківський	27	20
	Великобурлуцький	31	49
	Дворічанський	27	45
	Нововодолазький	44	65
	Первомайський	43	85
	Сахновщинський	28	27
6	Коломацький	27	20
	Печенізький	27	18

Решта районів була розподілена на п'ять груп за чинниками небезпеки та об'ємом завдань щодо забезпечення безпеки населення та території. В таблиці 2 представлено розподіл районів на кластери та наведено данні щодо кількості особового складу та кількості пожеж.

Аналіз показників кількості особового складу та пожеж, в межах кластерів, дозволив визначити певну невідповідність між адміністративними одиницями (в таблиці 2 позначені курсивом). Що обумовлює проведення досліджень для з'ясування причин та обставин такої невідповідності.

**Висновки.** Отриманий розподіл районів Харківської області за чинниками небезпеки та напруженістю оперативної обстановки дає можливість обґрунтовано застосовувати функції координації та регулювання щодо кількісного складу сил та засобів цивільного захисту на території адміністративних одиниць.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Мешалкин Е.А. Исследование влияния геофизических условий на обстановку с пожарами/ Е.А. Мешалкин, А.Г. Фирсов, А.А. Порошин// Пожарная безопасность.- 1998. - №1.- С. 40-46.
2. Андреев Ю.А. Вероятность поджогов леса населением/ Ю.А. Андреев //Пожаровзрывоопасность. – 1998. - № 4, – С. 77-82.
3. Указ Президента України №1085 від 9.12.2010 року "Про оптимізацію системи центральних органів виконавчої влади" — Режим доступа: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1085/2010>.
4. 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.
5. Кендалл М. Статистические выводы и связи / М.Кендалл, А. Стьюарт – М.: Наука, 1973. – 900 с.
6. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл – М. : Статистика, 1977. – 128 с.
7. Мандель И.Д. Кластерный анализ / Мандель И.Д. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
8. Безопасность городов: имитационное моделирование городских процессов и систем/Н. Н.Брушлинский, С. В. Соколов, П. Вагнер [и др.]; – М.: изд. «ФАЗИС», 2004. – 172 с.

Рогозин А.С., Хоменко В.С.

**Распределение районов Харьковской области по уровню опасности**

Определены факторы характеризующие объем задач оперативно-спасательной службы на территории Харьковской области. Произведена кластеризация районов Харьковской области за уровнем напряженности оперативной обстановки и факторам опасности.

**Ключевые слова:** уровень опасности, группирование, кластер, район, регулирование

Rogozin A.S., Khomenko V.S.

**The distribution areas of the Kharkiv region of the level of risk**

The factors characterizing the volume of tasks quickly and Rescue Service in the Kharkiv region. Produced clustering districts of the Kharkiv region of the level of intensity of the operational situation and the risk factors.

**Key words:** level of risk, grouping, cluster, district regulation

**УДК 504.056:574:477.54**

*Рибалова О.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,*

*Белан С.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ*

**ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ ПІДТОПЛЕННЯ ШЛЯХОМ  
РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ГОСПОДАРСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ  
РІЧКОВИХ БАСЕЙНІВ**

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

В статті проаналізовано причини підтоплення і доказано необхідність дотримання співвідношення природних складових водозбірних площ річкових басейнів з урахуванням особливостей формування стоку з метою підвищення стійкості водних екосистем. Пропонується новий підхід до визначення заходів щодо зменшення ризику підтоплення на основі розрахунку показників лісистості, розораності та залуженості, що дозволить змінити спрямованість розвитку процесів в водних екосистемах у бік їхньої стабілізації. Наведено пропозиції щодо комплексу заходів по зменшенню підтоплення в Харківській області.

**Ключові слова:** підтоплення, річкові басейни, водні екосистеми, природоохоронні заходи, реструктуризація водозбірної площі

**Постановка проблеми.** Підтоплення, як природне і техногенне явище, погіршує умови формування поверхневих і підзем-



них вод та функціонування господарських об'єктів, знижує родючість ґрунтів. Найбільш інтенсивно підтоплені забудовані території, що прилягають до ділянок зрошення та зон впливу водосховищ, каналів, ставків, річок, розробки родовищ корисних копалин. Причиною цього є порушення природного гідрогеологічного режиму підземних та поверхневих вод і зарегульованість поверхневих водотоків несанкціонованим будівництвом ставків.

Негативними наслідками підтоплення є забруднення підземних вод, погіршення санітарного стану територій, засолення і заболочування ґрунтів, зниження урожайності сільськогосподарських угідь, виникнення надзвичайних ситуацій внаслідок деформації будівель і споруд, обвалів, зсувів та виникнення інших небезпечних екзогенних процесів.

Динаміка процесу підтоплення на території Харківської області в останні роки має прогресуючий характер. Підтоплення спостерігається в багатьох сільських населених пунктах Харківської області. Із загальної кількості 1741 сільських населених пунктів в багатоводні роки в області підтопленню піддається 121 село і 29 селищ міського типу. Крім того, підтоплюються такі міста Харківської області як Балаклія, Богодухів, Вовчанськ, Ізюм, Куп'янськ, Мерефа [1].

Підтопленню території сприяє збільшення орних земель, що обумовлює замулення річок, знищення лісів в басейнах, засипання балок. Крім того, природно високі рівні ґрунтових вод мають тенденцію до підвищення через розораність схилів і заплавної ділянок, що активізує замулення річок.

Для раціонального використання водних ресурсів потрібен всебічний аналіз взаємозв'язків усіх компонентів ландшафтно-географічної системи в цілому, облік їхнього генезису і властивостей, закономірностей формування та змін під впливом природних й антропогенних чинників.

Тому впровадження запропонованого в статті підходу до реструктуризації господарського використання водозбірних площ річкових басейнів є дуже актуальним для оздоровлення та збереження водних екосистем і зменшення ризику підтоплення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В результаті інтенсивного водокористування відбуваються зміни водності річок, рельєфу русла, заплави, берегових ліній. Головними причинами, що викликають негативні наслідки на річках, є порушення природного механізму надходження рідкого і твердого стоків і їхнє

---

Зменшення ризику підтоплення шляхом реструктуризації господарського використання річкових басейнів

транспортування руслом річки. Зміни в цих процесах привели до того, що на річках установилися не притаманні раніше для них гідрологічні умови – різкі періодичні підйоми і спади рівнів води.

При вивченні гідрохімічних і гідрологічних особливостей водних екосистем необхідно розглядати їх як складову частину єдиного біогеоценозу з усіма прямими і зворотними зв'язками й у взаємодії всіх його елементів.

Дослідженню особливостей формування річкового стоку та науковому обґрунтуванню необхідності впровадження природоохоронних заходів по відродженню водних екосистем присвячено чимало наукових праць [2-5].

Особливо впливають на водність річки збільшення площ орних земель, косовиць, пасовищ тощо. Ця реконструкція природи порушила природні процеси надходження і розподілу вологи, трансформованої з навколишнього середовища в річки [6]. Саме через порушення умов нормального протікання цих процесів, прояву механізму акумулювання вологи атмосфери поверхнею землі і відбуваються необоротні гідрологічні явища, що ведуть до обміління і загибелі річок та є причиною підтоплення територій, тому впровадження заходів щодо зменшення цього негативного впливу на формування водних екосистем є надзвичайно актуальною задачею.

**Постановка завдання та його вирішення.** В статті пропонується новий підхід до визначення заходів щодо запобігання підтоплення і оздоровлення річок на основі дослідження позитивних і негативних чинників, що впливають на розвиток процесів в їх басейнах.

Основна роль у своєчасному забезпеченні надходження вологи в річки належить ґрунтам лісів і степів, що служать посередниками між кліматичними і гідрологічними процесами, які протікають на територіях басейнів річок. Ґрунти лісів і степів знижують інтенсивність танення снігів навесні і сповільнюють стік талих та дощових вод з водозбірної площі, що дає змогу запобігти підтопленню територій.

Негативні впливи на водно-фізичні властивості лісових ґрунтів мають лісові пожежі та вирубка лісу, що руйнує підстилку, ущільнює ґрунт і тим самим змінює їхню водопроникність. Порушується і структура ґрунтів. Відбувається руйнування найбільш дрібних агрегатних елементів, спостерігається зменшення в ґрунтах вмісту гумусу, який сприяє утриманню вологи. Створюються

умови для збільшення випаровування вологи з поверхні, порушується механізм живлення і поповнення підземних вод.

Зміна структури ґрунтів впливає на характер надходження вод у поверхневі водні об'єкти. В даний час збільшився поверхневий стік, частка якого складає до 70% від повного, а частка загального зволоження ґрунту і живлення річок підземними водами знизилася в порівнянні з природним водним балансом. Це і означає в сучасних умовах різкі коливання рівнів води в річках.

У періоди танення снігів і дощів із прилеглих територій, схилів, які обробляються, у заплаву і русло річки зі стоком транспортується величезна кількість теригенного матеріалу. Оскільки в даний час річкові басейни фактично збезлісені і на 60-70% використовуються для вирощування однолітніх просапних сільськогосподарських культур, талі і дощові води, стікаючи до річки, руйнують зораний ґрунт і, захоплюючи материкові частки, заносять їх у русло.

У процесі замулення річок велике значення має характер течії у річці. Якщо швидкість потоків води не забезпечує (хоча б періодично) транспортування з басейну річок виносного твердого матеріалу, залишків рослин трасою русла, то тут поступово утворюються мілини і піщані коси. Ці нові утворення в річці швидко і рясно заростають надводною і підводною рослинністю, що призводить до звуження річкового русла і до подальшого повного замулення й заростання. Це створює передумови до заболочування, тому що річка вже далі не може пропустити ту кількість води, що надходить у неї в період повені та зatoryжних дощів. Вода, що не вміщається в замулені русла, виходить на заплаву і довгий час залишається там. Слід зазначити, що в даний час практично будь-яка весняна повінь чи дощовий паводок викликає постійне затоплення заплав малих річок.

При лісових пожежах і вирубці лісів, крім порушень водного балансу екосистеми річкового басейну, виникають певні зміни й у біотичному балансі, круговороті біогенних елементів, переривається річний цикл обігу поживних речовин не тільки в лісі, але й в інших підсистемах басейну.

Лісові насадження впливають на якісну складову стоку, поглинаючи з розчину катіони й аніони, поліпшуючи бактеріологічні властивості води, очищуючи їх від зважених твердих часток та впливаючи на температурний режим водних об'єктів. Ліс сприяє переходу поверхневого стоку у внутрішній і підвищенню меженно-

Зменшення ризику підтоплення шляхом реструктуризації господарського використання річкових басейнів

го стоку за рахунок підземного харчування, а також знижує пікові навантаження поверхневого стоку [5,6].

Аналіз причин зміни водності, виникнення підтоплення і погіршення якісного стану річок показав, що останні залежать від параметрів, що характеризують стан поверхні водозбору (лісистість, заболоченість, розораність, зарегульованість і інші показники).

До антропогенних чинників, що є причиною деградаційних процесів екосистем річок та підвищення ризику підтоплення відносяться, насамперед, розораність ( $P$ ), урбанізованість ( $У$ ), водозбір підприємств промисловості, комунального і сільського господарства ( $BЗ$ ), стічні води підприємств промисловості, комунального і сільського господарства ( $СВ$ ).

До “позитивних” чинників стабілізації і поліпшення стану екосистем басейнів річок відносяться: лісистість ( $Л$ ); залуженість ( $ЛГ$ ); озерність ( $ПО$ ); показник зміни стоку річки ( $ВІ$ ).

Для стабілізації процесів формування гідрологічного і гідрохімічного режимів річки необхідно дотримуватись умови [5,6]

$$(У + P) \times (BЗ + СВ) < (Л + ЛГ) \times (ПО + ВІ) \quad (1)$$

Для кожної природної зони і підзони існують значення лісистості, розораності й інших показників, при яких компоненти природного середовища знаходяться в близьких до оптимальних відношеннях. Відхилення фактичних показників формування гідрологічного і гідрохімічного режимів річок від природних (антропогенно-непорушених) дозволяє визначити імовірність порушення екологічної стійкості басейнів річок і може бути прийнята як міра екологічної небезпеки [5,6].

При недотриманні оптимального співвідношення площ підсистем лісу, луку, поля порушується природне формування річкового стоку, що за умов інтенсивного водокористування викликає ризик підтоплення. З метою покращення екологічного стану річок необхідно провести реструктуризацію водозбірної площі. На першому етапі реструктуризації господарського використання водозбірної площі необхідно розрахувати оптимальну лісистість [6]

$$L_0 = L_6 + \frac{(O_p - M_p) \times (100 - L_6)}{100 - M_p}, \quad (2)$$

де  $L_o$  – оптимальна лісистість басейну річки, частка від 1;  $L_b$  – існуюча лісистість басейну річки, частка від 1;  $O_p$  – загальна оптимальна лісистість району, частка від 1;  $M_p$  – масивна лісистість району, частка від 1.

При досягненні оптимальної лісистості прогнозний показник зміни стоку ( $W_{np_{ce}}$ ) визначається за формулами [6]

$$W_{np_{ce}} = W_{ce} + \frac{W_{ce} \times (L_b - L_o) \times 0,4}{100}, \quad (3)$$

$$BI_{lo} = W_{np_{ce}} / W_p, \quad (4)$$

де  $W_{np_{ce}}$  – прогнозний середньорічний стік річки при досягненні оптимальної лісистості, тис.м<sup>3</sup>;  $W_{ce}$  – середньорічний стік річки, тис.м<sup>3</sup>;  $W_p$  – норма стоку річки, тис.м<sup>3</sup>;  $BI_{lo}$  – показник зміни стоку річки при досягненні оптимальної лісистості, частка від 1.

Чинники, якими не керують при реструктуризації господарського використання водозбірної площі позначимо таким чином

$$U = B_1; (B_3 + CB) = B_2; L_o = B_3; (PO + BI) = B_4, \quad (5)$$

Показник допустимої розораності розраховується за формулою

$$P_d = \frac{B_4}{2B_2} \times (L\Gamma_n + B_3) - B_1, \quad (6)$$

де  $P_d$  – показник допустимої розораності, частка від 1;  $L\Gamma_n$  – нормативна залуженість (0,25 – 0,3) в частках від 1.

Показник необхідної залуженості пропонуємо розрахувати за формулою

$$L\Gamma_o = \frac{2B_2}{B_4} \times (P_n + B_1) - B_3, \quad (7)$$

де  $L\Gamma_o$  – показник необхідної залуженості, частка від 1;  $P_n$  – нормативна розораність (0,45 – 0,5) в частках від 1.

Запропонований підхід до реструктуризації водозбірної площі дозволив розробити пропозиції з удосконалення комплексу

Зменшення ризику підтоплення шляхом реструктуризації господарського використання річкових басейнів

природоохоронних заходів при розробці “Програми збереження малих річок Харківської області до 2016 року”.

Відповідно до представленої методики розраховано необхідні обсяги залісення, залуження і зменшення площі розораності водозбірної площі річкових басейнів Харківської області (табл.1). При зменшенні розораності водозбірної площі басейнів малих річок до допустимих величин значно зменшиться показник впливу антропогенних чинників і коефіцієнт спрямованості розвитку процесів.

**Таблиця 1 – Пропозиції щодо реструктуризації господарського використання водозбірної площі басейнах малих річок Харківської області**

Назва річки	Зменшення площі розораності, га	Збільшення площі лісів, га	Збільшення площі луків, га
р.Тетлега	-	-	757,03
р.Студенок	2761,92	477,26	-
р.Балаклійка	168,84	1114,88	1625,64
р.Волоська Балаклійка	4120,11	4651,11	7875,84
р.Крайня Балаклійка	908,05	694,72	1668,37
р.Сухой Торець	1164,10	10140,22	21457,63
р.Орілька	17959,83	2714,66	222,68
р.Берестова	33,54	1486,87	5708,44

Крім запропонованих заходів з реструктуризації водозбірної площі річкових басейнів для поліпшення екологічного стану і зменшення ризику підтоплення території Харківської необхідно:

- зменшити скид забруднених стічних вод у річки, особливо Сіверський Донець і його припливи, малі річки, шляхом упровадження передових маловідходних технологій, будівництва нових і підвищення ефективності діючих очисних споруджень (у першу чергу в містах Зміїв, Чугуїв, Балаклея, Ізюм);

- звести споруди з перехопленням й очищенням поверхневого зливого стоку з території населених пунктів і промислових вузлів, особливо в Ленінському і Жовтневому районах міста Харкова і Лозівському промисловому вузлі;

- вирішити проблему знешкодження й утилізації стічних вод і відходів тваринницьких комплексів, у першу чергу, розташованих у водозбірних басейнах річок і водойм;
- у водозбірних басейнах провести комплекс протиерозійних, лісолугомеліоративних і гідротехнічних заходів, що зменшують утворення твердого стоку і замулення русьвів річок і водойм;
- завершити роботу з установлення границь водоохоронних зон прибережних смуг рік і водойм. Провести в них комплекс технічних заходів, передбачених Положенням про водоохоронні зони і прибережні смуги малих рік і водойм;
- упровадити засоби автоматизованого контролю кількості, складу і властивостей стічних вод на великих підприємствах області.

Першочерговими об'єктами щодо захисту від підтоплення є такі населені пункти: Кегичівка, Сахновщина, Орелька і Хижняківка Лозівського району, Лиман Зміївського району, Циркуни, Тишки, Борщова. Жовтневе та Липці Харківського району [1].

Реалізація всього комплексу протипаводкових заходів повинна здійснюватись у тісному зв'язку з виконанням вимог Водного кодексу та природоохоронних робіт: впорядкування лісосмуг, додержання екологічних вимог під час добування корисних копалин, а також недопущення будівництва житлових об'єктів, доріг у зонах паводкових вод, зменшення розорювання земель у басейнах річок, залісення і залуження водоохоронних територій.

**Висновки.** Для запобігання підтоплення території і мінімізації збитків від шкідливої дії вод необхідно ретельно досліджувати природні особливості екосистем з виявленням умов їх стійкої рівноваги, аналізувати наслідки антропогенного впливу та вчасно розробляти і здійснювати протипаводкові заходи з забезпеченням надійності функціонування комплексу захисних засобів і споруд.

З метою зменшення ризику підтоплення запропоновано метод реструктуризації водозбірної площі річкових басейнів, що дозволить значно покращити стан їх екосистем. Як показують розрахунки, завдяки збільшенню площ лісів і лугів, а також зменшення розораності водозбірної площі можна досягнути зменшення розвитку деградаційних процесів в басейнах малих річок.

Відродження річок може бути досягнуте шляхом усунення причин їхньої деградації і здійснення комплексу спеціальних організаційних, агротехнічних, лісомеліоративних і інших відбудовних водоохоронних заходів на основі аналізу раціональності гос-

---

Зменшення ризику підтоплення шляхом реструктуризації господарського використання річкових басейнів

подарського використання їхніх водних ресурсів і земель водозбірної площі.

Покращення екологічного стану річок та забезпечення виконання природоохоронного законодавства дозволить не тільки відродити річки Харківської області і захистити продуктивні землі, але й створити безпечні умови для проживання населення області.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області в 2009 році [Текст] / інформ. видан. / Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Харківській області. – Харків. – 2010 – 221 с.
2. Анисимова С.В. Разработка системы водоохранных мероприятий в бассейнах малых рек [Текст] / Анисимова С.В., Кузин А.К. // Пути восстановления водности малых рек степной зоны. - Ростов-на-Дону, 1984. - С.5-14.
3. Рыбалова О.В. Определение комплекса природоохранных мероприятий на основе оценки направленности процессов в экосистемах малых рек [Текст] / Рыбалова О.В. // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2003. - № 6 (6). - С. 88 – 92.
4. Рыбалова О.В. Метод идентификации бассейнов малых рек с низкой устойчивостью к антропогенной нагрузке [Текст] / Рыбалова О.В. // Довкілля та здоров'я. – К.: НППЦ „Екологія. Наука. Техніка” Товариства „Знання” України – 2004. - №2. - С. 37-48.
5. Рыбалова О.В. Комплексний підхід до визначення екологічного стану басейнів малих річок [Текст] / Рыбалова О.В. // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки. зб. наук. пр. УкрНДІЕП. – Вип. XXXIII . Харків. - 2011. – С.88-97.
6. Рыбалова О.В. Заходи щодо зменшення впливу лісових пожеж на екологічний стан малих річок [Текст] / Рыбалова О.В. Белан С.В. // Восточно-Европейский журнал передових технологий. – Харьков. - 2011. – № 6/8 (54). – С. 52 - 57



Рыбалова О. В., Белан С. В.

**Уменьшение риска подтопления путем реструктуризации хозяйственного использования речных бассейнов**

В статье проанализировано причины подтопления и доказана необходимость соблюдения соотношения природных компонентов водосборных площадей речных бассейнов с учетом особенностей формирования стока с целью повышения устойчивости водных экосистем. Предлагается новый подход к определению мероприятий по уменьшению риска подтопления на основе расчета показателей лесистости, распаханности и залуженности, что позволит изменить направленность развития процессов в водных экосистемах в сторону их стабилизации. Представлены предложения к комплексу мероприятий по уменьшению подтопления в Харьковской области.

**Ключевые слова:** подтопление, речные бассейны, водные экосистемы, природоохранные мероприятия, реструктуризация водосборной площади

Rybalova O. V., Belan S. V.

**Risk reduction of impoundment by restructuring economic usage of river basins**

This article was analyzed reasons of impoundment and was proven the necessity of keeping the ratio of the natural components of drained areas of river basins with taking into account features of the formation of a drain for the purpose of increasing the stability of aquatic ecosystems. A new approach to the identification of measures that reduce the risk of the impoundment based on the calculation of optimal percentage of forest land, tilled and tinned will change the direction of development processes towards their stability. The proposals for a package of measures to reduce impoundment in the Kharkiv region

**Key words:** impoundment, river basins, aquatic ecosystems, nature protection measures, restricting of a drain area

УДК 614.8

*Светличная С.Д., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИИ ПРИ НАКРЫТИИ МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ ПЕРВИЧНЫМ ОБЛАКОМ ТОКСИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

По критерию минимума максимального значения концентрации токсического вещества в воздухе вдоль маршрута следования определено оптимальное направление эвакуации

**Ключевые слова:** токсическое вещество, первичное облако, концентрация вещества в воздухе

**Постановка проблемы.** При чрезвычайных ситуациях, сопровождающихся выбросом токсических веществ в воздух, выделяют первичное и вторичное облако. Первичное облако образуется при выбросе газов или быстроиспаряющихся жидкостей. Такое облако, распространяющееся под влиянием ветра и диффузии, представляет серьезную опасность для персонала предприятия и населения. Практически единственной возможностью защиты от него является эвакуация. При этом возникает вопрос выбора маршрута движения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [3] рассмотрено воздействие первичного облака токсического вещества на человека, но не рассмотрена задача его защиты путем эвакуации из опасной зоны. В работах [1-2] поставлена задача эвакуации населения по существующей сети дорог. При этом остается нерассмотренной задача эвакуации, допускающая движение в произвольном направлении, что является актуальным для обслуживающего персонала установок, содержащих токсические вещества.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является определение оптимального направления эвакуации по критерию минимума максимального значения концентрации токсического вещества вдоль пути следования при прямолинейном и равномерном движении в условиях мгновенного выброса токсического вещества в атмосферу.

Выберем систему координат таким образом, чтобы место аварии совпадало с началом координат, а направление оси  $Ox$  совпадало с направлением ветра. Тогда при мгновенном выбросе токсического вещества в атмосферу его концентрация в произвольный момент времени  $t > 0$  в точке  $(x, y, z)$  будет определяться выражением

$$q(x, y, z, t) = \frac{m}{8(\pi ta)^{3/2}} \exp\left[-\frac{(x - v_g t)^2 + y^2}{4at}\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{(z - H)^2}{4at}\right] + \exp\left[-\frac{(z + H)^2}{4at}\right] \right\}, \quad (1)$$

где  $q$  – концентрация токсического вещества в воздухе,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $m$  – масса выброса,  $\text{кг}$ ;  $a$  – коэффициент турбулентной диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $v_g$  – скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $H$  – высота, на которой произошел выброс,  $\text{м}$ .

