

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

---

# **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 16

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

Затверджено до друку Вченою радою  
НУЦЗ України  
(протокол № 4 від 18.10.2012 р.)

Харків 2012

УДК 004.942:519.876+351.330+351.658+351.861+504.056+504.5:665.6+  
614.8+614.84+614.841.332+614.841:551.515+621.395+  
621.397:681.32+628.35+681.5

Проблеми надзвичайних ситуацій [Текст] : зб. наук. пр. / НУЦЗ України. – Вип. 1 (2005)– . – Харків : НУЦЗУ, 2012– .  
Вип. 16. – 2012. – 150 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. – 33, табл. – 15

Видання засноване у 2005 р. та включене до Переліку наукових фахових видань 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., НУГЗУ,  
Гвоздь В.М., канд. техн. наук, нач. ТУМЧС в Черкасской обл.*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Получена приближенная математическая модель объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций, принадлежащая классу дробно-рациональных функций комплексного аргумента

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

**Постановка проблемы.** Пожар является одной из разновидностей чрезвычайной ситуации техногенного характера [1]. В этой связи имеет место проблема, связанная с минимизацией ущерба при возникновении такой чрезвычайной ситуации, решение которой связано с использованием системы ослабления последствий [2]. К системам такого типа относятся и системы автоматического пожаротушения (САП).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Подход к построению САП рассмотрен в [3, 4], однако к числу основных новаций в этом случае можно отнести лишь использование более современного инструментария. Более широкие возможности на пути повышения эффективности систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций открываются при реализации принципиально других принципов их построения [5]. Следует заметить, что в этой связи возрастает роль математического обеспечения при создании таких систем [6, 7]. Важное место в этой процедуре занимает синтез математической модели объекта управления, которая является многопараметрической и представляет собой комбинацию весьма специфических функций [8], которые затрудняют использование такой модели на практике. В [9] получена модель объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций на примере САП применительно к пожару класса В, тушение которого осуществляется распыленной водой. Адекватность такой модели оценивается погрешностью в 18%. В [10] при-

---

Математическая модель объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций

ведены алгоритм получения универсальной математической модели объекта управления САП – передаточной функции, однако она получена в виде иррациональной функции комплексной переменной.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является построение математической модели объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций на примере САП применительно к пожару класса В при его тушении распыленной водой, которая принадлежит классу дробно-рациональных функций.

В первом приближении процессы, протекающие в объекте управления, описываются уравнением [10]

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \quad (1)$$

с начальными и граничными условиями

$$\theta(\xi, 0) = 0; \quad \frac{\partial \theta(0, \tau)}{\partial \xi} = -\frac{arK}{\lambda v(T_{\kappa} - T_0)} I(\tau), \quad (2)$$

где

$$\tau = v^2 a^{-1} t; \quad \xi = v a^{-1} z; \quad \theta = (T_{\kappa} - T)(T_{\kappa} - T_0)^{-1}, \quad (3)$$

$T(z, t)$  – температура горючей жидкости;  $T_{\kappa}$  – температура кипения горючей жидкости;  $T_0$  – температура окружающей среды;  $a$  – коэффициент температуропроводности;  $v$  – линейная скорость горения жидкости;  $\lambda$  – теплопроводность горючей жидкости;  $r$  – теплота испарения воды;  $K$  – коэффициент использования воды;  $I(\tau)$  – интенсивность подачи распыленной воды.

Применяя к (1) и (2) интегральное преобразование Лапласа, получим выражение для передаточной функции объекта управления (для поверхности горючей жидкости)

$$W_2(p) = \frac{\theta(0, p)}{I(p)} = \frac{arK}{\lambda v(T_{\kappa} - T_0)} \left[ 0,5 + (p + 0,25)^{0,5} \right]^{-1}. \quad (3)$$

Эта передаточная функция представляет собой иррациональную функцию комплексного аргумента  $p$  и ее использование при решении инженерных задач связано с преодолением достаточно серьезных трудностей.