Рассматривая приземный выброс и концентрацию токсического вещества лишь в приземном слое, будем полагать  $z \approx 0$  и  $H \approx 0$ . Тогда (1) примет вид

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

Маршрут эвакуации из точки  $(x_0, y_0, 0)$  для случая равномерного прямолинейного движения описывается уравнениями

$$\begin{cases} x = x_0 + v_x t; \\ y = y_0 + v_y t, \end{cases} \quad (3)$$

где  $(v_x, v_y) = \vec{v}$  – вектор скорости движения. Подставляя (3) в (2), получим зависимость концентрации от времени при движении вдоль прямой (3)

$$q(t) = \frac{m}{4(\pi t a)^{3/2}} \exp \left[ -\frac{(x_0 + (v_x - v_s)t)^2 + (y_0 + v_y t)^2}{4at} \right]. \quad (4)$$

Для нахождения экстремумов концентрации продифференцируем (4) по времени

$$\begin{aligned} \frac{dq}{dt} &= \frac{m}{4(\pi a)^{3/2}} \exp \left[ -\frac{(x_0 + (v_x - v_s)t)^2 + (y_0 + v_y t)^2}{4at} \right] \times \\ &\times \left[ -\frac{3}{2} \frac{1}{t^{5/2}} - \frac{1}{t^{3/2}} \frac{2(x_0 + (v_x - v_s)t)(v_x - v_s)t + 2(y_0 + v_y t)v_y t}{4at^2} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{(x_0 + (v_x - v_s)t)^2 + (y_0 + v_y t)^2}{4at^2} \right] = \\ &= \frac{m}{4(\pi a)^{3/2}} \exp \left[ -\frac{(x_0 + (v_x - v_s)t)^2 + (y_0 + v_y t)^2}{4at} \right] \times \\ &\times \left[ -\frac{3}{2} \frac{1}{t^{5/2}} - \frac{1}{t^{3/2}} \frac{(x_0 + (v_x - v_s)t)((v_x - v_s)t - x_0) + (y_0 + v_y t)(v_y t - y_0)}{4at^2} \right]. \end{aligned}$$

Приравнявая к нулю производную  $dq/dt$ , получим уравнение относительно  $t$

$$-6at = (v_x - v_s)^2 t^2 - x_0^2 + v_y^2 t^2 - y_0^2. \quad (5)$$

Введем обозначения  $R^2 = x_0^2 + y_0^2$ ;  $V^2 = (v_x - v_s)^2 + v_y^2$ . Тогда

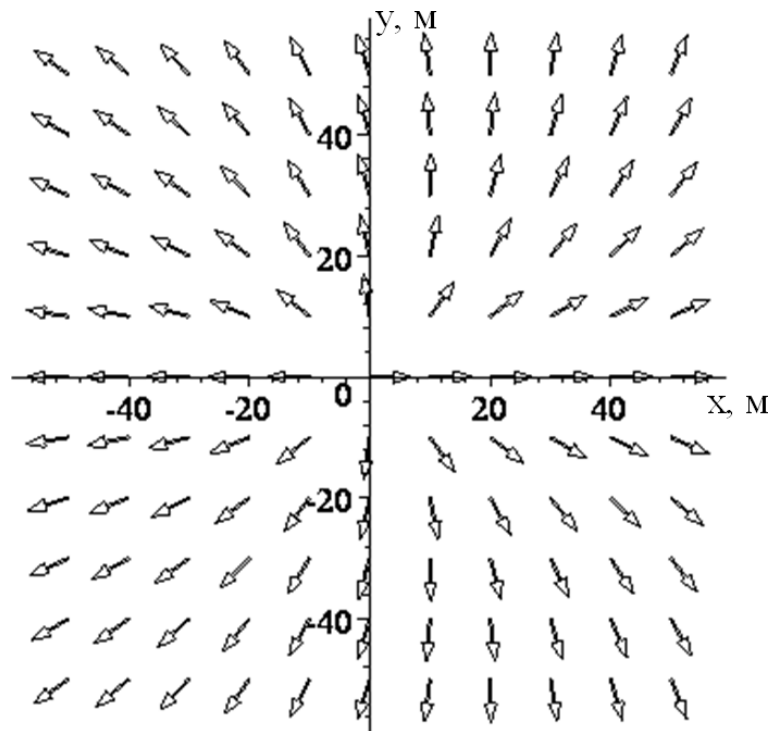
$$V^2 t^2 + 6at - R^2 = 0. \quad (6)$$

Решением уравнения (6) будет

$$t^* = \frac{-3a + \sqrt{9a^2 + V^2 R^2}}{V^2}. \quad (7)$$

Подстановка решения (7) в выражение (4) позволяет найти максимальное значение концентрации при следовании выбранным маршрутом. Выбирая теперь направление, в котором максимальная концентрация будет минимальна, получим оптимальное направление вектора движения при эвакуации из данной точки при заданных скоростях ветра  $v_0$  и движения  $|\vec{v}|$ , коэффициенте диффузии  $a$ . В качестве примера на рис. 1 – рис. 3 приведены оптимальные направления эвакуации для  $|\vec{v}| = 2 \text{ м/с}$ ,  $a = 10 \text{ м}^2/\text{с}$ .

Анализ направлений на рис. 1 – рис. 3 показывает, что при скорости ветра, меньшей, чем скорость движения, направления эвакуации расположены радиально относительно точки выброса токсического вещества (рис. 1). С увеличением скорости ветра (рис. 2, рис. 3) «убегание» от места аварии становится неэффективным и следует уходить под углом к направлению ветра. При этом для начальной точки  $(x_0, y_0)$ , расположенной на оси  $OX$  на наветренной стороне, начиная с некоторого расстояния, следует уходить под углом к направлению ветра влево или вправо (раздвоение стрелок на рис. 2 и рис. 3).



**Рис. 1 – Оптимальные направления эвакуации при скорости ветра  $v = 1 \text{ м/с}$ , направление ветра совпадает с направлением оси  $OX$**

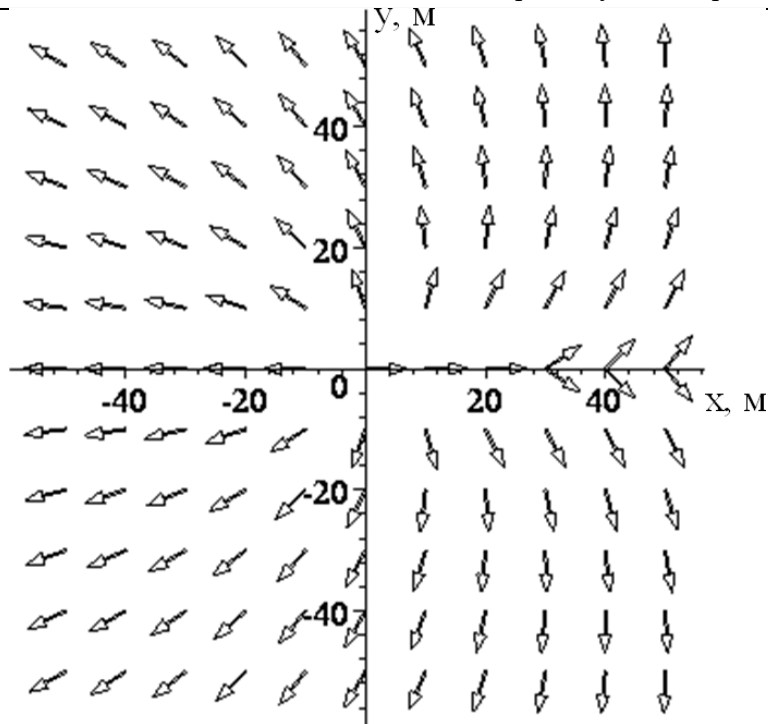


Рис. 2 – Оптимальные направления эвакуации при скорости ветра  $v = 3$  м/с, направление ветра совпадает с направлением оси  $OX$

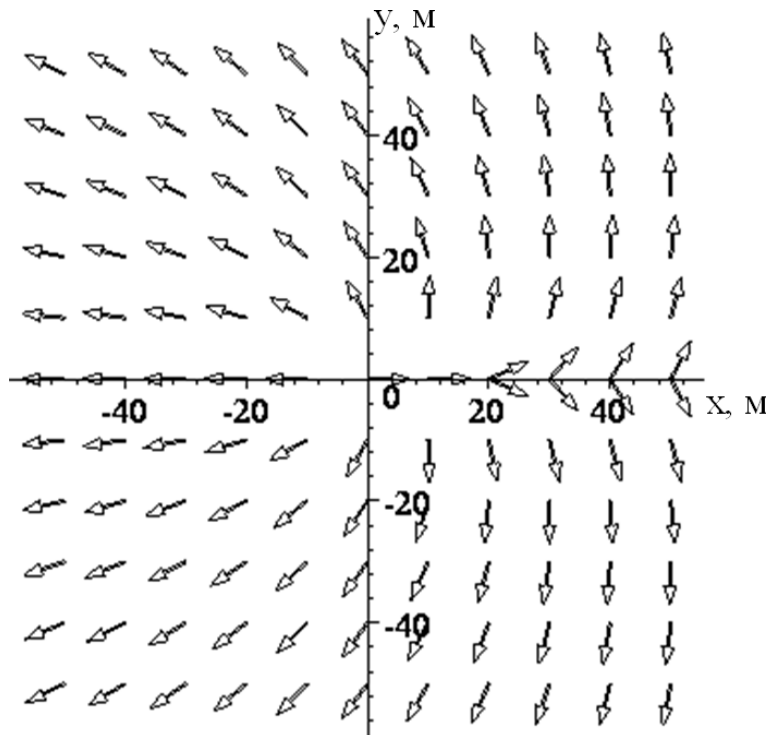


Рис. 3 – Оптимальные направления эвакуации при скорости ветра  $v = 6$  м/с, направление ветра совпадает с направлением оси  $OX$

**Выводы.** По критерию минимума максимального значения концентрации токсического вещества вдоль пути следования определены оптимальные направления эвакуации при прямолинейном и равномерном движении в условиях мгновенного выброса токсического вещества в атмосферу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев В.Ю. Шляхи підвищення ефективності наземної евакуації населення при надзвичайних ситуаціях / В.Ю. Беляев // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2010. – Вип. 12. – С. 37-43.
2. Беляев В.Ю. Нахождение оптимального маршрута эвакуации населения по существующей сети автодорог / В.Ю. Беляев, А.А. Тарасенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2011. – Вип. 13. – С. 39-46.
3. Светличная С.Д. Оценка полученной токсодозы при распространении первичного облака токсического вещества / С.Д. Светличная // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2011. – Вип. 13. – С.127-132.

Світлична С.Д.

**Вибір оптимального напрямку евакуації при накрытті маршруту руху первинною хмарою токсичної речовини**

За критерієм мінімуму максимального значення концентрації токсичної речовини в повітрі вздовж маршруту визначено оптимальний напрямок евакуації

**Ключові слова:** токсична речовина, первинна хмара, концентрація токсичної речовини в повітрі

Svetlichnaya S.D.

**Selection of optimal direction for evacuation route under primary cloud toxic substances**

The optimal direction of evacuation is determined by the criterion of minimum of maximum concentrations of toxic substances in the air along the route

**Key words:** toxic substance, primary cloud, concentration of toxic substance in the air

*Стрілець В.М., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,  
Бородич П.Ю., канд. техн. наук, викл., НУЦЗУ,  
Ковальов П.А., канд. техн. наук, заст. нач. каф., НУЦЗУ*

**ОБГРУНТУВАННЯ СПРОЩЕНИХ РОЗРАХУНКІВ НА ПОСТУ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В АСП ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В МЕТРОПОЛІТЕНІ**  
(представлено д-ром фіз.-мат. наук Яковлевим С.В.)

Пропонуються рекомендації постовому на посту безпеки з розрахунку часових характеристик при роботі в захисних дихальних апаратах із застосуванням спрощених співвідношень при ліквідації надзвичайних ситуацій в метрополітені

**Ключові слова:** АСП, метрополітен, рятувальні роботи, пост безпеки, контрольний тиск, спрощені розрахунки

**Постановка проблеми.** Сучасні керівні документи щодо проведення аварійно-рятувальних робіт в метрополітені [1,2] вимагають, щоб рятувальники почитали працювати одразу по прибуттю на ліквідацію надзвичайної ситуації в тих захисних апаратах, які знаходяться на озброєнні конкретної оперативно-рятувальної частини. В той же час, в них же для таких робіт наведені рекомендації по розрахунку часових параметрів тільки для регенеративних дихальних апаратів. При цьому розрахунки не передбачають застосування спрощених співвідношень.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** показав, що спрощені розрахунки щодо визначення основних часових параметрів роботи, які використовуються на посту безпеки під час гасіння пожеж, ґрунтуються на показник легеневої вентиляції  $\omega_n=30$  л/хв., який відповідає роботі середнього ступеня важкості [3,4]. В той же час, в роботах [5,6] відмічено, що під час АСП СМ показник легеневої вентиляції, а відповідно і витрати повітря із апарату, суттєво залежить від характеру роботи (спуск, підйом, підйом з потерпілим...) відділення ГДЗС.

При цьому в роботі [7] обґрунтована рекомендація щодо визначення моменту припинення розвідки, в якій зазначено, що повернення необхідно почати у тому випадку, коли тиск повітря в АСП зменшиться на 25% від початкового.



Стосовно основних часових характеристик, які розраховуються і постійно контролюються на посту безпеки, в останній редакції Настанові з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України [8] ці показники визначені тільки для ситуацій, коли витрати повітря на протязі всього часу вважаються постійними і не враховують момент припинення розвідки. Тобто, під час проведення АРР СМ ними користуватись не можна, навіть за умови використання неспрощених співвідношень.

**Постановка завдання та його вирішення.** Таким чином, актуальною є задача розробки рекомендації постовому на посту безпеки з розрахунку часових характеристик при роботі в захисних дихальних апаратах із застосуванням спрощених співвідношень.

З урахуванням того, що швидкість падіння тиску під час розвідки та проведення невідкладних робіт біля осередку надзвичайної ситуації складає 1 МПа/хв. [9], а також те, що на проведення розвідки можна витратити не більше 25% початкового тиску [7], використовуючи підхід до визначення спрощених розрахунків, який спирається на швидкість падіння тиску в балоні (балонах) [5], розрахунковий час припинення розвідки визначається як

$$t_{\text{прип розв}} = t_{\text{включення}} + t_{\text{розвідки}} = t_{\text{включення}} + \frac{\frac{P_{\text{поч}}}{4}}{\frac{\Delta P}{\Delta t}} = \begin{cases} t_{\text{включення}} + \frac{P_{\text{поч}}}{4 \cdot 1} \\ t_{\text{включення}} + \frac{P_{\text{поч}}}{4 \cdot 10} \end{cases} = \begin{cases} t_{\text{включення}} + \frac{P_{\text{поч}}}{4}, \text{ якщо тиск вимірюється в МПа;} \\ t_{\text{включення}} + \frac{P_{\text{поч}}}{40}, \text{ якщо тиск вимірюється в кгс/см}^2. \end{cases} \quad (1)$$

При цьому слід відмітити, що коефіцієнт 4 в (1) має розмірність МПа/хв. (відповідно 40 – (кгс/см<sup>2</sup>)/хв.).

Розрахунковий час повернення ланки з урахуванням [7] того, що під час підйому з потерпілим швидкість падіння тиску складає до 1,5 МПа/хв. та (1) визначається як

$$\begin{aligned}
 t_{\text{повернення}} &= t_{\text{включення}} + t_{\text{розвідки}} + t_{\text{повернення}} = t_{\text{включення}} + \\
 &+ \frac{1/4 P_{\text{поч}}}{\Delta P / \Delta t} + \frac{3/4 P_{\text{поч}}}{\Delta P / \Delta t} = t_{\text{включення}} + \frac{1/4 P_{\text{поч}}}{1} + \frac{3/4 P_{\text{поч}}}{1,5} = \quad (2) \\
 &= \begin{cases} t_{\text{включення}} + \frac{3P_{\text{поч}}}{4}, \text{ якщо тиск вимірюється в МПа;} \\ t_{\text{включення}} + \frac{3P_{\text{поч}}}{40}, \text{ якщо тиск вимірюється в кгс/см}^2. \end{cases}
 \end{aligned}$$

При розробці рекомендацій щодо спрощених розрахунків часу роботи та часу припинення розвідки в регенеративних дихальних апаратах (РДА) було враховано [9], що середня витрата кисню оцінюється на рівні 2 л/хв. Тобто, швидкість падіння тиску в апаратах з однолітровим кисневим балоном дорівнює 0,2 МПа/хв., а з дволітровим – 0,1 МПа/хв. В [3,4] відмічено, що на момент виходу при роботі в РДА не повинен бути задіяним лишковий тиск  $P_{\text{лиш}}$ . Тобто, розрахунковий час повернення визначається в залежності від моменту, коли ланка завершила просування до місця НС і приступила до робіт біля осередку,

$$\begin{aligned}
 t_{\text{нов}}(\text{РДА}) &= t_{\text{вкл}} + t_{\text{вх}} + t_{(\text{робота, вихід})} = t_{\text{вкл}} + t_{\text{вх}} + \\
 &+ \frac{\min(P_{i \text{ поч}} - P_{i \text{ вх}}) - \max(P_{i \text{ вх}}) - P_{\text{лиш}}}{\Delta P / \Delta t} \quad (3),
 \end{aligned}$$

тобто, під час безпосередніх розрахунків газодимозахисниками буде використовуватись один з наступних виразів

$$t_{\text{нов}}(\text{РДА}) = \begin{cases} t_{\text{вкл}} + t_{\text{вх}} + \frac{\min(P_{i \text{ поч}} - P_{i \text{ вх}}) - \max(P_{i \text{ вх}}) - P_{\text{лиш}}}{0,2}, \\ \text{якщо в РДА } - V_{\text{балона}} = 1\text{л, МПа;} \\ t_{\text{вкл}} + t_{\text{вх}} + \frac{\min(P_{i \text{ поч}} - P_{i \text{ вх}}) - \max(P_{i \text{ вх}}) - P_{\text{лиш}}}{2}, \\ \text{якщо в РДА } - V_{\text{балона}} = 2\text{л, кгс/см}^2; \end{cases}$$

$$t_{нов}(РДА) = \begin{cases} t_{вкл} + t_{вх} + \frac{\min(P_{i\text{ поч}} - P_{i\text{ вх}}) - \max(P_{i\text{ вх}}) - P_{лиш}}{0,1}, \\ \text{якщо в РДА-}V_{балона} = 2\text{л, МПа;} \\ t_{вкл} + t_{вх} + \frac{\min(P_{i\text{ поч}} - P_{i\text{ вх}}) - \max(P_{i\text{ вх}}) - P_{лиш}}{1}, \\ \text{якщо в РДА-}V_{балона} = 2\text{л, кгс/см}^2. \end{cases}$$

Враховуючи двократний запас кисню [9], при визначенні контрольного тиску  $P_{прип\ розв}$  та часу  $t_{прип\ розв}$ , за якого ланці в РДА необхідно припинити розвідку, доцільно використовувати наступні співвідношення

$$P_{прип\ розвідки} = \frac{\min(P_{i\text{ поч}}) - P_{лиш}}{3}, \quad (4)$$

$$t_{прип\ розвідки} = t_{вкл} + \frac{\min(P_{i\text{ поч}}) - P_{лиш}}{3 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t}}. \quad (5)$$

Відповідно і використовується в залежності від градуїровки манометра, яким обладнано РДА, а також місткості його балону одне з наступних спрощених співвідношень

$$t_{прип\ розвідки}(РДА) = t_{вкл} + \begin{cases} \frac{\min(P_{i\text{ поч}}) - P_{лиш}}{3 \cdot 0,2} = \frac{\min(P_{i\text{ поч}}) - P_{лиш}}{0,6}, \\ V_{балона\ РДА} = 1\text{л, МПа;} \\ \frac{\min(P_{i\text{ поч}}) - P_{лиш}}{3 \cdot 2} = \frac{\min(P_{i\text{ поч}}) - P_{лиш}}{6}, \\ V_{балона\ РДА} = 1\text{л, кгс/см}^2; \\ \frac{\min(P_{i\text{ поч}}) - P_{лиш}}{3 \cdot 0,1} = \frac{\min(P_{i\text{ поч}}) - P_{лиш}}{0,3}, \\ V_{балона\ РДА} = 2\text{л, МПа;} \end{cases}$$

$$t_{\text{прип розвідки}}(P_{\text{ДА}}) = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - P_{\text{лиш}}}{3 \cdot 1} = \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - P_{\text{лиш}}}{3},$$

$$V_{\text{балона РДА}} = 2 \text{ л, кгс/см}^2.$$

Практика використання спрощених розрахункових співвідношень під час тактико-спеціальних навчань на станціях Харківського метрополітену глибокого залягання та навчальних занять показала, що це дає можливість постовому на посту безпеки приділити більше уваги підготовці відділення ГДЗС, а самим газодимозахисникам – безпосередній оперативній роботі.

**Висновки. Напрямки подальших досліджень.** Таким чином, отримані співвідношення дозволяють скоротити час проведення розрахунків (розрахункових часів припинення розвідки й повернення, контрольного тиску, при якому необхідно починати повернення), що сприяє підвищенню ефективності оперативної роботи газодимозахисників.

Подальші дослідження доцільно направити на визначення того, яким чином на розрахунок часових характеристик впливає ступінь виконання на станції пожежно-профілактичних вимог та характеристики її оздоблення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тимчасовий статут дій у надзвичайних ситуаціях ч.2. - Офіц. вид. - К.: М-во надзвичайних ситуацій України, 2008. - 153 с.
2. Беляцкий В.П. Методическое пособие по организации и тактике тушения пожаров на объектах метрополитена / В.П. Беляцкий, Г.П. Павлов. – Москва, 1986. – 156 с.
3. Перепечаев В.Д. Газодимозащитная служба пожарной охраны: учебник. / В.Д. Перепечаев, В.Ю. Береза – Чернигов, РИК «Деснянська правда», 2000. – 468 с.
4. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования: учебное пособие / [С.В.Гудков, С.И.Дворецкий, С.Б.Путин, В.П.Таров]. – М.: Машиностроение, 2008. – 188 с.
5. Ковальов П.А. Розробка пропозицій щодо вдосконалення аварійно-рятувальних робіт при надзвичайних ситуаціях в метрополітені / П.А.Ковальов, П.Ю. Бородич, В.В.Стрілець // Право і безпека: Науковий журнал – 2002. – Вип.1. – С. 156-161.

6. Бородич П.Ю. Особенности изменения легочной вентиляции в ходе выполнения работ по тушению пожаров на станциях метрополитена / П.Ю.Бородич // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. - Харьков: АПБУ, 2003. - Вып.13. – С.60 –80.
7. Стрелец В.М. Вдосконалення розрахунків на посту безпеки під час роботи в АСП при ліквідації надзвичайних ситуацій в метрополітені / В.М.Стрелець, П.Ю.Бородич, С.В. Росоха // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. Вип. 12. Харків: НУЦЗУ, 2010. - с.44-49.
8. Настанові з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України - Офіц. вид. - К.: М-во надзвичайних ситуацій України, 2011. - 53 с.
9. Бородич П.Ю. Закономерности деятельности в системе «спасатель – экстремальная среда» на станциях метрополитена: дис. канд. техн наук: 05.01.04 / Бородич Павел Юрьевич. – Х., 2009. – 223 с.

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

**Обоснование упрощенных расчетов на посту безопасности во время работы в АСВ при ликвидации чрезвычайных ситуаций в метрополитене**

Предлагаются рекомендации постовому на посту безопасности по расчету временных характеристик при работе в защитных дыхательных аппаратах с применением упрощенных соотношений при ликвидации чрезвычайных ситуаций в метрополитене

**Ключевые слова:** АСВ, метрополитен, спасательные работы, пост безопасности, контрольное давление, упрощенные расчеты

Strelec V.M., Borodich P.YU., Kovalev P.A.

**Ground of the simplified calculations on post of safety during work in ASV at liquidation of extraordinary situations in underground passage**

Offered to recommendation an attendant on post of safety upon settlement of temporal descriptions during work in protective respiratory vehicles with the use of the simplified correlations at liquidation of extraordinary situations in underground passage

**Key words:** underground, resque work, insulating devices, post of safety, lifeguard, the simplified calculations

УДК 351.861

*Тарадуда Д.В., наук. співр., НУЦЗУ,  
Шевченко Р.І., канд. техн. наук, нач. лаб., НУЦЗУ,  
Клімчук Ю.В., канд. юр. наук, доц., ХНАДУ*

## **ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОМІРНОЇ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СТАНУ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТА ЯК ПРЕДМЕТА УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВОЮ БЕЗПЕКОЮ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

(представлено д-ром техн. наук Ларіним О.М.)

Розроблено аналітичний апарат обробки інформації, отриманої в результаті аналізу впливів негативних факторів різної природи на функціонування об'єкта контролю (багатомірна імітаційна модель стану безпеки об'єкта), для визначення пріоритетів при управлінні промисловою безпекою. За допомогою розробленої моделі проведено аналіз стану безпеки аміачної холодильної установки ТОВ «Харківський м'ясокомбінат» і визначено напрямки здійснення заходів для найбільш ефективного управління безпекою найменш надійних елементів установки.

**Ключові слова:** аміак, холодильна установка, оцінка безпеки, потенційно небезпечний об'єкт, імітаційна модель

**Постановка проблеми.** На підприємствах харчової промисловості холодильна техніка набула широкого поширення. На сьогодні в якості холодильного агенту (холодоагенту), попри всі свої недоліки, найчастіше використовується аміак, викид якого може привести до вибуху, пожежі, а також до утворення та подальшого поширення токсичної хмари, що становить небезпеку для людей як на території підприємства, так і за його межами. У зв'язку з цим виникає потреба формування обґрунтованої процедури оцінки існуючих загроз для нормальної експлуатації об'єктів, до складу яких входять аміачні холодильні установки (АХУ) з метою подальшого визначення попереджувальних заходів і заходів зі зниження рівня ризику виникнення аварій на таких об'єктах зокрема, та на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО) у цілому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз світової практики свідчить про те, що проблема забезпечення безпеки як ПНО в цілому, так і об'єктів з АХУ зокрема, є актуальною. Це підтверджується проведеним аналізом літератури в цій сфері, відпо-

відно до якого існуючі способи оцінки та забезпечення безпеки ПНО умовно можна поділити на три групи.

Суттєві недоліки способів першої групи [1-3, 5, 11]:

- нехтування впливом можливих аварій на сусідніх об'єктах з подальшим каскадним розвитком, імовірністю відмови технологічного обладнання та систем контролю параметрів;
- коефіцієнти запропонованих способів не мають чітко визначених граничних значень, при досягненні яких ризик виникнення аварії суттєво зростає.

У способах другої групи [7, 8, 10] розглядається прогностична оцінка небезпеки ПНО, де в якості критерію оцінки небезпеки об'єкта, який враховується при проведенні управлінських заходів, обирається кількість населення, яка може опинитись (мешкає) в зоні можливого хімічного зараження. Але цей показник не дає інформації про реальний стан безпеки об'єкта, а лише вказує на можливі наслідки виникнення аварії.

Способи третьої групи [6, 9, 13, 12] частково включають методологію перших двох груп, але вони мають декларативний характер і розроблені у вигляді рекомендацій. Керуючись ними, не можливо оцінити фактичний рівень небезпеки ПНО для проведення ефективних управлінських заходів.

**Постановка завдання та його вирішення.** Проведений аналіз літератури виявив необхідність розробки та застосування нової, більш ефективної методики оцінки та управління промисловою безпекою ПНО, яка б враховувала вищеописані недоліки.

Нами запропонована методика [16], практична цінність застосування якої полягає в можливості ефективного управління промисловою безпекою ПНО різних галузей промисловості за рахунок оцінки впливів негативних факторів різної природи та застосування аналітичного апарату обробки отриманої інформації для визначення пріоритетів при управлінні безпекою об'єкта.

Поставлене завдання вирішується завдяки тому, що відповідно до методики [16] оцінка та управління безпекою об'єкта здійснюється за трирівневою схемою. На першому рівні проводять обґрунтовану процедуру оцінки існуючих загроз за допомогою аналізу впливів комбінації трьох груп факторів небезпеки різної природи на функціонування об'єкта контролю (фактори небезпеки, пов'язані з технічною надійністю функціональних елементів об'єкта контролю (технічна надійність); фактори небезпеки антропогенного впливу (людський фактор або вплив суб'єкта); фактори

Застосування багатомірної імітаційної моделі стану безпеки об'єкта як предмета управління промисловою безпекою потенційно небезпечних об'єктів

небезпеки зовнішнього впливу). Показники, отримані на першому рівні, є абсолютними показниками небезпеки та відображають фактичний рівень безпеки об'єкта. Другий рівень включає застосування аналітичного апарату у вигляді багатомірної імітаційної моделі стану безпеки об'єкта, побудованої на основі коефіцієнтів небезпеки, які отримують на першому рівні. На третьому рівні на основі аналізу інформації, отриманої на другому рівні, визначають пріоритетні напрямки управління безпекою об'єкта та за результатами проведення аналізу доцільності виконують обрані управлінські заходи для підвищення рівня безпеки об'єкта.

Одним із основних елементів схеми методики є другий рівень, на якому здійснюється побудова та аналіз багатомірної імітаційної моделі стану безпеки об'єкта.

**Таблиця 1 – Коефіцієнти небезпеки (КН) елементів об'єкта при дії факторів небезпеки різної природи та їх нормовані значення (загальний вигляд)**

	Групи факторів небезпеки			Нормовані значення КН		
	Технічна надійність	Вплив суб'єкта	Зовнішній вплив	Технічна надійність	Вплив суб'єкта	Зовнішній вплив
Елемент 1.	$p_1^I$	$p_1^{II}$	$p_1^{III}$	$-I$ $p_1$	$-II$ $p_1$	$-III$ $p_1$
Елемент 2.	$p_2^I$	$p_2^{II}$	$p_2^{III}$	$-I$ $p_2$	$-II$ $p_2$	$-III$ $p_2$
Елемент 3.	$p_3^I$	$p_3^{II}$	$p_3^{III}$	$-I$ $p_3$	$-II$ $p_3$	$-III$ $p_3$
...	...	...	...	...	...	...
Елемент $\alpha$ .	$p_\alpha^I$	$p_\alpha^{II}$	$p_\alpha^{III}$	$-I$ $p_\alpha$	$-II$ $p_\alpha$	$-III$ $p_\alpha$

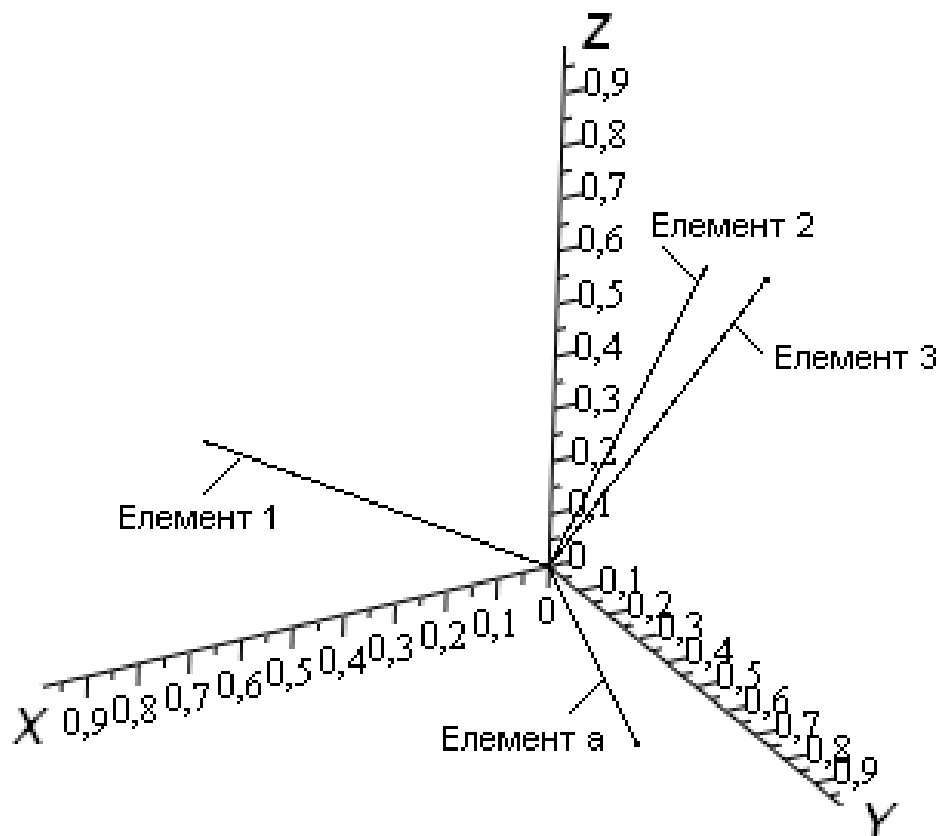
Багатомірна імітаційна модель стану безпеки об'єкта будуватиметься на основі нормованих значень коефіцієнтів небезпеки (таблиця 1), отриманих на першому рівні шляхом аналізу впливів комбінації трьох груп факторів небезпеки різної природи на функціонування об'єкта контролю



$$p_n^{-m} = \frac{p_n^m}{p_n^I + p_n^{II} + p_n^{III}}, \quad (1)$$

де  $m$  – показник природи фактора небезпеки (I, II або III).

Графічна інтерпретація моделі передбачає наступне: на осі координат  $OX$  (рис. 1) відкладають нормовані значення коефіцієнтів небезпеки елементів об'єкта при впливі факторів небезпеки, пов'язаних з їх технічною надійністю  $p_n^{-I}$ . На осі координат  $OY$  відкладають нормовані значення коефіцієнтів небезпеки елементів об'єкта при дії факторів небезпеки антропогенного впливу (людський фактор або вплив суб'єкта)  $p_n^{-II}$ . На осі координат  $OZ$  відкладають нормовані значення коефіцієнтів небезпеки елементів об'єкта при дії факторів небезпеки зовнішнього впливу  $p_n^{-III}$ .



**Рис. 1 – Багатомірна імітаційна модель стану безпеки об'єкта (загальний вигляд)**

Застосування багатомірної імітаційної моделі стану безпеки об'єкта як предмета управління промисловою безпекою потенційно небезпечних об'єктів

Аналіз багатомірної імітаційної моделі стану безпеки об'єкта полягає в порівнянні ризику виникнення аварій  $R$  на об'єктах промисловості, до якої належить об'єкт контролю, з інтегрованими коефіцієнтами небезпеки його елементів  $P_n$ , які визначають таким чином

$$P_n = \sqrt{\left(\frac{-I}{P_n}\right)^2 + \left(\frac{-II}{P_n}\right)^2 + \left(\frac{-III}{P_n}\right)^2}. \quad (2)$$

Для проведення порівняння необхідно визначитись з поняттям «ризик». Класичне формулювання ризику – це добуток імовірності виникнення несприятливих явищ  $P$  і величини збитку від їхнього впливу  $Q$

$$R = P \cdot Q. \quad (3)$$

Оскільки показники, які отримують на першому рівні, є абсолютними показниками небезпеки, то для проведення порівняння необхідно оперувати імовірністю виникнення аварії  $P$  на об'єктах відповідної промисловості за період часу  $\Delta t$  при інтенсивності аварій  $\lambda$

$$\lambda = \frac{n(\tau)}{(N - n(\tau)) \cdot \Delta \tau}, \quad (4)$$

де  $n(\tau)$  – кількість об'єктів, на яких виникли аварії за період часу від  $\tau - (\Delta t/2)$  до  $\tau + (\Delta t/2)$ ;  $N$  – загальна кількість однотипних об'єктів відповідної промисловості;  $\Delta \tau$  – період часу, протягом якого велися спостереження.

Знаючи значення  $N$ , можна зробити прогноз про виникнення аварії на одному з  $N$  об'єктів протягом часу  $\Delta t_{\text{прогн}}$  з імовірністю  $P$

$$P = 1 - e^{-\frac{\Delta t_{\text{експл}}}{(N-1) \cdot \Delta t_{\text{прогн}}}}, \quad (5)$$

де  $\Delta t_{\text{експл}}$  – час експлуатації об'єкта, год.

Для адекватності порівняння значення імовірності  $P$  необхідно пронормувати таким чином

$$\bar{P}_n = \frac{P}{p_n^I + p_n^{II} + p_n^{III}}, \quad (6)$$

де  $\bar{P}_n$  – нормоване значення імовірності  $P$  для  $n$ -го елемента.

Якщо виконується рівність  $P_n \leq \bar{P}_n$ , то безпека відповідного елемента об'єкта знаходиться на рівні, достатньому для нормальної експлуатації об'єкта контролю протягом прогнозованого проміжку часу, якщо ж рівність не виконується, то рівень безпеки відповідного елемента необхідно підвищувати.

Таким чином, варіюючи прогностичним інтервалом  $\Delta t_{\text{прогн}}$ , можна задавати граничний рівень безпеки об'єкта з відповідною імовірністю виникнення аварії.

Окрім визначення елементів об'єкта контролю, які потребують підвищення рівня безпеки, при аналізі багатомірної імітаційної моделі стану безпеки об'єкта визначають напрямки здійснення заходів для найбільш ефективного управління рівнем безпеки. Це відбувається завдяки аналізу кутів нахилу вектора, який відображає рівень безпеки відповідного елемента до осей координат (рис. 1). Кут нахилу визначають таким чином. Вектор інтегрованого коефіцієнта небезпеки  $P_n$  разом зі своєю проекцією на відповідну ось координат, яка дорівнює нормованому значенню коефіцієнта небезпеки  $\bar{p}_n^m$ , утворюють прямокутний трикутник, де вектор  $P_n$  – гіпотенуза трикутника, а нормоване значення коефіцієнта небезпеки  $\bar{p}_n^m$  – катет трикутника.

За допомогою тригонометричних функцій визначимо кути нахилу (7-9)

$$\alpha = \arccos \frac{\bar{p}_n^I}{P_n}, \quad (7)$$

$$\beta = \arccos \frac{\bar{p}_n^{II}}{P_n}, \quad (8)$$

$$\gamma = \arccos \frac{\bar{p}_n^{III}}{P_n}. \quad (9)$$

Чим менший кут нахилу відрізка до осі координат із нормованим значенням коефіцієнта небезпеки елемента при дії на нього факторів небезпеки відповідної природи, тим заходи, які впливатимуть на зменшення дії цих факторів небезпеки, будуть більш ефективними для підвищення рівня безпеки відповідного елемента.

Приклад. За допомогою методів, описаних у роботах [4, 14, 15], нами проведений аналіз впливів комбінації трьох груп факторів небезпеки різної природи (фактори небезпеки, пов'язані з технічною надійністю функціональних елементів об'єкта контролю (технічна надійність); фактори небезпеки антропогенного впливу (людський фактор або вплив суб'єкта); фактори небезпеки зовнішнього впливу (ЗВ)) на функціонування об'єкта контролю, в якості якого обрано ТОВ «Харківський м'ясокомбінат», підприємство третього ступеня хімічної небезпеки.

Об'єкт контролю обрано не випадково, адже м'ясокомбінат розташований у місті Харків на проспекті Гагаріна, 100, який є основною автомагістраллю, що з'єднує аеропорт і центр міста. Поблизу нього розташовані інші потенційно небезпечні об'єкти, які можуть потрапити в зону ураження при виникненні аварії на м'ясокомбінаті, тому існує імовірність її подальшого каскадного розвитку. Крім того до зони ураження при виникненні аварії можуть потрапити розташовані поблизу об'єкти з масовим перебуванням людей (7 шкіл, 3 дитячих дошкільних заклади, лікарня, житлові будинки), які розташовані поблизу. АХУ ТОВ «Харківський м'ясокомбінат» введена в експлуатацію в 1986 році, основними її елементами є компресорна машина першого ступеня (КМ-1); продуктопровід до проміжної ємності (ПП до ПЄ); проміжна ємність (ПЄ); продуктопровід до компресорної машини другого ступеня (ПП до КМ-2); компресорна машина другого ступеня (КМ-2); продуктопровід до конденсатора (ПП до К); конденсатор (К); продуктопровід до лінійного ресивера (ПП до ЛР); лінійний ресивер (ЛР); продуктопровід до циркуляційного ресивера (ПП до ЦР); циркуляційний ресивер (ЦР); продуктопровід до насоса для перекачування холодильного агента до холодильної камери (ПП до Н ХК); насос для перекачування холодильного агента до холодильної камери (Н до ХК); продуктопровід до розподільчого пристрою (ПП до РП); розподільчий пристрій (РП); продуктопровід до випаровувача (ПП до В); випаровувач (В); продуктопровід до насоса для перекачування холодильного агента до компресорної

машини першого ступеня (ПП до Н КМ-1); насос для перекачування холодильного агента до компресорної машини першого ступеня (Н до КМ-1); продуктопровід до компресорної машини першого ступеня (ПП до КМ-1). Відповідно до технологічного регламенту в обладнанні АХУ одночасно може знаходитись до 25 т аміаку.

**Таблиця 2 – Коефіцієнти небезпеки елементів АХУ ТОВ «Харківський м'ясокомбінат» при дії факторів небезпеки різної природи, їх нормовані значення та інтегровані коефіцієнти небезпеки**

№ з/п	Елементи установки	КН за технічною дієвністю	КН при впливі суб'єкта	КН при дії факторів небезпеки ЗВ	Нормовані значення КН за технічною дієвністю	Нормовані значення КН при впливі суб'єкта	Нормовані значення КН при дії факторів небезпеки ЗВ	Інтегральні КН	Нормовані значення імовірності Р
		$P_n^I$	$P_n^{II}$	$P_n^{III}$	$P_n^{-I}$	$P_n^{-II}$	$P_n^{-III}$		
	КМ-1	0,7179	0,1752	0,4100	0,5509	0,1344	0,3146	0,6485	0,5583
	ПП до ПЄ	0,2505	0,0350	0,4441	0,3433	0,0480	0,6087	0,7005	0,9971
	ПЄ	0,8416	0,1752	0,4439	0,5762	0,1199	0,3039	0,6624	0,4980
	ПП до КМ-2	0,2777	0,0000	0,4335	0,3905	0,0000	0,6095	0,7239	1,0228
	КМ-2	0,6798	0,1752	0,4042	0,5399	0,1391	0,3210	0,6433	0,5777
	ПП до К	0,2327	0,0350	0,4406	0,3285	0,0494	0,6221	0,7052	1,0272
	К	0,8624	0,0727	0,4072	0,6425	0,0541	0,3034	0,7126	0,5420
	ПП до ЛР	0,2037	0,0350	0,4453	0,2978	0,0512	0,6510	0,7177	1,0636
	ЛР	0,9319	0,0727	0,4338	0,6479	0,0505	0,3016	0,7164	0,5058
	ПП до ЦР	0,3074	0,0000	0,4451	0,4085	0,0000	0,5915	0,7188	0,9667
	ЦР	0,5416	0,0727	0,4224	0,5224	0,0701	0,4075	0,6662	0,7017
	ПП до Н ХК	0,2532	0,0000	0,4393	0,3657	0,0000	0,6343	0,7322	1,0505
	Н до ХК	0,5933	0,1752	0,3942	0,5103	0,1507	0,3390	0,6309	0,6257
	ПП до РП	0,2619	0,0000	0,4431	0,3715	0,0000	0,6285	0,7301	1,0318
	РП	0,5933	0,0350	0,4244	0,5636	0,0333	0,4031	0,6937	0,6911
	ПП до В	0,2258	0,0000	0,4439	0,3372	0,0000	0,6628	0,7437	1,0863
	В	0,6465	0,0727	0,4253	0,5649	0,0635	0,3716	0,6791	0,6356
	ПП до Н КМ-1	0,2152	0,0350	0,4403	0,3116	0,0507	0,6377	0,7116	1,0535
	Н до КМ-1	0,5322	0,1752	0,3937	0,4834	0,1591	0,3575	0,6219	0,6607
	ПП до КМ-1	0,2280	0,0000	0,4336	0,3446	0,0000	0,6554	0,7405	1,0995

На основі результатів проведеного аналізу впливів комбінації трьох груп факторів небезпеки різної природи на функціону-

вання АХУ ТОВ «Харківський м'ясокомбінат» та за допомогою описаних вище підходів нами визначені всі необхідні дані (таблиця 2) для побудови багатомірної імітаційної моделі стану безпеки АХУ ТОВ «Харківський м'ясокомбінат» (рис. 2).

Для проведення аналізу багатомірної імітаційної моделі та визначення елементів АХУ, які потребують підвищення рівня безпеки за формулою 5, визначимо значення імовірності виникнення аварії на АХУ протягом наступного року, знаючи, що  $\Delta T_{експл} = 26$  років = 227760 год. та  $N = 21$  (відповідно до переліку потенційно-небезпечних об'єктів міста Харкова та Харківської області станом на листопад 2011 року).

$$P = 1 - e^{-\frac{227760}{(21-1) \cdot 8760}} = 0,727468$$

За формулою (6) визначимо нормовані значення імовірності  $P$  для кожного елемента АХУ (останній стовпчик таблиці 2).

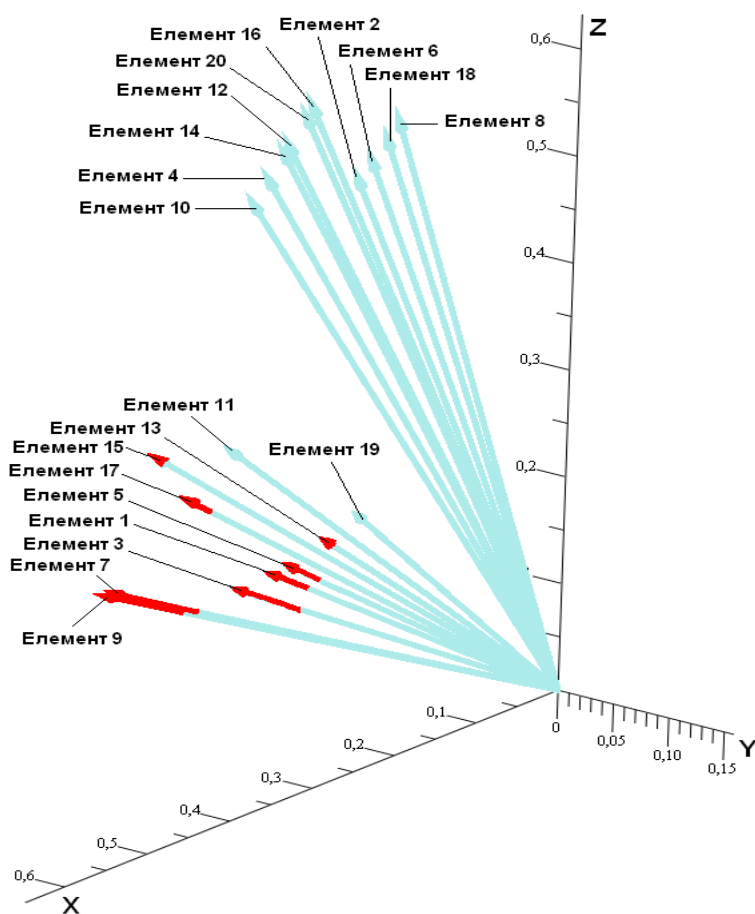


Рис. 2 – Багатомірна імітаційна модель стану безпеки АХУ ТОВ «Харківський м'ясокомбінат»

Провівши порівняння інтегрованого коефіцієнта небезпеки  $P_n$  та нормованого значення імовірності  $\bar{P}_n$  для кожного елемента АХУ ТОВ «Харківський м'ясокомбінат», можна зробити висновок, що елементами АХУ, які потребують підвищення рівня безпеки є: компресорна машина першого ступеня (елемент 1), проміжна емність (елемент 3), компресорна машина другого ступеня (елемент 5), конденсатор (елемент 7), лінійний ресивер (елемент 9), насос для перекачування холодильного агента до холодильної камери (елемент 13), розподільчий пристрій (елемент 15) та випаровувач (елемент 17).