Для синтеза передаточной функции объекта управления, принадлежащей классу дробно-рациональных функций комплексного аргумента  $p$ , воспользуемся алгоритмом, приведенным в [10]. С этой целью получим выражение для переходной функции с использованием (3) [11], т.е.

$$\begin{aligned} \theta_2(\tau) &= L^{-1} \left[ \frac{arKI}{\lambda v(T_\kappa - T_0)} \left[ \left( 0,5 + (p + 0,25)^{0,5} \right) p \right]^{-1} \right] = \\ &= \frac{arKI}{\lambda v(T_\kappa - T_0)} \left[ 1 + \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \exp(-0,25\tau) - (1 + 0,5\tau) \operatorname{erfc}(0,5\sqrt{\tau}) \right], \end{aligned} \quad (4)$$

где  $L^{-1}$  – оператор обратного интегрального преобразования Лапласа.

В этом выражении  $I = \text{const}$ .

С использованием пакета Maple 13 выражение (4) может быть аппроксимировано функцией

$$\begin{aligned} \theta_{21}(\tau) &= \frac{arKI}{\lambda v(T_\kappa - T_0)} \left[ 1 - \sum_{i=1}^3 a_i \exp(-b_i\tau) \right]; \\ \sum_{i=1}^3 a_i &= 1, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $a_i, b_i$  – параметры аппроксимации, значения которых приведены в табл. 1.

**Таблица 1 – Значения параметров аппроксимации**

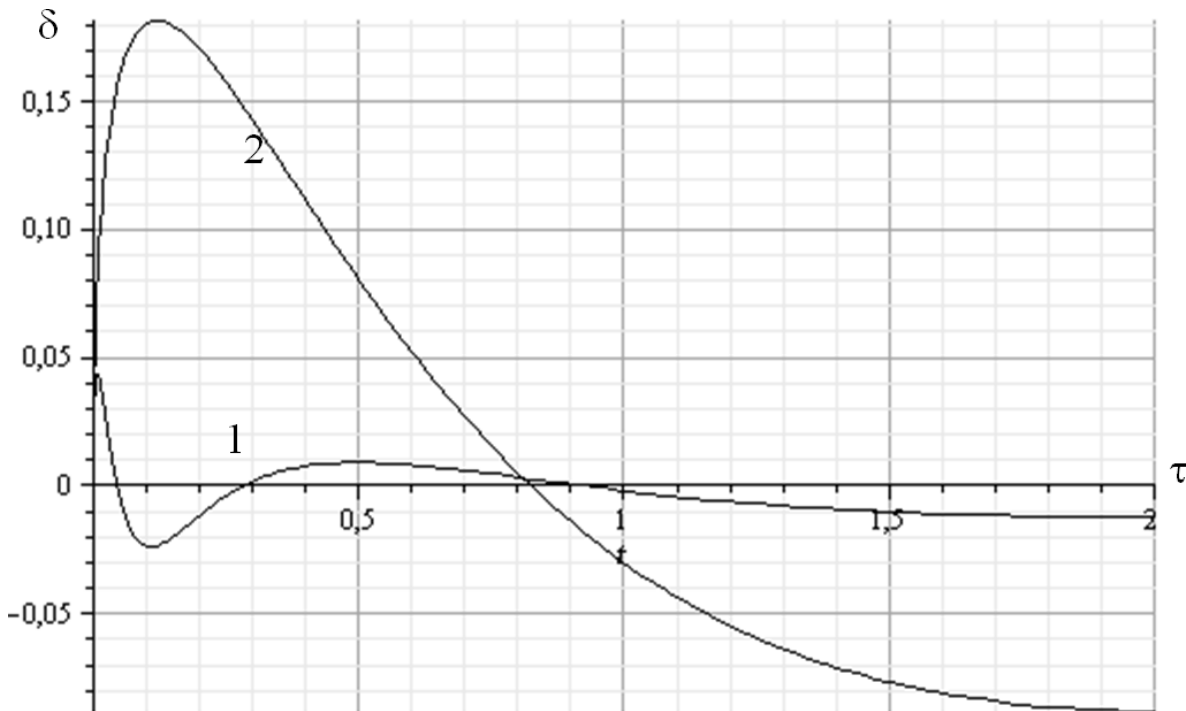
$i$	$a_i$	$b_i$
1	0,23	0,38
2	0,47	1,36
3	0,30	21,56