Після визначення елементів АХУ, які потребують підвищення рівня безпеки, визначимо напрямки здійснення заходів для найбільш ефективного управління їх безпекою. Для цього визначимо кути нахилу векторів інтегрованих коефіцієнтів небезпеки кожного з визначених елементів АХУ до осей координат (рис. 2) та проведемо їх аналіз.

**Таблиця 3 – Кути нахилу до осей координат векторів інтегрованих коефіцієнтів небезпеки найменш надійних елементів АХУ ТОВ «Харківський м'ясокомбінат»**

№ з/п	Елементи установки	Кути нахилу		
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
	Елемент 1	31,84°	78,04°	60,97°
	Елемент 3	29,55°	79,57°	62,69°
	Елемент 5	32,94°	77,51°	60,07°
	Елемент 7	25,62°	85,64°	64,81°
	Елемент 9	25,27°	85,96°	65,11°
	Елемент 13	36,02°	76,18°	57,49°
	Елемент 15	35,67°	87,25°	54,47°
	Елемент 17	33,72°	84,64°	56,82°

Як бачимо з таблиці 3, найменші кути нахилу векторів інтегрованих коефіцієнтів небезпеки найменш надійних елементів АХУ до осей координат  $OX$ . Це означає, що для підвищення рівня безпеки елементів АХУ найбільш ефективними будуть управлінські заходи спрямовані на зменшення впливу факторів небезпеки, пов'язаних з технічною надійністю функціональних елементів АХУ (наприклад заміна застарілого обладнання). Це пояснюється

тим, що АХУ на підприємстві ТОВ «Харківський м'ясокомбінат» експлуатується вже близько 26 років, тоді як обладнання АХУ розраховане на строк експлуатації в середньому на 15-20 років.

Отриманий результат не суперечить існуючій практиці [1, 3, 9], що дозволяє в подальшому визначити похибку запропонованого методу в межах існуючої статистики.

**Висновки.** Дані, отримані в результаті аналізу багатомірної імітаційної моделі стану безпеки об'єкта, дозволяють не тільки оцінити реальний стан його безпеки, а й визначитись з напрямками здійснення заходів з управління промисловою безпекою об'єкта контролю з метою запобігання виникнення аварій і мінімізації можливих збитків від них, тобто є основою процесу визначення пріоритетів при управлінні безпекою на третьому рівні методики.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Nakagawa M. The New Methodology of Quantitative Process Hazard Analysis (MQPHA) / T. Shirao, Y. Kawasaki // In: PSAM 5 – Proceedings of the 5th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management Vol 1. Universal Academy Press, Inc., Tokyo, S. 307–313.
2. Van der Voort M.M. A quantitative risk assessment tool for the external safety of industrial plants with a dust explosion hazard / M.M. van der Voort, A.J.J. Klein, M. de Maaijer, A.C. van den Berg, J.D. van Deursen, N.H. Versoot // Loss Prev. Process Ind. – 2007. № 4-6. – С. 375-386.
3. Ветошкин А.Г. Безопасность жизнедеятельности: оценка производственной безопасности / А.Г. Ветошкин, Г.П. Разживина. – Пенза: Пенз. госуд. архит.-строит. академия, 2002. –172 с.
4. Коврегін В.В., формування методологічних підходів до визначення коефіцієнтів безпеки основних елементів аміачної холодильної установки за критерієм «вплив суб'єкта» / В.В. Коврегін, Д.В. Тарадуда, Р.І. Шевченко // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2011. – № 1(27). – С. 233-236.
5. Лифар В.О. Моделі надзвичайних ситуацій та метод оцінки техногенного ризику в автоматизованій системі забезпечення безпеки виробництва: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06 / Лифар Володимир Олексійович. – Х., 2007. – 278 с.



6. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки // Офіційний вісник України від 10.01.2003. – 2002. – № 52. – С. 233. Стаття 2420.
7. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів // Офіційний вісник України від 05.04.2006. – 2006. – №12/№14. – С. 391-398.
8. Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті // Офіційний вісник України від 27.04.2001. – 2001. – № 15. – С. 261. Стаття 681.
9. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: РД 03-418-01 2-е издание, исправленное и дополненное. – М.: 2002. – 17 с.
10. Михайлюк О.П. Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки як складова забезпечення рівня техногенної безпеки / О.П. Михайлюк, В.В. Олійник // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. – №4. – С. 167-172.
11. Пат. 2395829 Российская Федерация, МПК7 G 05 В 13/00. Система автоматического управления и регулирования промышленной и экологической безопасностью оборудования с пожаровзрывоопасным продуктом для процесса с высокой энергией / Зиновьев А.П., Рыжов Г.И., Зиновьев С.А., Рыжов И.Г.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – № 2008140802/09; заявл. 14.10.2008; опубл. 27.07.2010.
12. Пат. 48747 Україна, МПК8 G 05 В 11/00. Спосіб контролю і керування роботою об'єкта / Воробейчик О.С.; власник патенту Воробейчик Олег Станіславович. – № u200912223; заявл. 27.11.2009; опубл. 25.03.2010, бюл. № 6.
13. Соловей В.В. Анализ и оценка риска аварий – основа принятия решений при управлении промышленной безопасностью / В.В. Соловей, О.В. Давидюк, Ю.В. Буц // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. – №4. – С. 219-231.
14. Тарадуда Д.В., Визначення коефіцієнтів безпеки основних елементів аміачної холодильної установки за «технічною надійністю» / Д.В. Тарадуда // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – № 2(6). – С. 162-167.

---

Застосування багатомірної імітаційної моделі стану безпеки об'єкта як предмета управління промисловою безпекою потенційно небезпечних об'єктів

15. Тарадуда Д.В., Визначення коефіцієнтів безпеки основних елементів аміачної холодильної установки при дії факторів небезпеки «зовнішнього впливу» / Д.В. Тарадуда, Р.І. Шевченко // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Тематичний випуск «Динаміка та міцність машин». – 2011. – № 52. – С. 175-186.
16. Тарадуда Д.В., Методика оцінки та управління ризиком виникнення аварій на потенційно небезпечних об'єктах як предмі і та підґрунтя для прийняття управлінських рішень / Д.В. Тарадуда, Р.І. Шевченко // X Міжнародний виставковий форум «Технології захисту – 2011»: 13 всеукр. наук-практ. конф. рятувальників, 20-22 вересня 2011 р.: тези доп. – К., 2011. – С. 422-425.

Тарадуда Д.В., Шевченко Р.І., Климчук Ю.В.

**Применение многомерной имитационной модели состояния безопасности объекта как предмета управления промышленной безопасностью потенциально опасных объектов**

Разработан аналитический аппарат обработки информации, полученной в результате анализа влияния негативных факторов различной природы на функционирование объекта контроля (многомерная имитационная модель состояния безопасности объекта), для определения приоритетов при управлении промышленной безопасностью. С помощью разработанной модели проведен анализ состояния безопасности аммиачной холодильной установки ООО «Харьковский мясокомбинат», определены направления осуществления мероприятий для наиболее эффективного управления безопасностью наименее надежных элементов установки.

**Ключевые слова:** аммиак, холодильная установка, оценка безопасности, потенциально опасный объект, имитационная модель.

Taraduda D.V., Shevchenko R.I., Klimchuk Yu.V.

**The use of multi-dimensional simulation model of the security status of the object as an object for the safety management of potentially dangerous objects**

Developed analytical tools process the information obtained from the analysis of the influence of negative factors of different nature on the functioning of a control object (multi-dimensional simulation model of the security status of the object), to determine priorities in the management of industrial safety. With the developed model, the analysis of the safety of ammonia refrigeration company "Kharkov Meat", the directions of activities for the most effective safety management elements of the least reliable installation.

**Key words:** ammonia, a refrigerating machinery, safety Assessment, potentially dangerous object, simulation model

*Тарасенко А.А., д-р техн. наук, ст. науч. сотр., НУГЗУ,  
Ворон В.П., канд. сел.-хоз. наук, зав. лаб., УкрНИИЛХА*

## **ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ХИМИЧЕСКИХ И РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

Предложена математическая модель оценки объема загрязняющего вещества, осажденного на участках территории с замкнутыми криволинейными границами. Входными данными модели является графическое изображение границ территории и линий уровня концентрации загрязняющего вещества. Модель предполагает практическую реализацию в рамках геоинформационных систем и может быть использована для оценок экологического ущерба и объема работ, связанных с обеззараживанием территории.

**Ключевые слова:** математическая модель, экологический ущерб, загрязняющее вещество

**Постановка проблемы.** Внештатные аэротехногенные выбросы химических и радиоактивных загрязняющих веществ (ЗВ) в зависимости от объема, токсичности и концентрации седиментированного вещества могут квалифицироваться как чрезвычайные ситуации (ЧС).

Зачастую единственным источником информации об интенсивности загрязнения территории является графическое изображение линий уровня концентрации неоднородного поля ЗВ (карта загрязнений). Оценка величины экологического ущерба и объема работ, связанного с ликвидацией последствий внештатного выброса (или штатных выбросов, которыми сопровождается деятельность энергетических и химических предприятий), приводит к необходимости решения задачи восполнения недостающей информации о неоднородном поле пространственного распределения концентрации и нахождения объема седиментированного загрязняющего вещества внутри границ территории.

Разнообразие исходных данных выдвигает требование использования для решения указанных задач географических информационных систем (ГИС). Интеллектуализация ГИС-

технологий требует разработки соответствующей математической основы.

### **Анализ последних исследований и публикаций.**

Использование в геоинформационных системах (ГИС) растровых либо триангуляционных моделей для описания поверхностей концентрации веществ налагает особые требования на исходные данные, которые в общем случае не могут быть реализованы [1]. При этом отсутствуют модели, позволяющие решать задачу оценки объема выброса ЗВ лишь на основе картографической информации.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является создание математической модели, позволяющей получить уравнение пространственной зависимости концентрации загрязняющего вещества по картографированным линиям уровня концентрации и определение объема осажденного ЗВ в границах территории со сложной геометрией. Модель должна быть адаптирована к возможностям ГИС.

В качестве входных данных модели используются графические изображения границы (в общем случае криволинейной) территории (с заданным масштабом) и изолиний уровня концентрации загрязняющего вещества, сопровождающиеся атрибутивной информацией – количественными показателями концентрации для каждой изолинии.

Использование процедуры векторизации [2] позволяет перевести графическую информацию в цифровой векторный формат геоданных [1], аппроксимируя каждую исходную линию ломаной, информация о которой сохраняется в виде упорядоченного массива координат ее вершин.

Пусть в прямоугольной картографированной области  $\Theta$ , ориентированной по сторонам света, задана двумерная (в общем случае невыпуклая) односвязная область  $\Omega$  ( $\Omega \subset \Theta$ ), граница которой  $\bar{\Omega}$  задается в локальной декартовой системе координат в виде замкнутой ломаной линии с помощью упорядоченного набора координат  $N$  вершин ломаной  $\{(x_n; y_n)\}_{n=1..N}$ ;  $(x_1; y_1) = (x_N; y_N)$ . В терминологии векторных ГИС область  $\Omega$  представляет собой полигон, который в свою очередь может разбиваться на набор  $\{\Omega_i\}_{i=1..I}$  непесекающихся подобластей так, что

$$\bigcup_{i=1}^I \Omega_i = \Omega; \quad \Omega_i \cap_{i \neq k} \Omega_k = \emptyset. \quad (1)$$

Каждая из подобластей описывает различные площадные ГИС-объекты (поля сельхозугодий, лесные выделы или кварталы лесничества, бассейны рек, административно-территориальные образования и т.д.)

В работе [3] предложен векторно-функциональный способ задания геоданных, сочетающий в себе возможности векторного описания границ полигонов с одновременным функциональным заданием физических параметров внутри их границ. Модель базируется на введении индикатора

$$\eta_{\Xi}(x_0; y_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_0; y_0) \in \Xi; \\ 0 & \text{if } (x_0; y_0) \notin \Xi, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\Xi$  - произвольная односвязная двумерная область.

Выражение (2) графически может быть интерпретировано как «фигурная» ступень единичной высоты. При этом установление факта принадлежности точки  $(x_0; y_0)$  невыпуклой области  $\Xi$  может быть осуществлено методами вычислительной геометрии [4].

Восстановление вида поверхности концентрации  $C(x; y)$  осуществим на основании изображения (с последующей векторизацией) набора  $J$  картографированных линий уровня  $\{C_j(x; y) = j \cdot H\}_{j=1 \dots J}$  ( $H$  - межуровневый шаг) концентрации ЗВ. Линии уровня могут быть замкнутыми или могут начинаться и заканчиваться на границе области  $\Theta$ .

В работе [5] предложен способ получения аналитической модели аппроксимирующей поверхности, восстанавливаемой по линиям уровня, в виде

$$C(x, y) = \sum_{s=0}^{S-1} \sum_{t=0}^{T-1} C_{st}(x, y) (\eta(x - x_s) - \eta(x - x_{s+1})) (\eta(y - y_t) - \eta(y - y_{t+1})), \quad (3)$$

где  $\eta(x), \eta(y)$  - функции Хэвисайда;  $x_s, y_t$  - значения абсциссы и ординаты векторизированных линий уровня в узлах регулярной

квадратной решетки ( $s = 0 \dots S; t = 0 \dots T$ );  $C_{st}(x, y)$  - бикубические сплайны

$$C_{st}(x, y) = \sum_{u=0}^3 \sum_{v=0}^3 a_{uv}^{st} (x - x_s)^v (y - y_t)^u, \quad (4)$$

коэффициенты которых  $a_{uv}^{st}$  получены из условий гладкой сшивки  $C_{st}(x, y)$  с использованием метода Кунса [6].



Рис. 1 – Космический снимок [7] Борисоглебского бора (Высокоборское лесничество). В правом верхнем углу прослеживается дымовой шлейф выбросов “Балцем”

Возможности приведенных моделей могут быть проиллюстрированы на примере расчета объема осажденной нерастворенной пыли, эмитированной Балаклейским ОАТ “Балцем” в лесах Высокоборского лесничества ГП «Балаклейское ЛХ» (Харьковская область) (рис. 1).

“Балцем” – одно из самых крупных производств цемента в Украине. В 1980-тые годы в период максимального загрязнения суммарная величина выбросов в атмосферу составляла 27,3 тыс. т/год в т. ч. до 17 тыс. т пыли; 4 тыс. т оксидов азота.

Максимальный уровень загрязнения снежного покрова отмечался в радиусе до 2 км, где он в 6 -11 раза выше, чем на расстоянии 10 км от комбината. Такая пространственная зависимость

обусловлена доминированием в выбросах пыли тяжелых крупнодисперсных фракций, которые со скоростью  $\approx 80$  см/сек оседают на небольшом расстоянии от источника загрязнения. Нерастворимая пыль может составлять до 60% загрязнения снежного покрова.

В качестве входных данных модели использовано графическое изображение линий уровня концентрации пыли в снежном покрове (мг/л) и границы лесничества в известном масштабе (рис. 2). Размер области  $6\text{ км} \times 12,5\text{ км}$ .

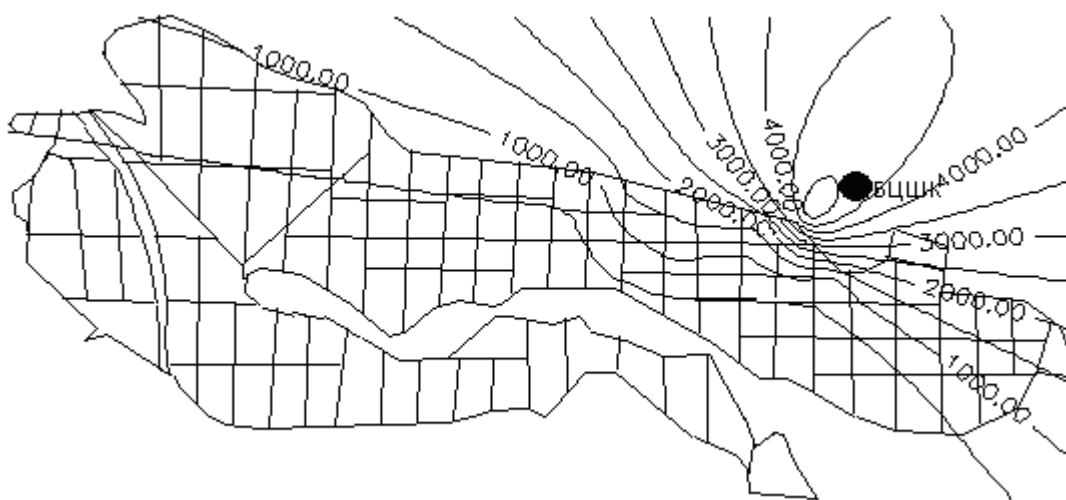


Рис. 2 – Содержание нерастворимой пыли в снежном покрове в районе “Балцем” в период максимального загрязнения [8]

С привлечением разработанного программного обеспечения получены коэффициенты уравнения (4) (использована разбивка на решетку с ячейками  $500\text{ м} \times 500\text{ м}$ ), что позволило получить сплайн-уравнение поверхности концентрации  $C(x; y)$ .

Оцифровка внешней границы лесничества  $\bar{\Omega}$  (без учета квартальной разбивки) позволила получить его векторно-функциональную модель (2).

Произведение  $C(x; y) \cdot \eta_{\Omega}(x; y)$  задает криволинейный цилиндр (рис. 3), ограниченный снизу - плоскостью  $C = 0$ , сверху – поверхностью концентрации  $C(x; y)$ , по бокам - вертикальными образующими. Очевидно, что объем данного тела представляет собой количество  $Q_{\Omega}$  седиментированной пыли в границах лесничества

$$Q_{\Omega} = \iint_{\Omega} C(x; y) \cdot \eta_{\Omega}(x; y) dx dy. \quad (5)$$

Вычисление данного интеграла осуществлялось численно методом прямоугольников на стометровой сетке. В предположении о десятисантиметровом снежном покрове расчетный объем осаждаемой пыли в границах лесничества составил  $Q_{\Omega} = 2.61 \cdot 10^6$  кг.

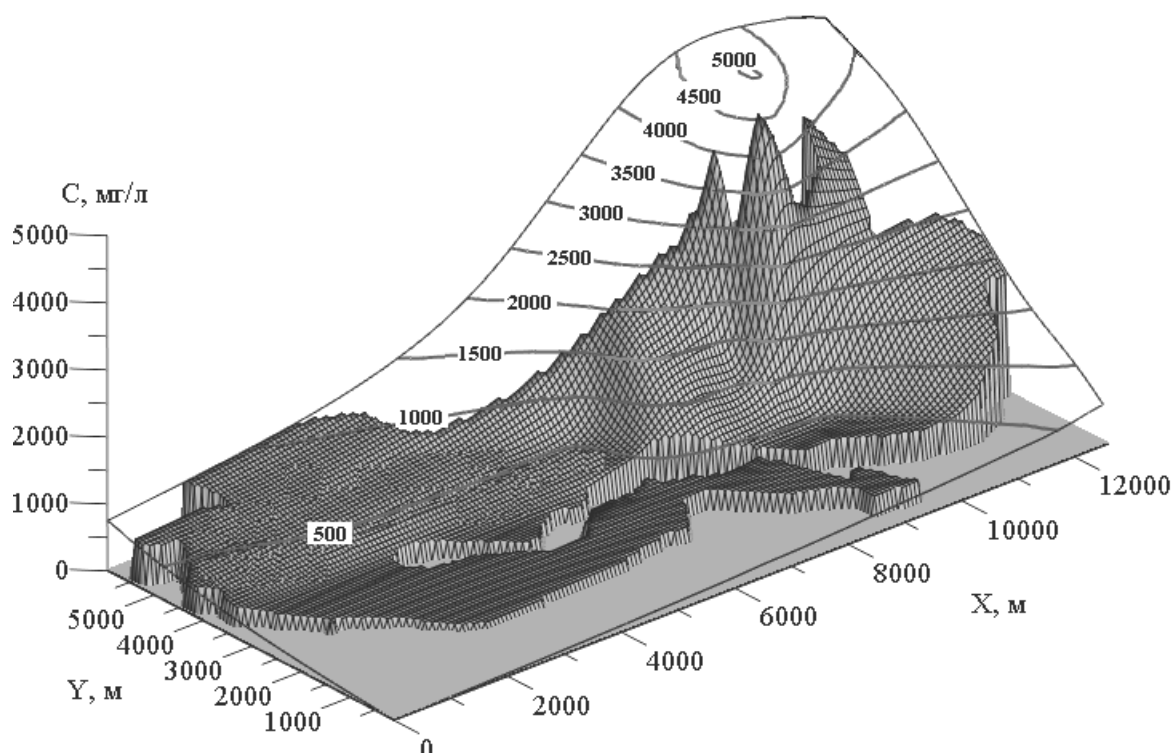
Предложенная методика может быть использована для определения средней по области  $\Omega$  концентрации ЗВ в виде

$$C_{cp\Omega} = Q_{\Omega} / S_{\Omega}, \quad (6)$$

где  $S_{\Omega}$  - площадь области  $\Omega$ , которую удобно вычислять [4] как

$$S_{\Omega} = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{N-1} (x_{n+1} + x_n)(y_{n+1} - y_n). \quad (7)$$

Для приведенного примера  $S_{\Omega} = 3573$  га;  $C_{cp\Omega} = 0.073$  кг×м<sup>-2</sup>.



**Рис. 3 – График поверхности концентрации нерастворимой пыли с проекцией на нее территории Борисоглебского бора**



В случае, если загрязняющее вещество является радиоактивным или химическим опасным, модель (1)-(5) может быть использована для оценки объема работ, связанных с обеззараживанием территории и для расчета параметров хранилищ зараженных растительных и почвенных покровов.

**Выводы.** Предложена ГИС-ориентированная математическая модель для расчета объема выброса загрязняющего вещества, входными данными которой является лишь графическая информация. Модель может быть использована для оценки экологического ущерба, наносимого выбросами загрязняющего вещества территории населенного пункта, лесного или сельскохозяйственного предприятия, а также для расчета объема работ, связанного с обеззараживанием территории.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Журкин И.Г. Геоинформационные системы / И.Г. Журкин, С.В. Шайтура - М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. – 272 с.
2. Сташевский С.Ю. Алгоритм векторизации растровых изображений в общем виде / С.Ю. Сташевский // Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования. Томск: ТУСУР, 2004 - С. 124-130.
3. Тарасенко О.А. Математичне моделювання вихідних параметрів областей надзвичайних ситуацій / О.А. Тарасенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2008. - Вип. 8.-С.185-193.
4. Андреева Е.В. Вычислительная геометрия на плоскости / Е.В. Андреева, Ю.Е. Егоров // Информатика. – 2002. - №40.-С. 28-31.
5. Абрамов Ю.А. Формирование априорной информации для системы ликвидации последствий чрезвычайной ситуации / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2007.- Вип. 6.-С. 11-22.
6. Алберг Дж. Теория сплайнов и ее приложения / Дж. Алберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш – М.: Мир, 1972. – 316 с.
7. Google Map [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://maps.google.com.ua/maps?hl=uk&tab=wl>
8. Ворон В.П. Забруднення снігового покриву в сосняках техногенної зони Балаклійського цементного виробництва // Вісник ХНАУ.-2008.-№4.- С.102-105.