На рис. 1 приведены график погрешности рассогласования между функциями (4) и (5) (кривая 1), из которого следует, что максимальное значение этой погрешности не превышает 4,5%. Следует заметить, что в [9] аппроксимация осуществлялась для случая (5) при  $i = 1$ , что обуславливало погрешность рассогласования до 18% (см. рис. 1, кривая 2).

Выражение (5) позволяет определить передаточную функцию в терминах [10] следующим образом

$$W_4(p) = L \left[ \frac{d\theta_{21}(\tau)}{d\tau} \right], \quad (6)$$

где  $L$  – оператор интегрального преобразования Лапласа.



**Рис. 1 – Погрешности рассогласования**

Применяя оператор  $L$  к выражению (5), получим [11]

$$W_4(p) = \frac{arK}{\lambda v(T_\kappa - T_0)} \left[ 1 + \sum_{i=1}^2 c_i p^i \right] \left[ 1 + \sum_{m=1}^3 d_m p^m \right]^{-1}, \quad (7)$$

где  $c_i$ ,  $d_m$  – параметры, значения для которых приведены в табл. 2.

**Таблица 2 – Значения параметров передаточной функции**

$i$	$m$	$c_i$	$d_m$
1		2,45	
2		0,65	
	1		3,42
	2		2,11
	3		0,097

Вследствие того, что передаточная функция объекта управления (7), получена с использованием модели (5), для которой погрешность рассогласования с моделью (4) не превышает 4,5%, то можно утверждать, что погрешность рассогласования между моделями (3) и (7) не будет превышать 4,5%.

**Выводы.** Получена математическая модель объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций на примере САП, принадлежащая классу дробно-рациональных функций комплексного аргумента, в основе построения которой лежит результат аппроксимации переходной функции этого объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Основы мониторинга и управления в условиях чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха, В.В. Тютюник и др. – Харьков: АГЗУ, 2005. – 257 с.
2. INSAG-12. Basis safety principles for nuclear power plants // 75-INSAG-J Rev. 1. IAEA. – Viena, 1999.
3. Котов А.Г. Пожаротушение и системы безопасности / А.Г. Котов. – Киев: Рондо-Графика, 2003. – 270 с.
4. Пожаротушение. Программные комплексы систем автоматического водяного, пенного, аэрозольного и газового пожаротушения. Методические указания. – Харьков: АГЗУ, 2004. – 114 с.
5. Садковой В.П. Концептуальные основы построения систем автоматического пожаротушения / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов

- // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации. – Гомель, МЧС РБ, 2006. – С. 185-186.
6. Абрамов Ю.А. Алгоритм синтеза систем автоматического пожаротушения // Ю.А. Абрамов, В.П. Садковой // Научный вестник строительства. – Харьков: ХДТУБА, 2006. – Вып. 36. – С. 199-202.
  7. Садковой В.П. Идентификация математической модели автоматической системы ослабления последствий аварий на АЭС / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харьков: УЦЗУ, 2007. – Вып. 5. – С. 182-189.
  8. Абрамов Ю.А. Математические модели объекта управления системы водяного автоматического пожаротушения / Ю.А. Абрамов, В.П. Садковой // Коммунальное хозяйство городов. – Киев: Техніка, 2007. – Вып. 74. – С. 413-419.
  9. Садковой В.П. Выбор модели объекта управления в системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций / В.П. Садковой // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харьков: УЦЗУ, 2007. – Вып. 6. – С. 115-120.
  10. Абрамов Ю.А. Динамические характеристики пожара класса В при его тушении распыленной водой / Ю.А. Абрамов // Пожежна безпека: теорія і практика. – Черкаси: АПБ, 2012. – С. 352-355.
  11. Бейтмен Г. Таблицы интегральных преобразований. Преобразования Фурье, Лапласа, Меллина / Г. Бейтмен, А. Эрдейн. – М.: Наука, 1969. – 344 с.

Абрамов Ю.О., Гвоздь В.М.

**Математична модель об'єкту управління системи послаблення наслідків надзвичайних ситуацій**

Отримано наближену математичну модель об'єкту управління системи послаблення наслідків надзвичайної ситуації, яка належить класу дробово-раціональних функцій

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

Abramov Y.A., Gvozd V.M.

**Mathematical model of control object of emergencies mitigation system**

Mathematical model of control object of emergencies mitigation system is built. It belongs to class of rational functions with complex argument.

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



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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕПРЕРЫВНО ДЕЙСТВУЮЩЕГО ИСТОЧНИКА ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ**

Определена относительная погрешность оценки интенсивности непрерывно действующего источника техногенной опасности на примере опасного химического вещества, получаемой на основании замеров концентрации, проводимых на этапе разведки

**Ключевые слова:** распространение вторичного облака, оценка интенсивности выброса, относительная погрешность

**Постановка проблемы.** В ходе разведки места аварии производится ее объезд или обход с целью определения границ «холодной» зоны, т.е. зоны в которой концентрация опасного химического вещества превосходит ПДК. С этой целью периодически берутся пробы воздуха, а граница зоны отмечается флажками или другим способом. При этом концентрация опасного химического вещества вблизи источника выброса, определяющая средства защиты личного состава, остается неизвестной. Как правило, это приводит к тому, что выбираются средства защиты с максимальной защитой, даже если их использование может затруднить работу и привести к увеличению времени ликвидации аварии.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах [2, 4] определены зоны безопасного размещения сил средств при ликвидации аварий, сопровождающихся выбросом опасных химических веществ в атмосферу, а также средства индивидуальной защиты личного состава, работающего непосредственно в зоне аварии, в зависимости от интенсивности выброса вещества. В [1] построена оценка интенсивности выброса на основании замеров концентрации вещества в воздухе, но погрешность такой оценки и определение необходимого количества замеров не рассмотрены.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является определение относительной погрешности оценки интенсивности непрерывно действующего источника техногенной опасности на

примере опасного химического вещества на основании замеров концентрации, проводимых в ходе разведки места аварии.

В ходе разведки определяются концентрации  $q_i$  опасного химического вещества в воздухе в точках  $(x_i, y_i, z_i)$  в моменты времени  $t_i$ . Наблюдаемые значения концентраций  $q_i$ , являются случайными величинами

$$q_i = E \cdot F_i + \varepsilon_i + \varepsilon_{ui}, \quad (1)$$

где  $E$  – интенсивность выброса (детерминированная величина);  $\varepsilon_i$  – погрешность, обусловленная случайными изменениями скорости ветра;  $\varepsilon_{ui}$  – погрешность измерений;  $F_i = F(x_i, y_i, z_i, t_i)$  – расчетная величина, определяемая на основании координат точки выброса, характеристик ветра (направление, средняя скорость, дисперсия) и турбулентного коэффициента диффузии [2]. Из [1, 4] следует, что дисперсия погрешности  $\varepsilon_i$  представима в виде

$$D\varepsilon_i = E^2 \cdot G_i, \quad (2)$$

где  $G_i = G(x_i, y_i, z_i, t_i)$  – величина, рассчитываемая по координатам точки выброса, характеристикам ветра и коэффициенту турбулентной диффузии. В [4] показано, что ошибка  $\varepsilon_i$  распределена нормально. Будем также предполагать, что ошибка измерений  $\varepsilon_{ui}$  также распределена нормально с нулевым математическим ожиданием, а среднее значение модуля относительной погрешности равно  $\delta$

$$\overline{\left( \frac{|\varepsilon_{ui}|}{E \cdot F_i} \right)} = \delta. \quad (3)$$