Тарасенко О.А., Ворон В.П.

**Оцінка наслідків аеротехногенних викидів хімічних та радіоактивних речовин**

Запропоновано математичну модель оцінки обсягу забруднюючої речовини, що седиментувала на ділянках території з замкнутими криволінійними границями. Вхідними даними моделі є графічне зображення границь території і ліній рівня концентрації забруднюючої речовини. Модель передбачає практичну реалізацію в рамках геоінформаційних систем і може бути використана для оцінок екологічного збитку й обсягу робіт, пов'язаних із знезараженням території.

**Ключові слова:** математична модель, екологічний збиток, забруднююча речовина

Tarasenko A.A., Voron V.P.

**Estimation of consequences of aeroanthropogenic emissions of chemical and radioactive substances**

A mathematical model of estimates the amount of pollutant deposited on parts of the territory with closed curvilinear boundaries is proposed. The inputs of the model are graphic representation of territory and boundaries of pollutant concentration levels. The model assumes the practical implementation in the GIS and can be used to estimate the environmental damage and the amount of work related to the decontamination area.

**Key words:** mathematical model, environmental damage, pollutant

*Тарасова Г.В., канд. хим. наук., доц., НУГЗУ,  
Тарахно Е.В., канд. техн. наук., нач. каф., НУГЗУ,  
Коврегин В.В., канд. техн. наук., проректор, НУГЗУ*

## **ОПАСНОСТЬ ХРАНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ УГРОЗЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

В работе проанализирована опасность хранения ядохимикатов, размещенных на складах Украины. Приведены характеристики наиболее распространенных химикатов, рассмотрены некоторые последствия, которые могут возникнуть при нарушениях правил их хранения.

**Ключевые слова:** пестициды, гидролиз пестицидов, разложение, пожароопасные свойства

**Постановка проблемы.** По данным ЮНЕСКО, пестициды в общем объеме загрязнения биосферы Земли занимают 8-9 место после таких веществ как нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, фосфаты, минеральные удобрения, тяжелые металлы, оксиды азота, серы и другие соединения [1]. Понятие пестициды обозначает химические вещества, используемые для уничтожения вредных для человека организмов, и включает в себя ряд других терминов, таких как инсектициды, фунгициды, гербициды, бактерициды и др., которые предназначены для истребления отдельных групп организмов или вредителей. Несмотря на то, что пестициды составляют незначительную часть общей массы загрязнителей, поступающих в окружающую среду, они могут быть очень опасными вследствие их высокой биологической активности. Использование пестицидов неизбежно отрицательно влияет на экосистемы любого уровня и на здоровье человека, т.е. это один из самых опасных факторов загрязнения окружающей среды. В связи с введением законодательных мер [2], многие химические препараты запрещены к использованию в сельском хозяйстве, что привело к возникновению серьезной проблемы хранения и утилизации химических удобрений и ядохимикатов, потерявших свои потребительские качества, а также запрещенных к использованию.

В настоящее время объем пестицидов, используемых ежегодно в мировой практике, достигает свыше 2 млн. т, а также значительный объем неиспользованных пестицидов находятся в различных хранилищах. Экологическая ситуация, которая складывается на Украине в связи с накоплением пестицидов, вызывает особую тревогу. Накопление пестицидов на территории Украины началось еще в советское время, когда их количество, поставляемое на сельхозпредприятия, значительно превышало объемы использования. По состоянию на начало 2010 г. общее количество химически опасных агрохимикатов, хранящихся и размещенных с разной степенью концентрации по всей территории Украины, составляло 14 646,7 т, которые складировались на 2373 складах. Их уничтожение представляет собой серьезную проблему, но и хранение не менее проблематично: состояние многих хранилищ и условия хранения крайне неудовлетворительные. Так, из 157 исследованных складских помещений, в которых хранятся пестициды; 28 – находятся в хорошем состоянии, 84 – в удовлетворительном, а 45 – в неудовлетворительном состоянии.

Ассортимент и количество запрещённых или непригодных к использованию (с превышенным сроком хранения) пестицидов постоянно возрастает, целостность тары в процессе хранения постепенно нарушается, а исчезновение маркировок пополняет массу обезличенной продукции. Подобные вещества, которые чаще всего являются химически опасным и горючим, в настоящее время скапливаются в больших количествах, как на закрытых складах, так и открытых площадках в металлических или бетонных контейнерах. При этом допускается хранение агрохимикатов без учета их физико-химических свойств, при повышенных температурах, во влажной среде, при контакте с окислителями и другими химически активными веществами. Под действием атмосферных осадков возникает опасность попадания таких средств в окружающую среду. Это влечет за собой не только загрязнение грунтов, поверхностных и подземных вод, но и приводит к образованию токсичных смесей, повышению экологической и пожарной опасности складов вследствие протекания химических превращений, сопровождающихся термическим разложением, гидролизом исходных веществ или образованием токсичных и горючих продуктов [3].

**Постановка задачи и ее решение.** Задачей данной работы является прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с неправильным хранением пестицидов. Для этого не-

обходимо проаналізувати фізико-хімічні та пожежоопасні властивості найбільш розповсюджених в Україні пестицидів та ядохімікатів з точки зору виникнення пожежі та можливого токсичного впливу на навколишнє середовище [4], [5].

Хімічна активність гербицидів визначається їх будовою, характером розподілу зарядів, полярністю та здатністю розкладатися або диссоціювати в різних середовищах з утворенням іонів. Молекули гербицидів в більшій або меншій ступені поляризовані або іонізовані, тому вони можуть зв'язуватися з різними речовинами (органічними та неорганічними) дипольними або іонними зв'язками. Характер внутрімолекулярних зв'язків та внутрімолекулярний розподіл зарядів в значительній ступені визначають адсорбцію гербицидів на поверхні різних об'єктів взаємодії, а також їх схильність до хімічного взаємодію, гідролізу та розкладу під впливом різних факторів.

Так при попаданні вологи в контейнери, що містять пестициди, відбувається гідроліз хімікатів та проникнення в навколишнє середовище. Також можливе взаємодію вторинних продуктів гідролізу або розкладу декількох пестицидів.

Відрізняють кислотні та лужні гербициди, електролітична диссоціація або гідроліз яких впливають на рН розчинника (води), а утворюються в результаті диссоціації аніони або катіони зв'язуються різними ділянками адсорбентів завдяки наявності негативних та позитивних поверхневих зарядів.

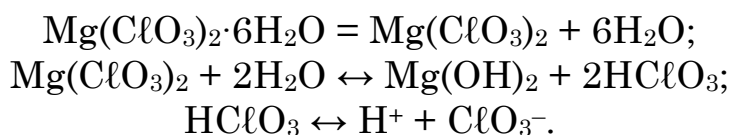
До кислотних гербицидів належать галогенізовані аліфатичні, ароматичні карбонові, феноксиалканкарбонові кислоти та похідні фенолу. В недиссоційованому стані вони адсорбуються в вигляді молекул, але в присутності вологи диссоціюють з утворенням катіона  $H^+$  та гербицидного аніона. Однак, необхідно врахувати, що в практиці найбільш часто використовують гербициди не в вигляді кислоти, а в вигляді їх солей (в основному утворені лужними металами) або складних ефірів. До числа таких гербицидів належать, зокрема, ТХА, далапон, 2,4-Д, ДНОК та ДНБФ. В водній середі або в присутності вологи солі кислотних гербицидів диссоціюють на катіони металу та гербицидні аніони, при гідролізі складних ефірів також утворюються аніони.

Щелочные гербициды, контактируя с водой, поглощают ионы водорода (протоны) по схеме  $[N: + H-OH \rightarrow [N:H + OH^-]$ , выступают как катионы, то есть при их гидролизе создается щелочная среда.

Выделяют группу гербицидов, которые не диссоциируют на катионы и анионы, в нейтральной или слабо щелочной среде адсорбируются в виде молекул (например, динитроанилины, мочевины, триазины, урацилы). В кислотной же среде они захватывают протон, и в дальнейшем механизм их адсорбции не отличается от адсорбции катионов.

При хранении пестицидов на открытых участках не только влага оказывает воздействие на гербициды, но также и воздействие ультрафиолетовых лучей и повышенной температуры, в результате чего с различной интенсивностью происходит химическое и термическое разложение пестицидов. Под воздействием окружающей среды в молекулах разрываются связи углерод – углерод, углерод – водород, водород – кислород и кислород – водород. Эти факторы необходимо учитывать при длительном хранении химикатов.

Так, например, пестицид под названием «Дегикан» ( $H_{12}ClMgO_{12}$ ) легко разрушается под действием воды по схеме



В результате гидролиза образуется хлористая кислота  $HClO_3$ , что приводит к снижению pH.

Особенно опасными высокотоксичными пестицидами являются хлорорганические, ртутьорганические и фосфорорганические соединения, а также нитросоединения.

### ***Галогенсодержащие соединения.***

Из наиболее опасных веществ на украинских складах хранятся хлорсодержащие органические пестициды, к которым можно отнести не только отдельно выделенные хлорорганические пестициды, но и хлорпроизводные карбоновых кислот, галогенопроизводные фенола и т.д. Они обладают высокой способностью к накоплению в живых тканях (биоаккумуляция) и высокой токсичностью, поэтому в настоящее время их использование и производство во многих странах запрещено. На складах количество галогенсо-

держущих пестицидов остається опасно высоким. Среди наиболее распространенных можно указать такие пестициды:

Бромэтан – этилбромид  $C_2H_5Br$ . Горючая жидкость, молярная масса 108,97 г/моль; температура кипения ( $t_{kun}$ ) 38,3 °С; температура вспышки ( $t_{всп}$ ) минус 12 °С, температура самовоспламенения ( $t_{св}$ ) 510 °С; концентрационные пределы распространения пламени 6,0 - 10,0 % об.

ТУР – хлорэтилтриметиламмонийаммоний хлорид  $C_5H_{13}NCl_2$ . Порошок хорошо растворимый в воде, гидролизуется, молярная масса 157,64 г/моль;  $t_{пл} = 69,2$  °С;  $t_{kun} = 113$  °С

Гамма-гексан-гексахлорбензол,  $C_6Cl_6$ . Твердое вещество, молярная масса 284,78,  $t_{пл} = 227$  °С. При нагревании разлагается с выделением высокотоксичным паров хлоридов.

ДДТ – дихлордифенилтрихлорметилметан (1,1,1-Трихлор-2,2-бис(п-хлорфенил)этан)  $C_{14}H_9Cl_5$ . Обладает высокой устойчивостью к разложению, вследствие чего накапливается в почве, растениях, организме животных, что вызывает опасность хронического отравления.

Хлорпикрин – нитротрихлорметан  $CCl_3NO_2$ . Горючая жидкость, молярная масса 164,38 г/моль;  $t_{пл} = 69,2$  °С;  $t_{kun} = 113$  °С, летучесть при 20 °С 164,36 мг/л.

Галогенсодержащие соединения легко подвергаются гидролизу, а при повышении температуры разлагаются с выделением продуктов повышенной токсичности. Бромэтан имеет низкую температуру кипения, легко создает взрывоопасные газозооные смеси. ДДТ разлагается на свету, вступает интенсивно в реакцию с водой (реакция гидролиза) при повышенных температурах с выделением ядовитого хлористого водорода  $HCl$ , а при контакте с катализирующими солями железа повышается скорость разложения, что обуславливает очень высокую его токсичность.

Особенно опасен хлорпикрин, т.к. он летуч, на свету становится зеленовато-желтым, что обусловлено частичным его разложением с образованием молекулярного хлора и оксидов азота. Концентрация хлорпикрина 0,01 мг/л вызывает раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей, которое проявляется в виде рези и боли в глазах, слезотечения и мучительного кашля. Концентрация 0,05 мг/л непереносима и, кроме того, вызывает тошноту и рвоту. В дальнейшем развиваются отек легких, кровоизлияния во внутренних органах. Смертельная концентрация хлорпикрина при экспозиции 1 мин. - 20 мг/л.

При повышении температуры до 400-500 °С хлорпикрин разлагается с выделением фосгена (COCl) и хлористого нитрозила, обладающих удушающим действием



Дихлоральмочевина  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_3\text{Cl}_6$ . Горючий порошок, нерастворим в воде, хорошо растворим в спирте и ацетоне. Окисляется кислородом воздуха при повышенных температурах с выделением окислов азота и хлористого водорода.

Гранозан – смесь, основным действующим веществом которой является этилмеркурий хлорид  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{HgCl}$ . Кристаллическое вещество со специфическим запахом,  $t_{\text{пл}} = 192$  °С. Легколетуч, слабо растворяется в воде, накапливается в организме. Пары гранозана в 2 раза токсичнее паров ртути.

#### **Азотсодержащие соединения.**

2,4 Д аминная соль – аминная соль 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (молярная масса 221,04 г/моль;  $t_{\text{кун}} = 160$  °С;  $t_{\text{пл}} = 141$  °С). При гидролизе в водной среде возможно образование высокотоксичных производных диоксина (ЛД<sub>100</sub> 0,08-0,2 мг/кг), хлорфенола и гликолевой кислоты.

Нитрофен – смесь продуктов прямого нитрирования каменноугольных фенолов  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_3$ : 2-нитрофенол (молярная масса 139,1 г/моль;  $t_{\text{пл}} = 45$  °С;  $t_{\text{кун}} = 214$  °С;  $t_{\text{всп}} = 77$  °С,  $t_{\text{св}} = 460$  °С), 4-нитрофенол (молярная масса 139,1 г/моль;  $t_{\text{пл}} = 113$  °С;  $t_{\text{кун}} = 279$  °С;  $t_{\text{всп}} = 160$  °С,  $t_{\text{св}} = 480$  °С, нижний концентрационный предел распространения пламени аэровзвеси 30 г/м<sup>3</sup>; максимальное давление взрыва 18 МПа; максимальная скорость нарастания давления 103 МПа/с.).

Атразин – сложный состав, основой которого является 2-хлор-4-этиламино-6-изопропиламино-симм-триазин. Горючий смачивающийся порошок,  $t_{\text{св}} = 520$  °С; нижний концентрационный предел распространения пламени аэровзвеси 90 г/м<sup>3</sup>.

Особенность строения нитрогруппы в молекулах нитросоединений обуславливает их нестабильность и склонность к разрушению. Атомы углерода и водорода могут быть превращены в газообразный диоксид углерода и пары воды только за счет атомов кислорода, входящих в нитрогруппу, а атом азота – в молекулярный азот. Поэтому они неустойчивы и могут взрываться от удара, трения и сотрясения, повышения температуры.



**Вещества со смешанными функциональными группами.**

Трефлан – 2,6-динитро-4-трифторметил-N,N- диропиланилин  $C_{13}H_{16}O_4N_3F_3$ . Оранжевый порошок, молярная масса 335,28 г/моль;  $t_{пл} = 46-47\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{всн} = 155\text{ }^\circ\text{C}$ , нижний концентрационный предел распространения пламени аэровзвеси 18 г/м<sup>3</sup>.

Эптам – N,N-дипропилтиокарбамат  $C_9H_{19}NOS$ . Горючая жидкость, молярная масса 189,3 г/моль;  $t_{кип} = 232\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{всн} = 108\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{св} = 245\text{ }^\circ\text{C}$ ; концентрационные пределы распространения пламени 0,78–5,1% об.

Цинеб – смачивающийся порошок, основным компонентом которого является этиленбисдитиокарбамат цинка.  $t_{пл} = 140\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{св}$  аэрогеля = 260 °C, аэровзвеси – 455 °C, нижний концентрационный предел распространения пламени аэровзвеси 200 г/м<sup>3</sup>.

Бурефен – 3-толилкарбаминовой кислоты 3-(N-метоксикарбониламино)фениловый эфир (3-метоксикарбаниламинофенил-N-(3-метилфенил)-карбамат. Карбаматы – соединения общей формулы  $R'R''N_2COOR$ , где R' и R'' – H, Alk, Ar; R – Alk, Ar являются эфирами неустойчивой карбаминовой кислоты  $H_2NCOOH$  и ее N-замещенных соединений. Бесцветное кристаллическое вещество, растворимое в органических растворителях, гидролизуеться до соответствующих спиртов, аминов (или аммиака) и  $CO_2$ .

Бензофосфат (фозалон, залон, афнор) (0,0 – диэтил – S – ( - 6 – хлор - бензоксазолинонилметил) – дитиофосфат  $C_{12}H_{15}O_4NS_2ClP$ . Горючая жидкость, молярная масса 367,8 г/моль;  $t_{пл} = 47\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{всн} = 167\text{ }^\circ\text{C}$ . При нагревании выше 180 °C наблюдается самонагревание продукта, при горении бурно разлагается с выделением большого количества газообразных веществ; при этом в закрытом помещении не исключена возможность взрыва.

Ацетал – смачивающийся порошок, основным действующим веществом которой является ацетилцистеин (производное аминокислоты цистерна)  $C_5H_9NO_3S$ . Горючий порошок, легко растворимый в воде.

Даконил (хлороталонил) – 2,4,5,6-тетрахлоризофталодинитрил  $C_8Cl_4N_2$ . Белое кристаллическое вещество без запаха, горючее, молярная масса 265,9 г/моль,  $t_{пл} = 250\text{ }^\circ\text{C}$ . Растворимость в воде 0,6 мг/л, умеренно растворим в большинстве органических растворителей.

ДНОК – технический продукт, содержащий не менее 95 % основного вещества 4,6-динитро- o-крезол  $C_7H_6N_2O_5$ . Горючий кри-

сталлический порошок, молярная масса 199,18 г/моль,  $t_{пл} = 85,5$  °С,  $t_{св}$  аэрогеля = 325 °С, нижний концентрационный предел распространения пламени аэровзвеси 30 г/м<sup>3</sup>. Растворимость в воде 0,013%, хорошо растворим в большинстве органических растворителей. Со щелочами и аммиаком дает хорошо растворимые в воде феноляты. ПДК в воздухе рабочей зоны 0,05, в атмосферном воздухе 0,003 мг/м<sup>3</sup>, в воде санитарно-бытового назначения 0,006, в воде водоемов 0,002 мг/л.

Наличие различных функциональных групп приводит к тому, что при гидролизе выделяются различные токсичные вещества: аммиак, сероводород, диоксид серы и др. При повышении температуры могут разлагаться с выделением токсичных оксидов азота и углерода.

**Вывод.** Таким образом, можно сделать вывод, что изменение условий хранения пестицидов или воздействие внешней среды могут резко увеличить химическую активность препаратов. Основными факторами усиления активности препаратов являются: повышение температуры в результате химических реакций, механических, погодных и других явлений; взаимодействие с водой или ее парами; взаимодействие с другими химически активными веществами или окислителями (кислотами, окислами, щелочами, металлами, галогенами и т.д.). В результате воздействия перечисленных факторов возможны образования пожаро- и взрывоопасных смесей, твердых, жидких и газообразных легковоспламеняющихся веществ; выделения количества теплоты, достаточного для самовозгорания горючих материалов, образования веществ, обладающих окислительными свойствами; самовозгорания или взрывные разложения участвующих в реакции препаратов или продуктов разложения; выделения сильно ядовитых веществ. Предупреждение пожаров и взрывов на складах пестицидов основывается, в первую очередь, на знании их поведения при повышенных температурах, воздействии воды, контакте с окислителями, что и обуславливает безопасные условия их хранения, транспортировки и применения.

Анализ сложившейся на Украине ситуации накопления пестицидов подтверждает необходимость научного поиска и разработки новых способов их утилизации, а также разработку альтернативных средств защиты растений, которые имеют природоохранную направленность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агроэкология. Полтава, 2008 // Писаренко В.Н., Писаренко П.В., Писаренко В.В. /
2. Закон України «Про пестициди і агрохімікати». Введено в дію Постановою ВР N 87/95-ВР від 02.03.95 р.
3. Н.Ф. Феймерс. Природопользование. М: «Мысль», 1990, 637 с.
4. Справочник по пестицидам: Гигиена применения и токсикология. Киев: Урожай, 1986.
5. Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я. и др. Пожарная опасность строительных материалов М: Стройиздат, 1988.

Тарасова Г.В., Тарахно О.В., Коврегин В.В.,

Небезпека зберігання пестицидів з точки зору загрози забруднення навколишнього середовища

У роботі проаналізована небезпека зберігання ядохімікатів, розташованих на складах України. Наведені характеристики найбільш поширених хімікатів, розглянуто наслідки, які можуть виникнути внаслідок порушення правил їх зберігання.

**Ключові слова:** пестициди, гідроліз пестицидів, розкладання, пожежонебезпечні властивості

Tarasova G.V., Tarachno E.V., Kovregin V.V.

**Danger of pesticide storage from point of view of the threat of environmental pollution**

The risk of pesticide storage, placed in the warehouse of Ukraine, is analyzed in this work. The characteristics of the most common chemicals are resulted, some of the consequences that may occur for violations of rules for their storage are considered.

**Key words:** pesticides, pesticide hydrolysis, decomposition, fire-dangerous properties

УДК 351.861

*Тютюник В.В., канд. техн. наук, докторант, НУЦЗУ,  
Калугін В.Д., д-р хім. наук, проф., НУЦЗУ,  
Чорногор Л.Ф., д-р фіз.-мат. наук, проф., ХНУ ім. В.Н. Каразіна*

## **ОЦІНКА РИЗИКУ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

Представлено системний підхід до оцінки ризику небезпеки функціонування природно-техногенно-соціальної системи України в умовах прояву сейсмічної небезпеки, яка призводить до значних соціально-економічних та екологічних наслідків

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, сейсмічна небезпека, сейсмічний ризик, соціально-економічні наслідки

**Обґрунтування проблеми.** Сучасні умови функціонування України, як природно-техногенно-соціальної системи (ПТС система) з рознесеними у просторі та часі параметрами, свідчать про активізацію небезпек, які негативно впливають на умови нормального функціонування держави та призводять до часткового або повного руйнування природно-екологічного, економіко-технічного та соціально-політичного балансу [1 – 6].

Перелік таких природних небезпек складають небезпеки літосферного, гідросферного, атмосферного та космічного походження та їх поєднання [7 – 14].

Це вказує на необхідність розробки ефективних заходів попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) різної природи. Перспективним напрямком розв'язання цієї проблеми являється розробка ефективної системи виявлення небезпечних чинників на етапі їх зародження та впливу на них з метою недопущення виникнення НС. Тому, дана робота є частиною запланованого комплексу наукових досліджень, спрямованих на розробку відповідної системи безпеки. Робота орієнтована на вивчення процесу виникнення та поширення НС літосферного походження, які складають або можуть скласти небезпеку для території України, та оцінку ризику їх негативного впливу на умови нормального функціонування держави.

Актуальність даної роботи базується на таких фактах.

1. Виникнення, у минулому столітті, низки небезпечних для території України землетрусів у Румунії. Результати небезпечного впливу одного із землетрусів представлено на рис. 1. Крім того, існує гіпотеза періодичності прояву цих небезпек, з періодом  $T$  біля 37 р. [15]. Розрахункова ймовірність виникнення сейсмічної небезпеки задається співвідношенням [16]

$$p = 1 - \exp\left(-\frac{t - t_0}{T}\right), \quad (1)$$

де  $t_0 = 1977$  р. – момент часу останнього землетрусу,  $T = 37$  р. – період землетрусів.

Результати обчислень наведені в табл. 1.

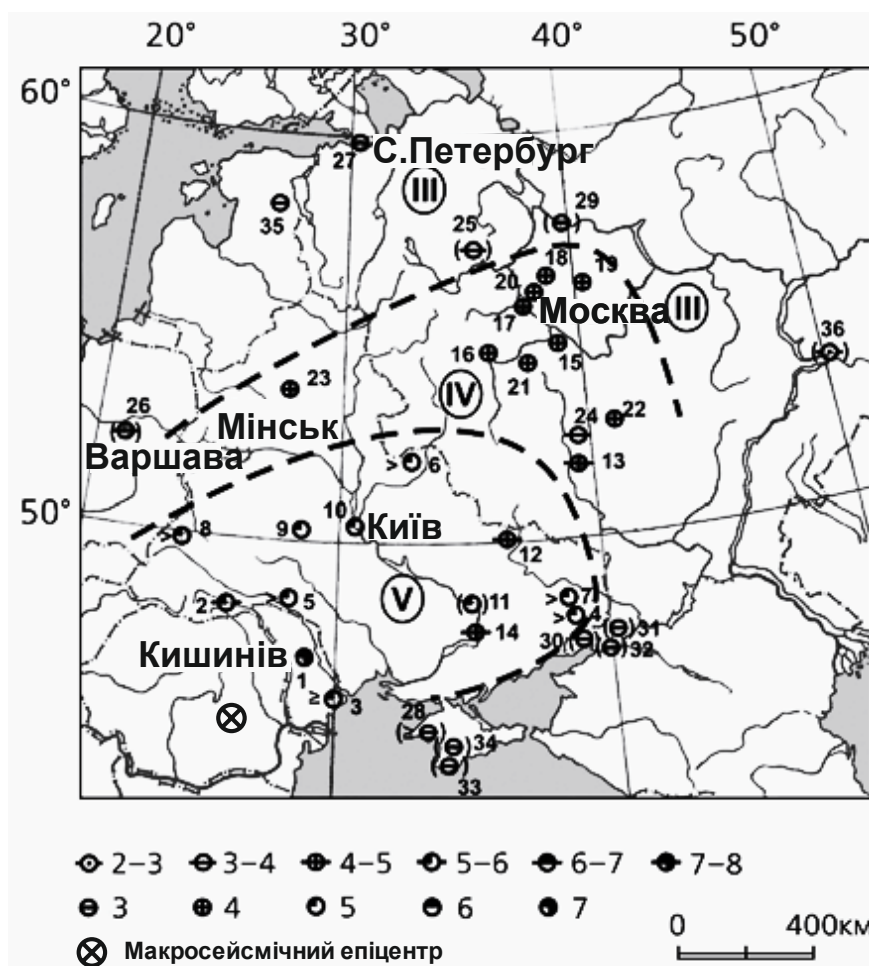


Рис. 1 – Карта сейсмічної небезпеки на території України від землетрусу 10 листопаду 1940 року [15]

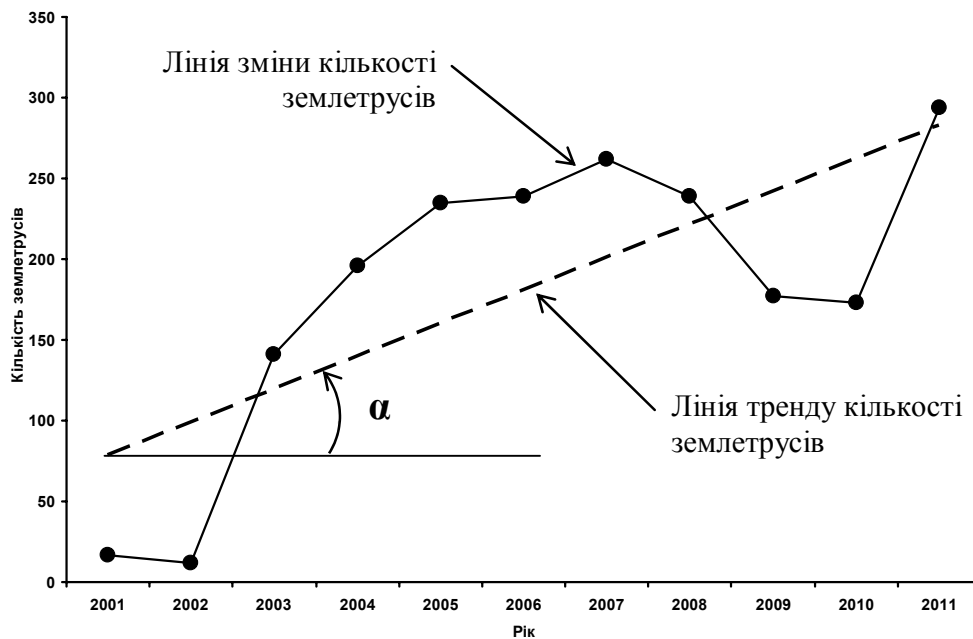
**Таблиця 1 – Розрахункова ймовірність виникнення небезпечних для території України землетрусів у Румунії у період 2012 – 2022 рр.**

Рік	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
p	0,612	0,622	0,632	0,642	0,651	0,661	0,670	0,679	0,687	0,696	0,704

2. Підвищення, за останнє десятиріччя, сейсмічної активності земної кулі в цілому. Динаміка кількості землетрусів за період 2001 – 2011 рр. за даними Головного центру спеціального контролю представлена на рис. 2 (<http://www.nkau.gov.ua>). Кут нахилу ( $\alpha \approx 36^\circ$ ) лінії тренду зміни кількості землетрусів на Землі свідчить про відносно швидке наростання сейсмічної активності на земній кулі, а, відповідно, і у сейсмічно небезпечних для України територіях. Регресивна модель часової зміни кількості землетрусів задається співвідношенням

$$n = n_0 + k(t - t_0), \quad (2)$$

де  $n_0 = 60$  та  $t_0 = 2000$  р. – початкові умови за кількістю землетрусів та часом;  $k = 20$  рік<sup>-1</sup> – показник швидкості збільшення кількості землетрусів за рік.



**Рис. 2 – Динаміка кількості землетрусів на земній кулі з магнітудою  $M \geq 6$  у період 2001 – 2011 рр.**

Тютюник В.В., Калутін В.Д., Черногор Л.Ф.

У відповідності з даними, представленими на рис. 2, ця модель дозволяє прогнозувати динаміку збільшення сейсмічної активності на земній кулі у 2012 – 2022 рр. Результати обчислень наведені у табл. 2.

**Таблиця 2 – Результати прогнозу динаміки виникнення кількості землетрусів на земній кулі у період 2012 – 2022 рр.**

Рік	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
n	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500

**Аналіз останніх досліджень.** Відомі в науковій літературі [17 – 22, 6, 12] основні підходи до оцінки ризику НС різної природи базуються на двох підходах: ймовірно-статистичному й експертному аналізах та не враховують фізико-хімічні основи процесів, що протікають при виникненні попередніх факторів небезпек й розвитку НС та їх енергетику. Тому, вказані в [17 – 22, 6, 12] підходи виконують функцію декларативності небезпек за рівнем їх можливого руйнівного впливу на стан нормального функціонування ПТС системи.

При вирішенні же проблеми формування системи комплексних заходів для попередження НС різної природи виникає необхідність дослідження кінетики процесів зародження та виникнення НС і їх взаємного впливу в умовах територіально-часового розподілу джерел небезпек [13, 23].

Необхідність проведення відповідних досліджень оцінки ризику НС сейсмічного характеру на основі досліджень їх кінетики та енергетики дозволяє сформувати мету роботи.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою даної роботи є розробка уявлень про виникнення надзвичайних ситуацій тектонічного походження на основі досліджень їх кінетики й енергетики, з метою використання цих результатів для оцінки ризику сейсмічної небезпеки для умов нормального функціонування території України та формування комплексної системи попередження НС.

Процес виникнення землетрусів і поширення сейсмічної активності можливо схематично представити у відповідності з рис. 3.

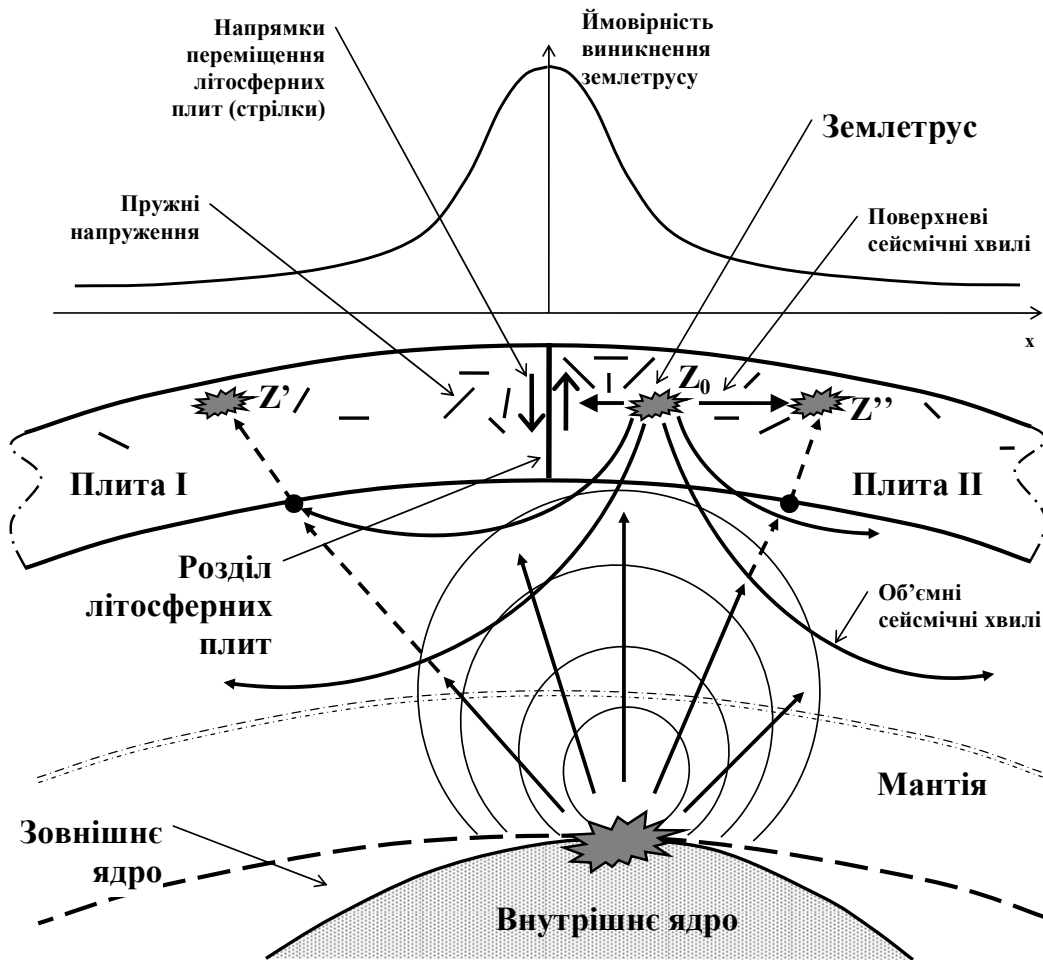


Рис. 3 – Схема процесу виникнення землетрусів та поширення сейсмічної активності

Представлені на рис. 3 процеси, що впливають на стан сейсмічної небезпеки функціонування ПТС системи, можна охарактеризувати наступними факторами.

1. У процесі переміщення літосферних плит виникають внутрішні пружні напруження, які являють собою осередки землетрусів  $Z_0$  [24 – 28]. Глибина виникнення пружного напруження залежить від переміщення плит. Відносний рух літосферних плит призводить до виникнення неглибоких осередків землетрусів, а занурюючий рух літосферних плит провокує появу осередків глибоких землетрусів. Збільшення відстані від розділу літосферних плит характеризується зменшенням вірогідності виникнення пружних напружень.

2. Факторами поширення небезпеки від землетрусу  $Z_0$  виступають поверхневі та об'ємні сейсмічні хвилі [26, 28, 29].



3. У процесі коливаючого просторового переміщення внутрішнього ядра Землі та його впливу на зовнішнє ядро виникає суттєва ймовірність взаємного посилення об'ємних хвиль з виходом на поверхню тектонічної плити у якості вторинного землетрусу  $Z'$  поза зоною розділу літосферних плит [30, 31].

4. Не виключена можливість впливу поверхневих та об'ємних сейсмічних хвиль на інші напруження в літосфері, які виникли у околиці землетрусу та провокування своєрідної ланцюгової реакції поширення сейсмічної небезпеки  $Z''$  [32].

Це уявлення вказує на існування ймовірності прояву сейсмічної небезпеки, як вторинних проявів, третинних проявів та проявів більших порядків, на території України та прилеглої до неї території, де фактори небезпеки від землетрусів можуть призвести до негативних наслідків в Україні.

Так, безпосередню сейсмічну небезпеку для України за період 2001 – 2011 рр. за даними Головного центру спеціального контролю склали землетруси, які виникли на території держави та прилеглих територіях представлених на рис. 4.

Динаміка загальної кількості цих землетрусів та їх енергія, яка розрахована у відповідності з підходом [33] –  $\lg E = 4,8 + 1,5M$  [Дж] за період з 2001 по 2011 рр., представлено на рис. 5.

Аналіз рис. 5 вказує на наступне.

По-перше, магнітуда виниклих землетрусів знаходиться у діапазоні 3,5 – 5,5, що вказує на відносно прийнятну за минуле десятиріччя сейсмічну безпеку на території України.

По-друге, існує періодичність у сейсмічному стані території, що досліджується. Ця періодичність характеризується хвилеподібними варіаціями сумарної енергії землетрусів. Спад сейсмічної активності в Україні у період 2007 – 2009 рр. відповідає загальній динаміці кількості землетрусів на Землі (рис. 2). Але, виниклий у 2007 – 2009 рр. спад кількості землетрусів в Україні охарактеризувався відносно незначним зменшенням їх енергетичних показників.

По-третє, спостерігається зростання кількості землетрусів у останні роки, що дозволяє, з урахуванням можливої періодичності виникнення значно небезпечних (рис. 1) для України землетрусів [15], прогнозувати підвищення сейсмічної небезпеки у деяких із вказаних регіонів і можливості прояву землетрусів з більшою магнітудою (енергією).



Рис. 4 – Схема території України та прилеглої території, де виникли землетруси, які склали сейсмічну небезпеку для території України, у період 2001 – 2011 років: А – Румунія, гори Вранча; Б – Чорне море; В – Закарпатський регіон; Г – Дніпропетровський регіон; Д – район міста Анапа, Росія

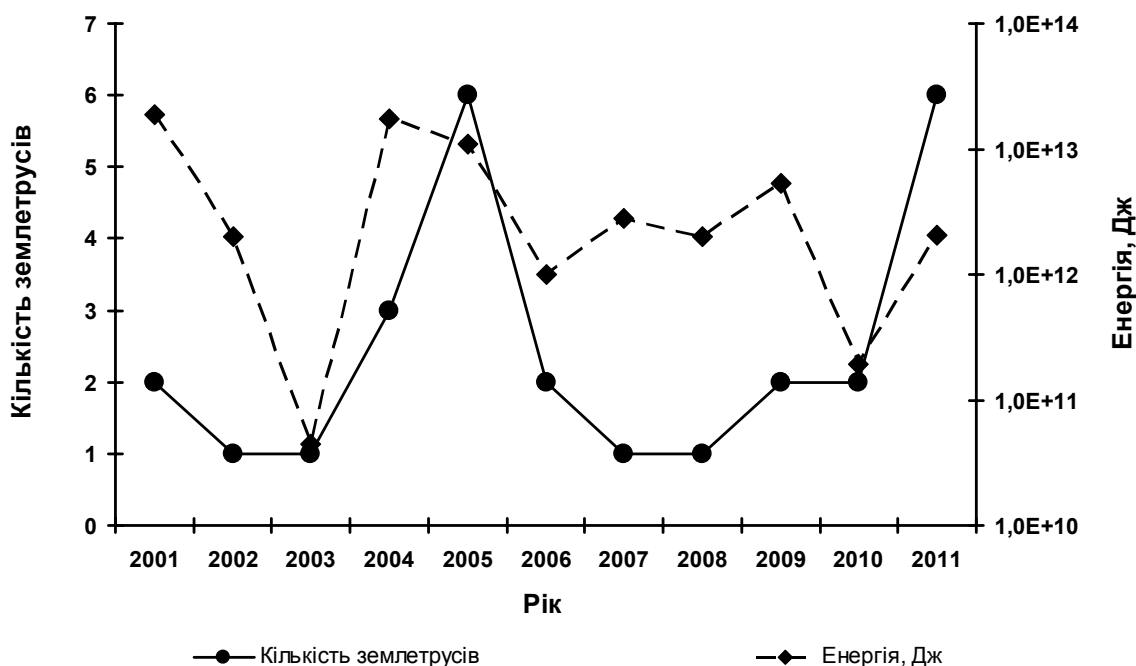


Рис. 5 – Динаміка кількості землетрусів з магнітудою  $M \geq 3,5$ , які склали сейсмічну небезпеку для території України, та розрахованої їх сумарної енергії у період 2001 – 2011 рр.

Для оцінки рівня сейсмічної небезпеки показник ризику ( $R_{НС\text{Сейсм.}}^{ПТС}$ ) небезпеки функціонування ПТС системи можна представити як

$$R_{НС\text{Сейсм.}}^{ПТС} = F_{НС\text{Сейсм.}} U_{НС\text{Сейсм.}}^{ПТС}, \quad (3)$$

де  $F_{НС\text{Сейсм.}}$  – частота виникнення сейсмічної небезпеки;  $U_{НС\text{Сейсм.}}^{ПТС}$  – збиток ПТС системи в умовах прояву сейсмічної небезпеки.

Величина збитку залежить від рівня негативного впливу від НС на стан нормальних умов життєдіяльності ПТС системи. Оцінку негативного впливу від сейсмічної небезпеки доцільно провести на базі енергетичного опису протікання цих процесів, який представлено у роботах [13, 23].

Так, величину соціально-економічного збитку території, яка безпосередньо потрапила під негативний вплив небезпечних факторів НС (прямий збиток), можна представити наступним чином

$$U_{НС\text{Сейсм.}}^{ПТС\text{Соц.-Екон.}} = k_{ПТС\text{НС\text{Сейсм.}}}^{ПЗ} W_{ПТС}^{\text{Соц.-Екон.}}, \quad (4)$$

де  $k_{ПТС\text{НС\text{Сейсм.}}}^{ПЗ} = \psi(E_{Сейсм.}^{НС})$  – показник ступеня враження ПТС системи в умовах прояву сейсмічної небезпеки;  $W_{ПТС}^{\text{Соц.-Екон.}} = \xi(S_{Сейсм.}^{НС}, T_{Сейсм.}^{НС})$  – соціально-економічні властивості ПТС системи;  $E_{Сейсм.}^{НС}$ ,  $S_{Сейсм.}^{НС}$  та  $T_{Сейсм.}^{НС}$  – енергія, площа та тривалість дії сейсмічної небезпеки.

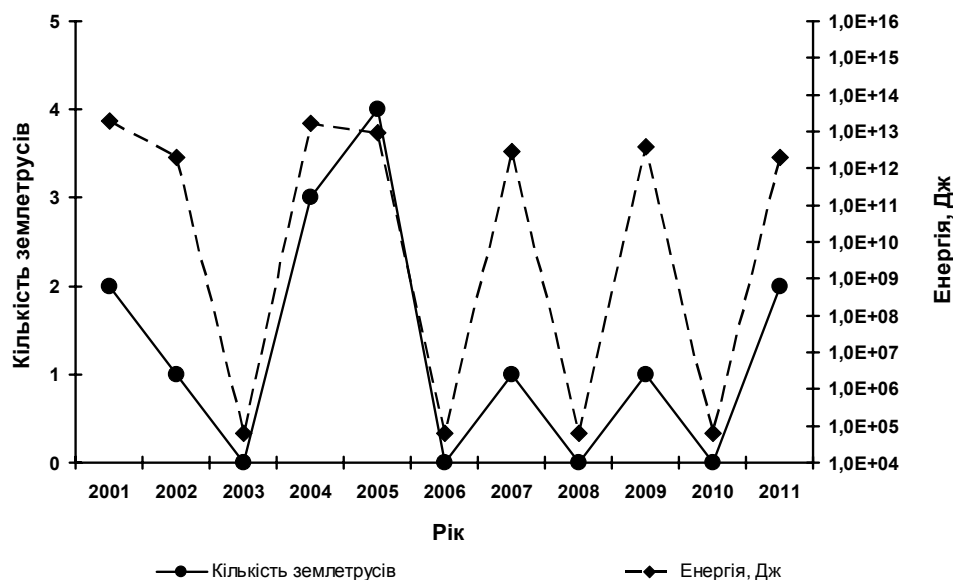
Таким чином, ризик негативного впливу сейсмічної небезпеки на соціально-економічні умови нормального функціонування ПТС системи має вигляд

$$R_{НС\text{Сейсм.}}^{ПТС\text{Соц.-Екон.}} = F_{НС\text{Сейсм.}} k_{ПТС\text{НС\text{Сейсм.}}}^{ПЗ} W_{ПТС}^{\text{Соц.-Екон.}} = k_{R\text{Сейсм.}} W_{ПТС}^{\text{Соц.-Екон.}}, \quad (5)$$

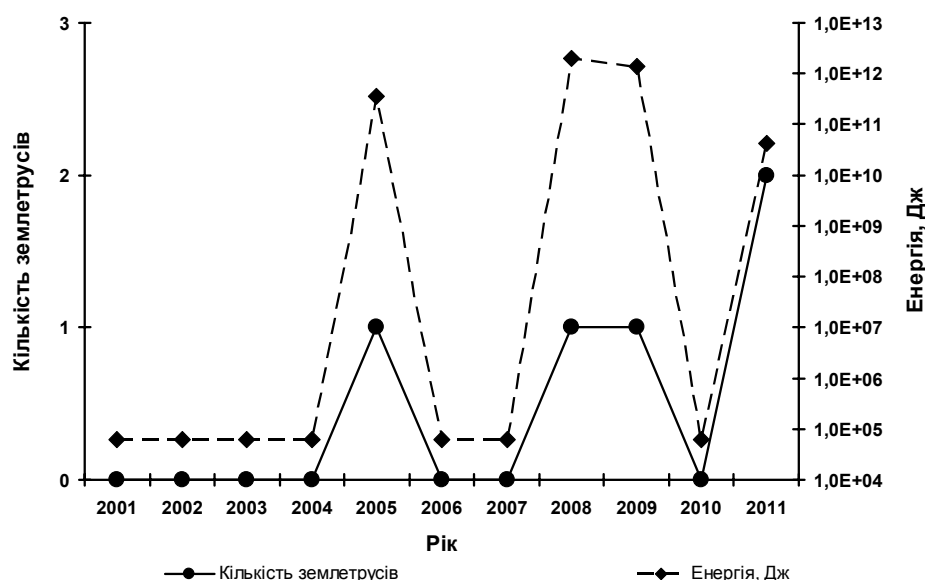
де  $k_{R\text{Сейсм.}}$  – показник ступеню ризику в умовах прояву сейсмічної небезпеки.

Далі у роботі, з метою визначення загальної сейсмічної небезпеки в умовах існування декількох регіонів можливої генерації землетрусів, представлені результати статистичного аналізу прояву землетрусів у кожному із регіонів, які складають сейсмічну небезпеку для території України. Результати аналізу динаміки

кількості землетрусів та їх енергетики представлено на рис. 6 – 10. Результати розрахунків показників ступенів матеріального і нематеріального вражень ПТС системи в умовах прояву сейсмічної небезпеки, у відповідності з представленим у [23] підходом, представлено у табл. 3.