Для нормально распределенной случайной величины  $\xi = \varepsilon_{ui}/EF_i$  связь между средним значением модуля и дисперсией  $\sigma_\xi^2$  определяется соотношением

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\xi} \int_{-\infty}^{+\infty} |x| \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_\xi^2}\right] dx = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_\xi} \int_0^{+\infty} x \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_\xi^2}\right] dx = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma_\xi. \quad (4)$$

Тогда

$$\sqrt{M\varepsilon_{ui}^2} = EF_i\sigma_\xi = \sqrt{\frac{\pi}{2}}\delta EF_i. \quad (5)$$

Серия из  $n$  замеров концентраций  $q_1, q_2, \dots, q_n$  позволяет построить оценку  $\tilde{E}$  интенсивности выброса  $E$  из условия минимума дисперсии ошибки  $\varepsilon$  [3]

$$D\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - E \cdot F_i)^2 \rightarrow \min_E; \quad (6)$$

$$\tilde{E} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i^2}. \quad (7)$$

Предполагая ошибки  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_{ui}$  некоррелированными, найдем дисперсию оценки интенсивности выброса [3]

$$D\tilde{E} = M(\tilde{E} - M\tilde{E})^2 = \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 (M\varepsilon_i^2 + M\varepsilon_{ui}^2)}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 M\varepsilon_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2} + \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 M\varepsilon_{ui}^2}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2}. \quad (8)$$

Подставляя выражения для дисперсий ошибок  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_{ui}$ , получим

$$D\tilde{E} = E^2 \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 G_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2} + E^2 \frac{\pi}{2} \delta^2 \frac{\sum_{i=1}^n F_i^4}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2}. \quad (9)$$

Тогда среднее значение относительной погрешности оценки интенсивности выброса

$$\delta_E = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\sqrt{D\tilde{E}}}{E} = \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 G_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2} + \delta^2 \frac{\sum_{i=1}^n F_i^4}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2}}. \quad (10)$$

Поскольку объезд места аварии происходит примерно по границе холодной зоны, то величины  $F_i$  примерно одинаковы:  $F_i \approx F$  и

$$\delta_E \approx \sqrt{\frac{2}{\pi n^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{G_i}{F_i}\right)^2 + \frac{\delta^2}{n}}. \quad (11)$$

Соотношения (10) или (11) позволяют определить количество наблюдений  $n$ , необходимых для достижения заданной точности оценки интенсивности выброса. Их анализ показывает, что увеличение количества наблюдений  $n$  приводит к уменьшению относительной погрешности как  $1/\sqrt{n}$ .

Ошибка измерений  $\varepsilon_{ui}$  складывается из ошибки прибора, которым производится измерение концентрации (газоанализатора), и ошибки определения координат места измерения относительно источника выброса. Принимая погрешность 6÷8 метров при определении координат автомобильными GPS навигаторами и расстояние до места аварии 50÷100 метров, получим относительную погрешность порядка 10%. Для газоанализатора Дозор-С-М декларируемая относительная погрешность не превосходит 25%. Тогда относительная погрешность измерений составит

$$\delta \approx \sqrt{0,1^2 + 0,25^2} = 0,27.$$

В качестве примера на рис. 1 приведена замкнутая ломаная, по которой проводился объезд места выброса аммиака. Измерения концентрации аммиака в воздухе проводились в вершинах ломаной. При этом начало координат совпадает с точкой выброса; ветер со скоростью 2 м/с направлен вдоль горизонтальной оси, среднеквадратическое отклонение скорости 0,4 м/с в направлении ветра и 0,2 м/с в поперечном направлении. Интенсивность выброса при-

нята 0,1 кг/с. Координаты точек измерения (вершин ломаной) и расчетные значения  $F_i$ ,  $G_i$  в этих точках приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Объезд места аварии

№	$x$ , м	$y$ , м	$F_i \cdot 10^6$	$G_i \cdot 10^6$	№	$x$ , м	$y$ , м	$F_i \cdot 10^6$	$G_i \cdot 10^6$
1	-11,0	-0,2	166	68	9	75,2	0,5	192	20
2	-5,0	10,2	294	86	10	78,3	-12,7	172	24
3	-3,7	20,5	96	34	11	58,7	-14,3	1,15	0,15
4	10,3	23,3	136	46	12	50,3	-23,3	174	36
5	28,2	20,2	246	48	13	34,3	-26,8	136	38
6	44,3	18,3	216	38	14	18,3	-18,8	286	58
7	55,8	22,0	174	34	15	5,8	-16,8	262	70
8	75,7	13,5	182	26	16	-10,8	-10,4	78	42

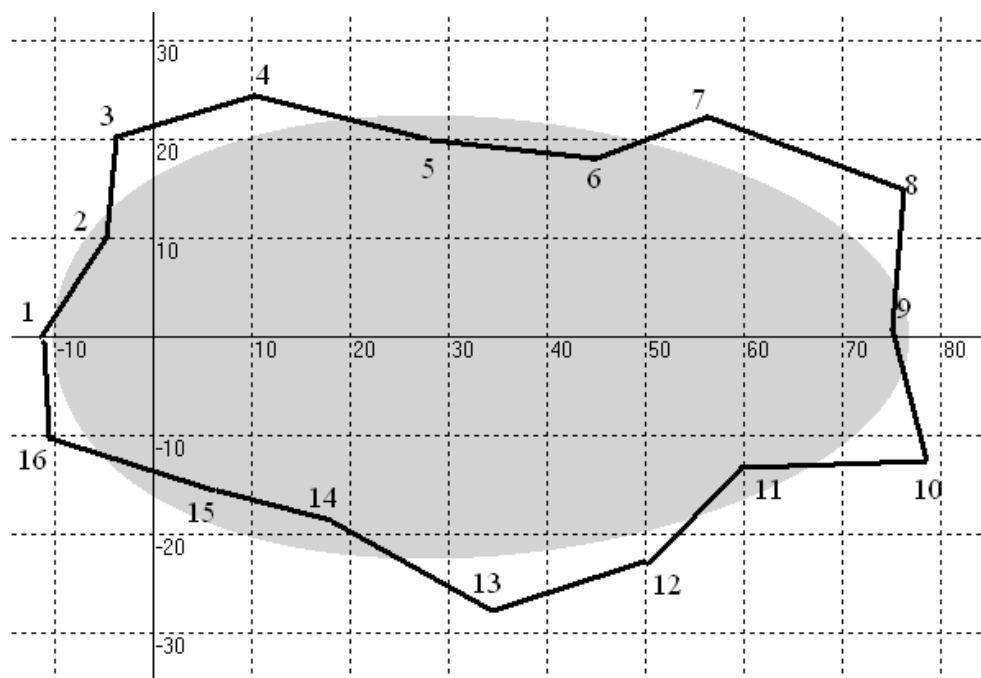


Рис. 1 – Объезд места аварии, сопровождающейся выбросом аммиака с интенсивностью 0,1 кг/с

На рис. 2 приведена зависимость относительной погрешности оценки интенсивности выброса от количества наблюдений, рассчитанная по формуле (10) и асимптота, к которой она приближается с ростом количества наблюдений.