**Рис. 6 – Динаміка кількості землетрусів, які виникли у регіоні «А» й склали сейсмічну небезпеку для території України, та розрахованої їх сумарної енергії у період 2001 – 2011 рр.**



**Рис. 7 – Динаміка кількості землетрусів, які виникли у регіоні «Б» й склали сейсмічну небезпеку для території України, та розрахованої їх сумарної енергії у період 2001 – 2011 рр.**

Таблиця 3 – Узагальнені характеристики землетрусів у сейсмічно небезпечних для України регіонах і показників небезпеки

Максимальна кількість землетрусів за рік	$F_{НС_{Сейсм.}}$ , 1/добу	Магнітуда землетрусів	$E_{НС_{Сейсм.}}$ , Дж	$k_{ПНМЗ}$ $k_{ПТС_{НС_{Сейсм.}}}$ *	$k_{ПМЗ}$ $k_{НС_{Сейсм.}}$ **	$k_{ПНМЗ}$ $k_{ПТС_{НС_{Сейсм.}}}$ *	$k_{ПНМЗ}$ $k_{НС_{Сейсм.}}$ **
Регіон А							
4	0,012	4,8 – 5,5	$10^{12} - 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{-3} - 3,5 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-5} - 4,2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3} - 4,6 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-5} - 5,5 \cdot 10^{-4}$
Регіон Б							
2	0,005	3,5 – 5,0	$10^{10} - 2 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{-3} - 3,1 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-6} - 1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4} - 2,9 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-7} - 1,5 \cdot 10^{-5}$
Регіон В							
2	0,005	3,5 – 4,8	$10^{10} - 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-6} - 9 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-6}$
Регіон Г							
1	0,003	3,5 – 4,3	$10^{10} - 2 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-6} - 3,6 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-4} - 2,6 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-7} - 7,8 \cdot 10^{-7}$
Регіон Д							
1	0,003	4,8	$10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-6}$

**Примітки до табл. 3:**

\*  $k_{ПНМЗ}$   
 $k_{ПТС_{НС_{Сейсм.}}}$  – показник ступеню прямого матеріального враження (ПМЗ);  $k_{ПНМЗ}$   
 $k_{ПТС_{НС_{Сейсм.}}}$  – показник ступеню

прямого нематеріального враження (ПНМЗ) [23];

\*\*  $k_{ПМЗ} = F_{НС_{Сейсм.}} \cdot k_{ПТС_{НС_{Сейсм.}}}$ ;  $k_{ПНМЗ} = F_{НС_{Сейсм.}} \cdot k_{ПТС_{НС_{Сейсм.}}}$ .

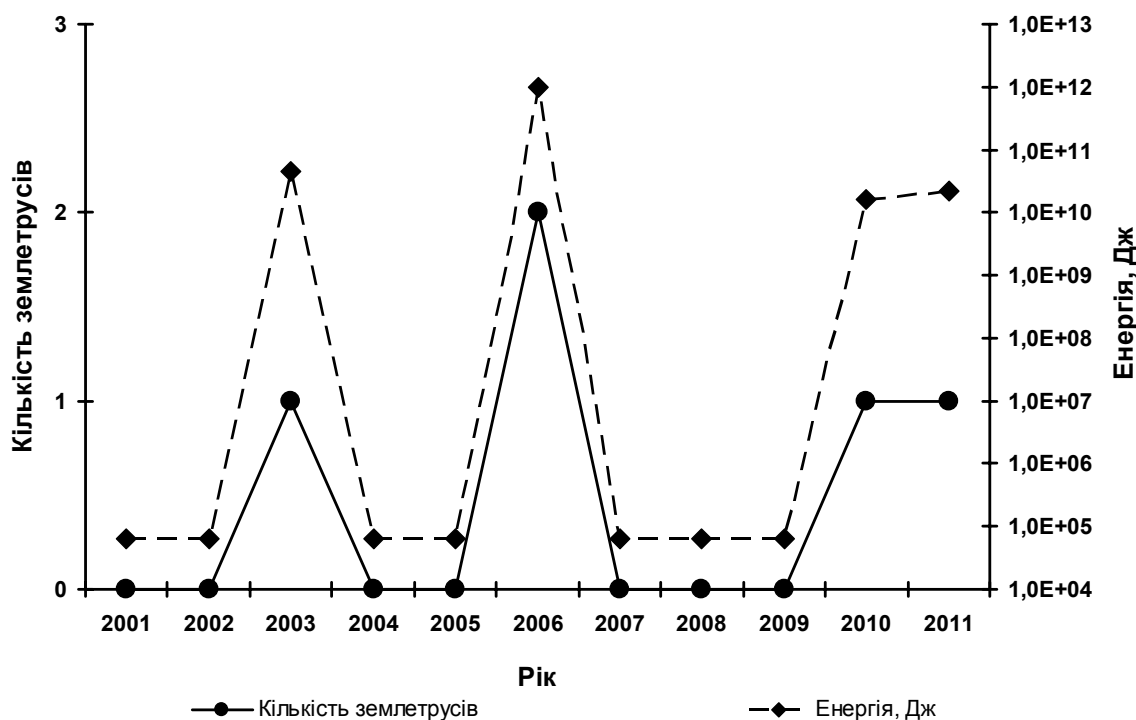


Рис. 8 – Динаміка кількості землетрусів, які виникли у регіоні «В» й склали сейсмічну небезпеку для території України, та розрахованої їх сумарної енергії у період 2001 – 2011 рр.

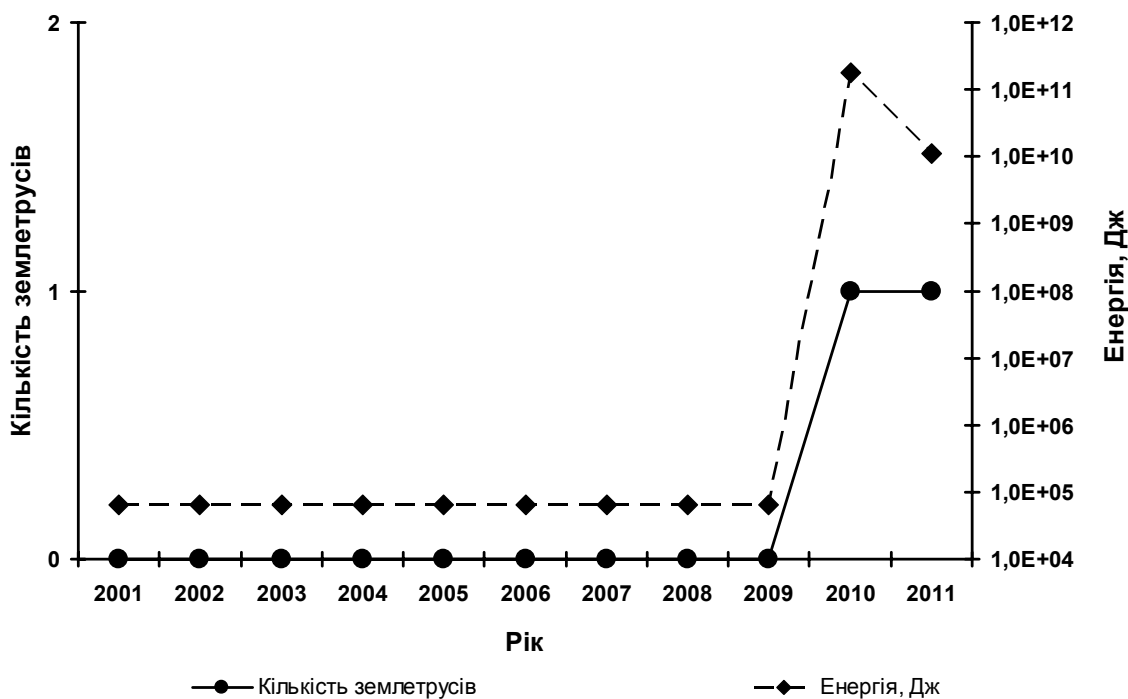


Рис. 9 – Динаміка кількості землетрусів, які виникли у регіоні «Г» й склали сейсмічну небезпеку для території України, та розрахованої їх сумарної енергії у період 2001 – 2011 рр.

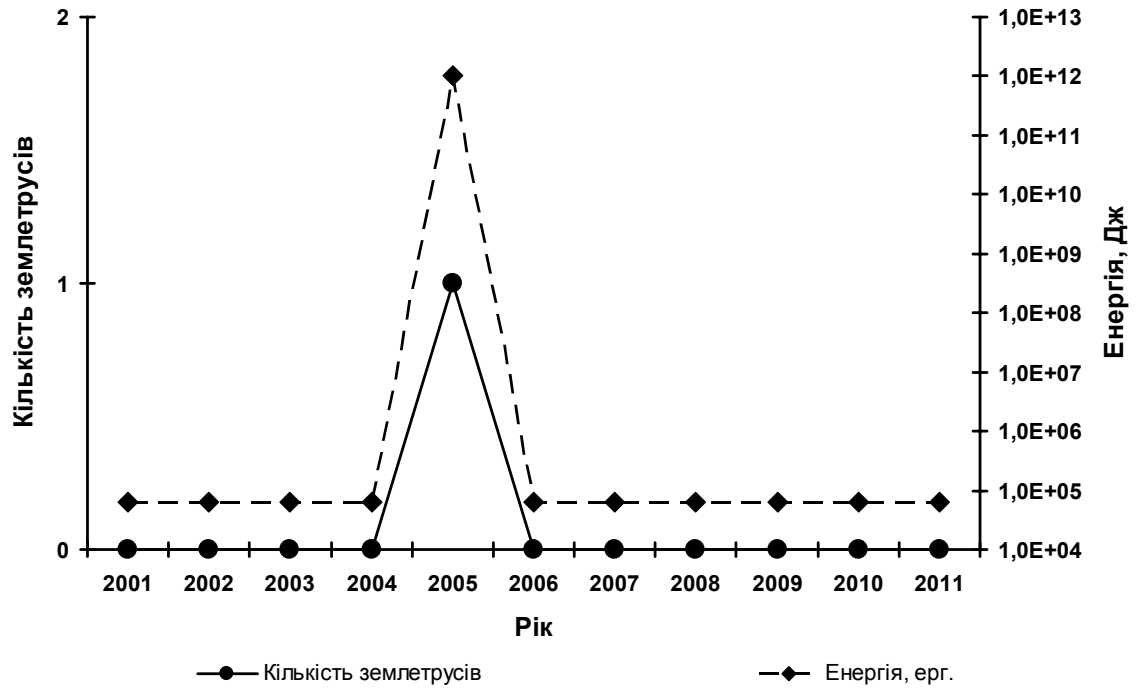


Рис. 10 – Динаміка кількості землетрусів, які виникли у регіоні «Д» й склали сейсмічну небезпеку для території України, та розрахованої їх сумарної енергії у період 2001 – 2011 рр.

**Обговорення.** За результатами проведеного аналізу рівня сейсмічної небезпеки території України та прилеглої до неї території, де фактори небезпеки від землетрусів можуть призвести до негативних наслідків в Україні, магнітуди землетрусів, які виникли у період 2001 – 2011 років, знаходяться у діапазоні 3,5 – 5,5. Енергія цих землетрусів, у відповідності з рівнем магнітуди, дорівнює  $10^{10} - 10^{13}$  Дж.

Найбільшу, серед сейсмонебезпечних для території України, небезпеку вкладає регіон «А», який знаходиться у околицях гір Вранча (Румунія). Магнітуди землетрусів, що виникли у цьому регіоні за аналізований період часу, знаходять у діапазоні 4,8 – 5,5. Динаміка сейсмічної активності (рис. 6) носить періодично-імпульсний характер з тривалістю імпульсів 1 – 2 роки та максимальною кількістю чотири землетруси у рік. Енергетичні показники цієї сейсмічної активності знаходяться на рівні  $10^{12} - 10^{13}$  Дж, які обґрунтовують, згідно з підходом [23], відповідний рівень прямих збитків. Так, показники прямого матеріального збитку (ПМЗ) та прямого нематеріального збитку (ПНМЗ) відповідно дорівнюють  $1,8 \cdot 10^{-3} - 3,5 \cdot 10^{-2}$  та  $1 \cdot 10^{-3} - 4,6 \cdot 10^{-2}$ . Показники сейсмічного

ризиків регіону «А», у відповідності із значенням максимальної частоти виникнення землетрусів за аналізований період часу (табл. 3), дорівнюють  $2,2 \cdot 10^{-5} - 4,2 \cdot 10^{-4}$  та  $1,2 \cdot 10^{-5} - 5,5 \cdot 10^{-4}$  відповідно, що вказує на перевищення на декілька порядків ступеню ризику сейсмічної небезпеки у цьому регіоні у порівнянні з іншими сейсмічно небезпечними для України регіонами.

Регіони «Б» і «В» характеризуються протилежною зміною відносно один одного сейсмічної активності (рис. 7 та 8). Виключення становить 2011 рік. Характерною особливістю цього періоду часу є збільшення сейсмічної активності у регіонах «А», «Б», «В» і «Г», що дає змогу, з урахуванням динаміки загального сейсмічного стану на Землі (рис. 2), прогнозувати можливість подальшого збільшення сейсмічної небезпеки на території України.

Сейсмічна активність району Чорного моря (регіон «Б») об'єднує землетруси, що виникли у 2005, 2008, 2009 та 2011 рр. (рис. 7). Магнітуда цих землетрусів знаходиться у діапазоні 3,5 – 5,0, що характеризується відповідною енергетикою ( $10^{10} - 2 \cdot 10^{12}$  Дж). Максимальна частота виникнення землетрусів, показники ПМЗ та ПНМЗ, що характерні для регіону «Б», наведені у табл. 1 та визначають ступень матеріального ризику в умовах прояву сейсмічної небезпеки на рівні  $5,5 \cdot 10^{-6} - 1,6 \cdot 10^{-5}$ , а ступень нематеріального ризику на рівні  $8,5 \cdot 10^{-7} - 1,5 \cdot 10^{-5}$ .

Закарпатський регіон (регіон «В») за рівнем сейсмічної небезпеки, у відповідності з експериментальними даними по землетрусам у цьому регіоні (рис. 8), знаходиться на рівні небезпечного стану регіону «Б». Відповідно, ризики прямих збитків визначають наступний стан небезпеки:  $5,5 \cdot 10^{-6} - 9 \cdot 10^{-6}$  (ПМЗ) та  $8,5 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-6}$  (ПНМЗ).

Таким чином, регіони «Б» і «В» займають умовно другий рівень за сейсмічною небезпекою відносно румунського регіону.

Меншу, відносно регіонів «Б» і «В», сейсмічну небезпеку для території України складають регіони «Г» і «Д», які характеризуються проявом не більш одного землетрусу на рік.

Дніпропетровський регіон (регіон «Г») має характерну особливість епізодичної появи землетрусів лише у 2010 та 2011 рр. Цей факт дає змогу прогнозувати наявність дестабілізуючого впливу на цю, сейсмічно неактивну за період 2001 – 2009 років територію, факторів сейсмічної активності, як регіонів «А», «Б» і «В»,



так і загального ефекту підвищення загальної сейсмічної активності на планеті.

Район міста Анапа (Росія) – регіон «Д» охарактеризувався виникненням одного землетрусу у 2005 році магнітудою 4,8 та склав відповідні (табл. 3) показники сейсмічного ризику для території України.

### **Висновки**

1. Описано механізм поширення нестабільності у сейсмічно небезпечних регіонах Землі від первинного джерела до подальших.

2. Встановлено можливість сейсмічного враження території України, як території, яка може потрапити під дію вторинних проявів, третинних проявів та проявів вищих порядків джерел сейсмічної небезпеки, що виникають на всій земній кулі.

3. На основі розрахунку енергетичних характеристик джерел землетрусів у сейсмічно небезпечних регіонах України розроблено підхід до оцінки соціально-економічного ризику функціонування природно-техногенно-соціальної системи України в умовах прояву надзвичайних ситуацій тектонічного походження.

4. На основі розрахованих показників соціально-економічного ризику сейсмічної небезпеки проведено аналіз сейсмічно небезпечних регіонів України за рівнем їх небезпеки, досліджена можливість прояву, період виникнення та ступень руйнівного впливу землетрусів у кожному з сейсмічно небезпечних регіонів. Проведено їх порівняльний аналіз за рівнем небезпеки та можливість їх взаємного впливу на умови нормального функціонування ПТС системи. Виявилось, що найвищим рівнем сейсмічної небезпеки для території України характеризується район гір Вранча (Румунія). На порядок менший рівень сейсмічної небезпеки мають Закарпатський регіон та район Чорного моря. Особливістю останніх років являється епізодичне виникнення декілька землетрусів у Дніпропетровському регіоні.

5. Вказано на необхідність проведення подальших досліджень та досконалого вивчення процесів територіально-часової генерації небезпек «природно – природного» та «природно – техногенного» характерів, з метою розвитку наукових основ формування комплексної системи попередження НС в Україні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua>
2. Биченок М.М. Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні / М.М. Биченок, О.М. Трофимчук – К.: РНБОУ, 2002. – 153 с.
3. Черногор Л.Ф. Взрывы боеприпасов на военных базах – источник экологических катастроф в Украине / Л.Ф. Черногор // Экология и ресурсы. – 2004. – № 10. – С. 55 – 67.
4. Черногор Л.Ф. Экологические последствия массовых химических взрывов при техногенной катастрофе / Л.Ф. Черногор // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2006. – № 6. – С. 522 – 535.
5. Черногор Л.Ф. Найбільша аварія на газоконденсатному родовищі на Харківщині та її наслідки / Л.Ф. Черногор // Національна безпека: український вимір. – 2009. – № 4 (23). – С. 59 – 70.
6. Тютюник В.В. Оцінка індивідуальної небезпеки населення регіонів України в умовах надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко, О.В. Тютюник // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2009. – Вип. 9. – С. 146 – 157.
7. Баришполец В.А. Системный анализ катастроф, происходящих в мире / В.А. Баришполец // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2010. – Т. 2. – № 1 – 2. – С. 162 – 176.
8. Баришполец В.А. Анализ глобальных экологических проблем / В.А. Баришполец // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2011. – Т. 3. – № 1. – С. 79 – 95.
9. Осипов В.И. Природные опасности и стратегические риски в мире и в России / В.И. Осипов // Экология и жизнь. – 2009. – № 11 – 12 (96 – 97). – С. 5 – 15.
10. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.
11. Тютюник В.В. Основні принципи інтегральної системи безпеки при надзвичайних ситуаціях / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2008. – Вип. 3(18). – С. 179 – 180.

12. Грінченко Є.М. Інтегральна система безпеки регіонів України, як складових державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки / Є.М. Грінченко, О.Ю. Кіроцькі, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2008. – Вип. 7. – С. 58 – 71.
13. Тютюник В.В. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2011. – Вип. 14. – С. 171 – 194.
14. Тютюник В.В. Аналіз факторів, які провокують виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру / В.В. Тютюник, В.Д. Калугін // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2011. – Вип. 4(94). – С. 280 – 284.
15. Никонов А.А. Карпатские землетрясения 1940 года / А.А. Никонов // Природа. – 2010. – № 12. – С. 20 – 26.
16. Уломов В.И. Проблемы сейсмического районирования территории России / В.И. Уломов, Л.С. Шумилина // Всероссийский НИИ проблем научно-технического прогресса и информатизации в строительстве. – М.: ВНИИНТПИ Госстроя России, 1999. – 56 с.
17. Хенли Э.Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
18. Питулько В.М. Научное обеспечение управлением риска аварий и катастроф / В.М. Питулько // Инженерная экология. – 1996. – № 3. – С. 36 – 44.
19. Кузнецов И.В. Методы расчета ущерба от катастроф различного типа / И.В. Кузнецов, В.Ф. Писаренко, М.В. Родкин // Экономика и математические методы. – 1997. – Т. 33. – Вып. 4. – С. 39 – 50.
20. Гражданкин А.И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 2. – С. 12 – 20.
21. Кондратьев В.Д. Комплексная оценка уровня риска опасного объекта / В.Д. Кондратьев, А.В. Толстых, Б.К. Уандыков, А.В. Щепкин // Системы управления и информац. технологий. – 2004. – № 3(15). – С. 53 – 57.

22. Родкин М.В. Фундаментальные проблемы мониторинга и прогнозирования природных и техногенных катастроф / М.В. Родкин, В.И. Мухин // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – Химки: ФГБОУ ВПО «АГЗ МЧС России», 2010. – № 1. – С. 9 – 14.
23. Калугін В.Д. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 1/6 (55). – С. 59 – 70.
24. Райс Дж. Механика очага землетрясения / Дж. Райс. – М.: Мир, 1982. – 217с.
25. Касахара К. Механика землетрясений / К. Касахара. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
26. Трухин В.И. Общая и экологическая геофизика / В.И. Трухин, К.В. Показеев, В.Е. Куницен. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
27. Гуфельд И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты / И.Л. Гуфельд. – Королев, М.О.: ЦНИИМаш, 2007. – 160 с.
28. Березняков А.І. Фізика Землі / А.І. Березняков, К.А. Немець. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. – 268 с.
29. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны / Е.Ф. Саваренский. – М.: Недра, 1972. – 296 с.
30. Малышков Ю.П. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли / Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 2. – С. 152 – 172.
31. Малышков Ю.П. Способ определения пространственного положения и параметров движения внутреннего ядра Земли / Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков, С.Г. Шталин [и др.] // Институт мониторинга климатических и экологических систем. – Патент РФ № 2352961, МПК G01V3/00
32. Пшенников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры / К.В. Пшенников. – М.: Наука, 1965. – 87 с.
33. Болт Б. Землетрясения / Б. Болт. – М.: Мир, 1981. – 256 с.

Тютюник В.В., Калугин В.Д., Черногор Л.Ф.

**Оценка риска сейсмической опасности на территории Украины**

Представлен системный подход для оценки риска опасности функционирования природно-техногенно-социальной системы Украины в условиях проявления сейсмической опасности, которая приводит к значительным социально-экономическим и экологическим последствиям

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, сейсмическая опасность, сейсмический риск, социально-экономические последствия

Tutunik V.V., Kalugin V.D., Chernogor L.F.

**Risk assessment of seismic hazard on Ukraine territory**

System approach for risk assessment of hazard of Ukraine natural-anthropogenic-social system operation in conditions of appearance of seismic hazard reducing to considerable social-economic and environmental consequences is presented

**Key words:** emergency, seismic hazard, seismic risk, social-economic consequences

**УДК 351.861**

*Чапля Ю.С., адъюнкт, НУГЗУ,  
Соболь А.Н., д-р. техн. наук, нач. каф., НУГЗУ*

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ  
ПОСЛЕДСТВИЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ  
СИТУАЦИИ ЛАНДШАФТНОГО ТИПА**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

В работе проведен анализ современного состояния вопроса, связанного с подходами к прогнозированию последствий наводнений. Исследованы факторы, влияющие на развитие гидродинамических чрезвычайных ситуаций, а также сформулированы постановки задач обнаружения и ликвидации последствий данных опасных явлений.

**Ключевые слова:** наводнение, гидродинамическая чрезвычайная ситуация, постановка задачи

**Постановка проблемы.** Среди всех опасных природных процессов наводнения отличаются не только масштабами воздействия поражающих факторов, но и продолжительностью. Хорошо

спланированные, четко и своевременно проведенные мероприятия по ликвидации последствий обеспечивают возможность избежать больших потерь населения и значительно снизить экономический ущерб при чрезвычайных ситуациях, вызванных наводнениями любых видов.

По данным ООН с 1998 – 2008 гг. во всём мире от наводнений пострадало более 150 млн. человек [1]. Статистика [2] свидетельствует и о другом: по повторяемости, площади распространения и суммарному среднегодовому материальному ущербу наводнения занимают первое место в ряду известных стихийных бедствий. Что же касается человеческих жертв и материального ущерба, то в этом отношении наводнения занимают второе место после землетрясений.

Не является исключением и Украина. Так, ежегодно повторяющиеся на протяжении последних 20 лет наводнения на территории Западных областей и областей Днепроовского бассейна (Днепропетровская, Киевская, Запорожская области) разнятся исключительно интенсивностью протекания и лишь подтверждают актуальность существующей проблемы.

Стоит отметить, что наводнения как стихийные бедствия не могут быть целиком предотвращены везде и повсюду. Их можно только ослабить и локализовать. Борьба с наводнениями – дело весьма трудоёмкое и дорогостоящее [2].