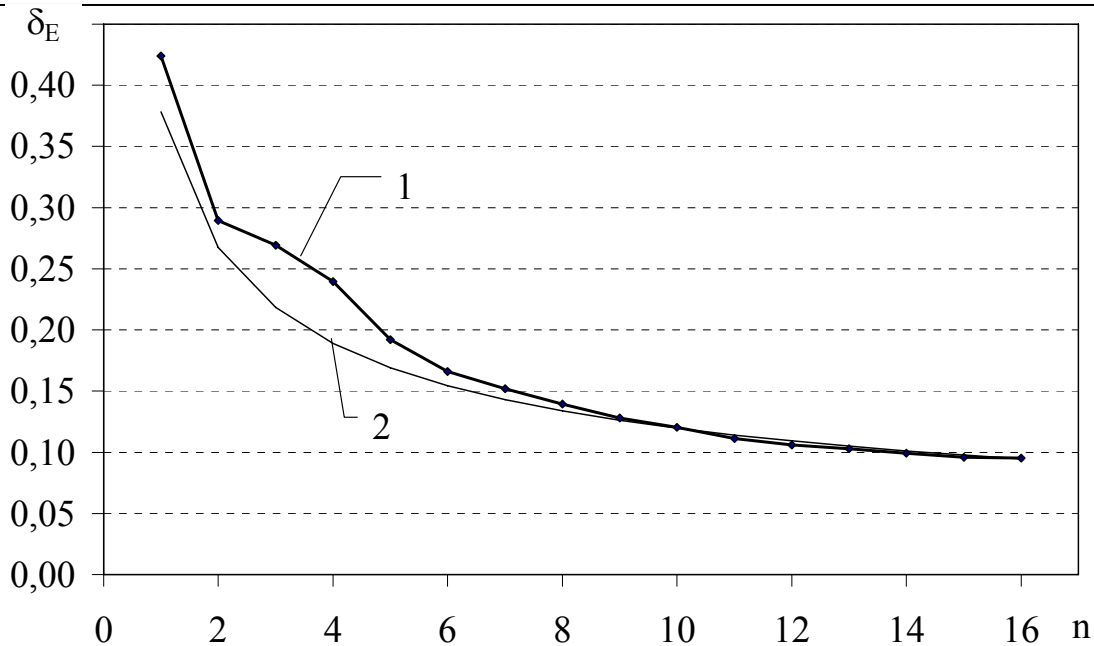


Рис. 2 – Залежність відносної погрешності оцінки інтенсивності выброса від кількості спостережень (1) і асимптота  $A/\sqrt{n}$  (2)

В залежності від вибору точок спостереження крива на рис. 2 буде змінюватися, але кожна така крива з ростом кількості спостережень буде наближатися до нуля як  $1/\sqrt{n}$ .

Аналіз даного прикладу показує, що слагаємі під знаком корня в формулі (10) мають один порядок: їх відношення змінюється в межах  $0,44 \div 1,47$  для різних значень  $n$ . Таким чином, при визначенні відносної погрешності оцінки інтенсивності выброса необхідно враховувати як помилки, викликані випадковим характером дифузії речовини в повітрі, так і помилки вимірювання концентрації та визначення координат.

**Висновки.** Визначено відносна погрешність оцінки інтенсивності неперервно діючого джерела техногенної небезпеки на прикладі небезпечного хімічного речовини в повітрі на основі вимірювань концентрації, що проводяться в ході розвідки місця аварії. Показано, що відносна погрешність зменшується з ростом кількості спостережень  $n$  як  $1/\sqrt{n}$ . Розглянутий приклад з выбросом аміаку показує, що 10-15 вимірювань достатньо для оцінки інтенсивності выброса з відносною погрешністю близько 10-12%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Басманов А.Е. Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков, М.В. Васильев // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2011. – № 13. – С. 20-33.
2. 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.
3. Басманов А.Е. Определение дисперсии оценки интенсивности выброса опасного химического вещества при распространении вторичного облака. / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков, А.А. Михайлюк // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2012. – № 15. – С. 26-30.
4. Стрілець В.М. Аналіз захисних властивостей засобів індивідуального захисту, які призначені для роботи в умовах викиду небезпечних хімічних речовин / В.М. Стрілець, М.В. Васильев // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2010. – Вип. 1 (23). – С. 197-200.

Басманов О.Є., Говаленков С.С.