Таким образом, существует научно-прикладная проблема повышения эффективности мероприятий по минимизации последствий гидродинамических чрезвычайных ситуаций. Одними из задач, направленных на решение указанной проблемы, являются задачи обнаружения и ликвидации гидродинамических чрезвычайных ситуаций ландшафтного типа.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Изучением наводнений как стихийных природных явлений занимается в основном гидрологическая наука [3].

За последние годы учёными-гидрологами созданы методы инженерных расчётов максимальных уровней и расходов воды при наводнениях редкой повторяемости [14,15]. Выявлены и учтены все населенные пункты, подвергающиеся наводнениям, для каждого из них установлен уровень воды, с превышением которого начинается затопление [4,13]. Что касается технологий прогнозирования наводнений, то на сегодняшний день широкое применение находят методы нейросетевого прогнозирования, нечёткой ло-

гики и т.п. [16-18]. Теоретической базой анализа объекта прогнозирования являются теория вероятностей и математическая статистика, теория численных методов анализа и оптимизации, теория факторного анализа, дифференциальные уравнения [6,7]. Последние применяются для описания относительно регулярных процессов, случайной составляющей которых можно пренебречь по той или иной причине. В основном же, современные прогнозные модели объектов строятся в рамках статистических моделей, моделях экстраполяции и интерполяции регулярных составляющих, оценки влияния случайных составляющих процесса [9,12].

Наконец, накоплен большой практический опыт борьбы с наводнениями [10,11]. Однако приходится считаться с тем, что изучение катастрофических наводнений сопряжено со значительными трудностями. Ведь подобного рода наводнения случаются весьма редко и уже только поэтому трудно поддаются детальному изучению в природных условиях. Явление это многофакторное, и роль отдельных факторов в каждом отдельном случае неодинакова. Постоянно приходится убеждаться в том, что один и тот же очень высокий максимум весеннего половодья бывает при различных комбинациях обуславливающих его факторов – таких, как снеготаяния в конце зимы, интенсивность снеготаяния и дождевые осадки в весенний период. Иницирующие события носят масштабный характер, поэтому проведение мониторинга в отдельных точках (постах) зачастую недостаточно эффективны с точки зрения построения целостной многофакторной прогностической картины.

Наконец, для наводнения в целом, как и для любого другого стихийного бедствия, характерна чрезвычайная динамичность природных процессов, неопределенность времени и места наступления, неоднозначность последствий.

Следует отметить, что анализ публикаций по рассматриваемой проблематике позволяет сделать выводы: до настоящего момента не разработаны классификация наводнений по масштабу социального и экологического ущерба, научные основы рационального использования территорий, подверженных затоплению, системная концепция мероприятий, которые необходимо осуществить на паводкоопасных территориях в периоды до, во время и после наводнения. Прогнозируемое потепление климата и неизбежный рост урбанизации речных долин, несомненно, приведут к увеличению повторяемости и увеличению разрушительной силы

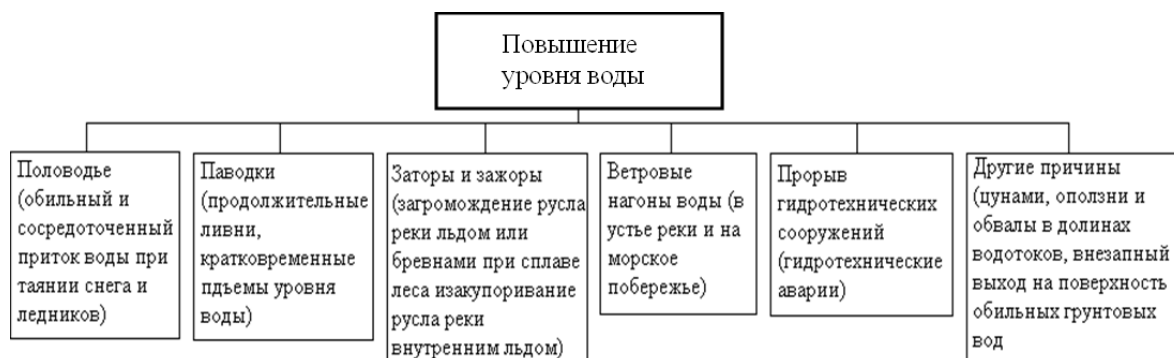
---

Постановка задач обнаружения и ликвидации последствий гидродинамической чрезвычайной ситуации ландшафтного типа

наводнений. Поэтому неотложной задачей является разработка действенных мер предотвращения наводнений и защиты от них, поскольку это позволит снизить затраты на ликвидацию последствий от причиненных ими бедствий. Комплекс мероприятий в паводкоопасных районах, включающий прогнозирование, планирование и осуществление работ, должен проводиться до наступления наводнения, в период его прохождения и после окончания стихийного бедствия.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является проведение систематизации факторов, влияющих на развитие гидродинамических чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также формулирование постановок задач обнаружения и ликвидации последствий ЧС данного вида.

Рассмотрим классификацию опасных гидрологических явлений, к которым относятся: ранний ледостав, напор льда, отрыв прибрежных льдов, половодье, дождевые паводки, заторы, ветровые нагоны, высокие уровни воды, а также низкие или высокие уровни грунтовых вод.



**Рис. 1 – Классификация причин повышения уровня воды**

Повышение уровня воды происходит по следующим причинам (рис. 1):

- сезонное таяние снежного покрова (отличаются значительным и довольно длительным подъемом уровня воды);
- интенсивные дожди (характеризуются значительными кратковременными подъемами уровня воды);
- заторы (скопление льда в русле реки) и засоры (скопление рыхлого, губчатого и мелко-колотого льда в начале зимы, обвал породы в результате подмыва основания);
- ветровые нагоны воды на крупных озерах и водохранилищах, а также в устьях рек,



- разрушение плотин, дамб, гидроузлов, запруд и других гидротехнических сооружений.

Исходя из вышеперечисленного, рассмотрим факторы, непосредственно влияющие на развитие гидродинамических ЧС.

Первая группа факторов – территориально-ландшафтные ( $L$ ) [8]:

- высота и изрезанность береговой линии;
- наличие берегоукрепляющих естественных или искусственных мероприятий;
- предрасположенность к образованию временных гидросооружений (заторы, обвал породы).

Стоит отметить, что значительный вклад в усиление интенсивности паводков и половодий вносят: продольная распашка склонов, переуплотнение полей при использовании тяжелой техники, переполивов в результате нарушения норм орошения. Примерно втрое увеличились средние расходы паводков на урбанизированных территориях в связи с ростом водонепроницаемых покрытий и застройкой. Существенное увеличение максимального стока связано с хозяйственным освоением пойм, являющихся природными регуляторами стока.

Вторая группа ограничений – гидронакопительная ( $H$ ), к которым следует отнести [9]:

- запас воды в снежном покрове перед началом весеннего таяния;
- атмосферные осадки в период снеготаяния и половодья;
- осенне-зимнее увлажнение почвы к началу весеннего снеготаяния;
- глубина промерзания почвы к началу снеготаяния;
- ледяная корка на почве;
- интенсивность снеготаяния;
- сочетание волн половодья крупных притоков бассейна.

Третья группа факторов – объемнонакопительная ( $V$ , табл. 1) [10]:

- территориально-стационарная (стационарные гидросооружения с определенной вероятностью прорыва (переполнения) вследствие технической неисправности, усталостного, гидродинамического разрушения);
- территориально-изменяющееся (ледяные заторы, временные плотины, обвалы породы).

Таблица 1 – Частота аварий для различных видов гидросооружений

<i>Тип гидросооружения</i>	<i>% аварий</i>
Временно-образованное	53
Защитные дамбы из местных материалов	4
Бетонная гравитационная	23
Арочная железобетонная	3
Плотины других типов	17

Стоит отметить особую опасность возникновения затопления низинных районов в результате возможного каскадного развития чрезвычайной ситуации при разрушении плотин, дамб и гидроузлов, вызванных иницирующими причинами (табл. 2) [5] вследствие повышения уровня воды. Непосредственную опасность представляет стремительный и мощный поток воды, вызывающий поражения, затопления и разрушения зданий и сооружений. Жертвы среди населения и различные нарушения происходят из-за большой скорости и огромного количества поступающей воды. Высота и скорость волны прорыва зависят от размеров разрушения гидросооружения и разности высот в верхнем и нижнем бьефах. Для равнинных районов скорость движения волны прорыва колеблется от 3 до 25 км/ч, в горной местности достигает до 100 км/ч. Значительные участки местности через 15 - 30 мин. обычно оказываются затопленные слоем воды толщиной от 0,5 до 10 м и более.

Таблица 2 – Частота причин аварии на гидротехнических сооружениях с образованием волны прорыва

Причина разрушения	Частота %
<b><i>Разрушение основания</i></b>	<b>40</b>
<b><i>Недостаточность водосбросов</i></b>	<b>23</b>
Конструктивные недостатки	12
<b><i>Неравномерная осадка</i></b>	<b>10</b>
<b><i>Высокое пороговое давление в намытой плотине</i></b>	<b>5</b>
Военные действия	3
<b><i>Сползание откосов</i></b>	<b>2</b>
Дефекты материалов	2
Землетрясения	1
Неправильная эксплуатация	2

Очевидно, что частота иницирующих факторов, вызванных повышением уровня воды (вследствие, например, сезонных наводнений), составляет порядка 80 %.

Таким образом, для решения проблемы минимизации последствий гидродинамических ЧС необходимо рассмотреть следующий функционал

$$\min_{L,H,V} F(P,E). \quad (1)$$

Здесь  $P$  - численность пострадавшего населения;  $E$  - экономический ущерб вследствие наводнения. Следует отметить, что в большинстве случаев учитывается прямой ущерб, связанный с непосредственным физическим контактом паводковых вод с хозяйственными объектами, и величина ущерба определяется затратами на восстановление хозяйства или текущей рыночной стоимостью разрушенных (или нарушенных) хозяйственных объектов. Аналогично оценивается ущерб от нарушения или разрушения жилых построек и имущества, находящегося в них, а также от разрушения мостов, автомобильных и железных дорог, линий связи и электропередачи, газо- и нефтепроводов. Косвенный ущерб, методики подсчета которого до сих пор практически отсутствуют, может сказываться точно так же, как и прямой, в течение многих лет после наводнения.

Для снижения негативных последствий наводнений рассмотрим следующие задачи:

1. Определение рационального количества и мест размещения стационарных и мобильных пунктов наблюдения.

Для решения данной задачи необходимо учесть следующие факторы:

- количество и территориальное распределение стационарных и мобильных пунктов наблюдения;
- технические возможности получения, передачи и обработки информации о динамике развития гидродинамической ландшафтной чрезвычайной ситуации.

Таким образом, постановка задачи определения рационального количества и мест размещения стационарных пунктов наблюдения имеет следующий вид

$$\min_{W_1} N, \quad (2)$$

где  $W_1$

$$S'_i(L, H, V) \in \bigcup_{l=1}^r T_l, \quad i = 1, \dots, N'; \quad (3)$$

$$S''_j(L, H, V) \in \bigcup_{k=1}^q D_k, \quad j = 1, \dots, N''; \quad (4)$$

$$S_0 = \left( \bigcup_{k=1}^q D_k \right) \cap \left( \bigcup_{l=1}^r T_l \right); \quad (5)$$

$$N = N' + N''; \quad (6)$$

$$Q \left( \bigcup_{i=1}^{N'} S'_i, \bigcup_{j=1}^{N''} S''_j \right) \leq Q^*. \quad (7)$$

Следует отметить, что в данной задаче необходимо определить минимальное количество стационарных  $N'$  и мобильных  $N''$  (4) пунктов наблюдения с учетом выполнения следующей системы ограничений:

- принадлежности стационарных пунктов наблюдения допустимым областям размещений  $\bigcup_{l=1}^r T_l$  (выражение 3);

- использование передвижных пунктов наблюдения в областях  $\bigcup_{k=1}^q D_k$  (выражение 4), причем  $S_0$  - область размещения постов наблюдения, обеспечивающая получение своевременной и адекватной информации об опасных гидрологических явлениях (выражение 5);

- затраты на функционирование пунктов наблюдения  $Q(\cdot)$  не должны превышать заданных  $Q^*$ , т.е. задача решается в рамках выделенных ресурсов (выражение 7).

Решение задачи (2)-(7) позволит заблаговременно принять решение на проведение следующих мероприятий:

- размещение ресурсов и аварийно-спасательной техники (авиа и плавсредства) с учетом рельефа местности и прогнозируемых последствий гидродинамической чрезвычайной ситуации;
- разработка маршрутов движения и пунктов оказания первой помощи;
- подрыв, механическое разрушение нежелательных временных гидросооружений (ледяных заторов, обвалов породы);
- создание временных противопаводковых гидросооружений;
- заблаговременное изменение противопаводковых характеристик дорог и мостов в зоне прогнозируемых гидродинамических аварий;
- исключение возможности развития каскадной ландшафтной гидродинамической чрезвычайной ситуации;
- заблаговременная эвакуация населения из зоны возможной гидродинамической чрезвычайной ситуации.

Таким образом, рассмотрим следующую задачу.

2. Определение рационального количества средств проведения аварийно-спасательных работ

$$\min_{W_2} Z(Z', Z''), \quad (8)$$

где  $W_2$

$$R^* = \arg \min T(C'_\lambda, C'_\mu, R), \quad \lambda = 1, \dots, \lambda^*; \mu = 1, \dots, \mu^*; \quad (9)$$

$$T(Z'_\eta, C'_\lambda, C'_\mu, R^*) \leq T^*, \quad \eta = 1, \dots, \eta^*; \quad (10)$$

$$\bigcup_{\eta=1}^{\eta^*} Z'_\eta = Z'; \quad (11)$$

$$Z''_\gamma \geq Z^*_\gamma, \quad \bigcup_{\gamma=1}^{\gamma^*} Z''_\gamma = Z''. \quad (12)$$

Здесь  $Z'$  - количество средств эвакуации, причем  $\eta^*$  - количество видов средств эвакуации;  $Z''$  - количество средств проведения

аварийно-восстановительных работ, причем  $\gamma^*$  - количество видов данных средств;  $C_\mu$  - населенные пункты, в которые эвакуируется население из населенных пунктов  $C'_\lambda$ ;  $R^*$  - оптимальная сеть дорог между населенными пунктами;  $T^*$  - время, отведенное на эвакуацию.

**Выводы.** В данной работе проведена систематизация факторов, влияющих на развитие гидродинамических чрезвычайных ситуаций, а также сформулированы постановки задач обнаружения и ликвидации последствий ЧС данного вида. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку математических моделей и методов решения поставленных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян А.Б. Наводнения / А.Б. Авакян, А.А. Полюшкин. - М.: Знание, 1989. - 46 с.
2. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века / В.И. Осипов // Вестн. РАН. – М.: 2001, № 4. - С. 291-302.
3. Авакян А.Б. Природные и антропогенные причины наводнений. / А.Б. Авакян // Основы Безопасности Жизнедеятельности. – М.: 2001, № 9. - С. 22-27.
4. Коронкевич Н.И. Катастрофические затопления / Н.И. Коронкевич, Л.К. Малик, Е.А. Барабанова // Военные знания (библиотечка «ВЗ»). – М.: 1998, №10. – С. 37-45.
5. Субботин А.С. Основы гидротехники / А.С. Субботин. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 368 с.
6. Белобородов В.Н. Предупреждение чрезвычайных ситуаций и повышение устойчивости функционирования организаций / В.Н. Белобородов // Военные знания (библиотечка «ВЗ»). – М.: 1998, №7. - С. 15-21.
7. Малик Л.К. Прогноз прохождения волны прорыва при повреждении гидроузлов / Л.К. Малик, Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М.: 1998, №2. – С. 27-34.
8. Тарабаев Ю. Н. Инженерное обеспечение предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при наводнениях / Ю.Н. Тарабаев, Ю.М. Зотов, В.П. Чагаев, В.Н. Шульгин // Учебное пособие. – Новогорск: Академия гражданской защиты МЧС России, 2000. – 253 с.

9. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 1. / Под ред. К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревского, А.В. Забегаева. - М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 1995. – 347 с.
10. Калустян Э.С. Статистика и причины аварий плотин / Э.С. Калустян // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М.: 1997, №3. – С. 42-47.
11. Авакян А. Б. Наводнения: причины, проблемы, защита / Авакян А.Б. // Военные знания (библиотечка «ВЗ»). – М.: 1998, №7. - С. 12-17.
12. Борщ С.В. Метод прогноза возможного ущерба от наводнений (на примере Московской области) / С.В. Борщ, В.М. Мухин // Метеорология и гидрология. – М.: 2000, №7. – С. 49-56.
13. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах / Р.А. Нежиховский. – Л.: Гидрометеиздат, 1988 – 184 с.
14. Иванова О.И. Гидрологический анализ и прогноз весеннего половодья лесных и лесостепных рек Средней Сибири: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Иркутск, 2011. – 20 с.
15. Горошко Н.В. Ландшафтно-гидрологический анализ годового стока в бассейне верхней Оби: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Иркутск, 2007. – 22 с.
16. Гуревич Е.В. Влияние ледяного покрова на взаимодействие поверхностных и подземных вод: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – С.-Петербург, 2010. – 22 с.
17. Банщикова Л.С. Наводнения на реках, вызванные заторами льда, методика их мониторинга и оценки риска: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – С.-Петербург, 2009. – 18 с.
18. Юшкина О.А. Анализ и прогноз временной изменчивости речного стока методами нелинейной динамики Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Иркутск, 2009. – 20 с.

Чапля Ю.С., Соболев О.М.

**Постановка задач мінімізації наслідків гідродинамічної надзвичайної ситуації ландшафтного типу**

В роботі проведено аналіз сучасного стану питання, пов'язаного з підходами до прогнозування наслідків повеней. Досліджено фактори, що впливають на розвиток гідродинамічних надзвичайних ситуацій, а також сформульовано постановки задач виявлення та ліквідації наслідків даних небезпечних явищ.

**Ключові слова:** повінь, гідродинамічна надзвичайна ситуація, постановка задачі

Chaplya Yu.S., Sobol A.N.

**Problem statements of detection and liquidation effects of hydrodynamic emergency landscape class**

In this paper the modern state of prognostication flood effects is analyzed. Factors that have an influence on progress hydrodynamic emergencies are researched. Problem statements of detection and liquidation effects of hydrodynamic emergencies landscape class are given.

**Key words:** flood, hydrodynamic emergency, problem statement



## ЗМІСТ

<b>Абрамов Ю.А., Кулешов Н.Н., Тищенко А.М.</b> Алгоритм диагностики датчиков первичной информации систем ослабления последствий аварий на АЭС.....	3
<b>Аветисян В.Г., Тригуб В.В.</b> Алгоритм визначення кількості рятувальників при ліквідації НС в умовах повеней.....	7
<b>Альбоцкій О.В.</b> Методичні основи оцінювання планового рівня підготовки підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту .....	12
<b>Барбашин В.В., Попов І.І., Толкунов І.О.</b> Методичне забезпечення метрологічного обстеження технічних засобів радіаційного моніторингу надзвичайних ситуацій.....	19
<b>Басманов А.Е., Говаленков С.С., Михайлюк А.А.</b> Определение дисперсии оценки интенсивности выброса опасного химического вещества при распространении вторичного облака .....	26
<b>Вамболь С.А., Скоб Ю.А., Угрюмов М.Л.</b> Математическое моделирование взрыва метановоздушной смеси и угольной пыли в подземных горных выработках угольных шахт.....	31
<b>Васильев М.В., Стрелец В.М., Тригуб В.В.</b> Имитационная оценка локализации выброса опасного химического вещества методом реконденсации расчетами разного уровня подготовленности.....	41
<b>Дейнека В.В.</b> Снижение уровня радиационного фона в рабочей зоне радиационноопасных объектов.....	49
<b>Игнатъев А.М., Вальченко А.И.</b> Интеллектуальные технологии в задачах организации эксплуатации сложных технических систем передачи данных для государственного реестра потенциально опасных объектов .....	56
<b>Квітковський Ю.В., Стельмах О.А.</b> Основні підходи до створення моделі забезпечення захисту населення при техногенній надзвичайній ситуації в залежності від розташування джерел викиду .....	62
<b>Кирочкин А.Ю., Левтеров А.А.</b> Использование системы мобильного мониторинга с беспилотным летательным аппаратом для оценки характеристик выброса опасного химического вещества .....	72
<b>Ключка Ю.П., Кривцова В.И.</b> Определение характеристик истечения водорода из криогенной системы хранения.....	78
<b>Мищенко И.В., Чернобай Г.А.</b> Решение задачи надежности объектов повышенной опасности с использованием нелинейной модели накопления повреждений .....	84
<b>Неклонський І.М., Єлізаров О.В.</b> Визначення критерію оцінки ефективності організації взаємодії підрозділів МНС України та МВС України при ліквідації надзвичайних ситуацій.....	89
<b>Неронов А.А., Чуб И.А.</b> Моделирование влияния времени локализации и ликвидации аварийного разлива нефти на характеристики зоны загрязнения .....	98
<b>Олениченко Ю.А., Соболев А.Н.</b> Система ограничений в задачах предупреждения и ликвидации техногенных аварий на полигонах твердых бытовых отходов.....	104
<b>Попов В.М., Ромін А.В., Фесенко Г.В.</b> Дослідження впливу на індивідуалізовану ефективну річну дозу внутрішнього опромінення населення від їстівних грибів різних способів їх кулінарної обробки.....	117
<b>Поспелов Б.Б., Шевченко Р.И., Басманов А.Е., Федцов А.А.</b> Выбор показателей качества и критерии оптимизации современных технических систем раннего обнаружения чрезвычайных ситуаций.....	122
<b>Прохач Е.Ю.</b> Реабілітація територій сховищ компонентів ракетних палив .....	132
<b>Рогозін А.С., Хоменко В.С.</b> Розподіл районів Харківської області за чинниками небезпеки та напруженістю оперативної обстановки.....	138
<b>Рибалова О.В., Белан С.В.</b> Зменшення ризику підтоплення шляхом реструктуризації господарського використання річкових басейнів.....	144

**Светличная С.Д.** Выбор оптимального направления эвакуации при накрытии маршрута движения первичным облаком токсического вещества ..... 154

**Стрілець В.М., Бородич П.Ю., Ковальов П.А.** Обґрунтування спрощених розрахунків на посту безпеки під час роботи в АСП при ліквідації надзвичайних ситуацій в метрополітені ..... 160

**Тарадуда Д.В., Шевченко Р.І., Клімчук Ю.В.** Застосування багатомірної імітаційної моделі стану безпеки об'єкта як предмета управління промисловою безпекою потенційно небезпечних об'єктів ..... 166

**Тарасенко А.А., Ворон В.П.** Оценка последствий аэротехногенных выбросов химических и радиоактивных веществ ..... 179

**Тарасова Г.В., Тарахно Е.В., Коврегин В.В.** Опасность хранения пестицидов с точки зрения угрозы загрязнения окружающей среды ..... 187

**Тютюник В.В., Калугін В.Д., Чорногор Л.Ф.** Оцінка ризику сейсмічної небезпеки на території України ..... 196

**Чапля Ю.С., Соболев А.Н.** Постановка задач обнаружения и ликвидации последствий гидродинамической чрезвычайной ситуации ландшафтного типа ..... 213

*Наукове видання*

## **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 15

Відповідальний за випуск Ю.О. Абрамов

Технічний редактор О.Ю. Кірючкін

---

Підписано до друку 25.05.2012

Ум.-друк. арк. 13,1

Вид. арк. 12,95

Формат паперу 60x84/16

Тир. 300

Зам. 183 – 2012

Ціна договірна

---

61023, Харків, вул. Чернишевського, 94

Електронна адреса: <http://nuczu.edu.ua/ukr/>

Типографія Національного університету цивільного захисту України