### **Визначення відносної похибки оцінки інтенсивності неперервно діючого джерела техногенної небезпеки**

Визначено відносну похибку оцінки інтенсивності неперервно діючого джерела техногенної небезпеки на прикладі небезпечної хімічної речовини, яка отримана на підставі замірів концентрації, що проводяться на етапі розвідки

**Ключові слова:** розповсюдження вторинної хмари, оцінка інтенсивності викиду, відносна похибка

Basmanov A.E., Govalenkov S.S.

### **Determining of relative error of intensity estimation for continuous action emission source of hazard**

Relative error of intensity estimation for continuous action emission source of hazardous chemicals 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, relative error

*Беляев В.Ю., адъюнкт, НУГЗУ,  
Тарасенко А.А., д-р техн. наук, ст. науч. сотр., НУГЗУ*

## **МОДЕЛЬ АЗИМУТАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОСРЕДСТВА, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕГО ЭВАКУАЦИЮ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ БЕЗДОРОЖЬЯ**

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

Получена математическая модель, описывающая зависимость азимутальной скорости движения автосредства, осуществляющего экстренную эвакуацию населения населенного пункта, от его тактико-технических характеристик и локальных значений параметров местности. Модель может быть использована для построения динамики областей транспортной достижимости в условиях реальной обстановки.

**Ключевые слова:** эвакуация населения, скорость движения, географические информационные системы

**Постановка проблемы.** Экстренная эвакуация населенного пункта (ЭЭНП) наземными методами в основном осуществляется с помощью автотранспорта. В результате развития масштабной чрезвычайной ситуации (ЧС) (природного пожара, затопления в результате прорыва дамбы, выброса отравляющего химического вещества и т.д.) существующая транспортная сеть может оказаться разрушенной либо временно недоступной. Организация спасения населения в этом случае требует нахождения оптимальных маршрутов эвакуации в условиях бездорожья. Данные оптимальные маршруты могут быть найдены с помощью модифицированного алгоритма встречной волны [1], который предполагает построение областей транспортной достижимости. Построение динамического фронта волны предполагает учет зависимости скорости движения автосредства (АС) от тактико-технических характеристик (ТТХ), динамики параметров поражающих факторов ЧС и свойств реальной местности, учет пространственной неоднородности которых может быть осуществлен с помощью географических информационных систем (ГИС).

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [2] приведена модель азимутальной скорости движения АС, учитывающая локальные параметры ландшафта и устойчивость



автосредства на склоне. При этом влияние мощности двигателя на номинальную скорость не учитывается, как и не учитываются ограничения для движения по крутизне склона. Кроме того, нахождение границ угловых интервалов разрешенных направлений движения в [2] осуществляется численно, что приводит к снижению оперативности процедуры отыскания данных интервалов.

В работе [3] приведена модель расчетной мощности двигателя автомобиля, преодолевающего склон и приведены критические значения величины склона для разных типов транспортных средств (по мощности двигателя). При этом отсутствует зависимость скорости от азимутального угла, что делает ее непригодной для нахождения областей транспортной достижимости.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является построение математической модели азимутальной скорости движения автосредства, осуществляющего экстренную эвакуацию населения населенного пункта в условиях бездорожья в зависимости от ТТХ автосредства и параметров ландшафта.

Известно [4], что скорость  $V$  движения автомобиля зависит от свойств грунта, т.е. в реальных условиях  $V = V(x; y)$ . Очевидно, что существуют природные и антропогенные препятствия (области запрета), где  $V = 0$ .

Кроме того, скорость движения зависит от топографии местности, т.е.  $V = V(\alpha)$ , где  $\alpha$  - крутизна склона в направлении движения.

Возможность движения АС определяется не только крутизной склона, но и устойчивостью АС на склоне, т.е. не всякие направления  $\phi$  движения по склону являются разрешенными. Будем полагать, что в случае неустойчивого положения АС на склоне (и, как следствие, при возможности опрокидывания АС)  $V = 0$ .

Пусть заданы ГИС-модели поверхности рельефа  $Z(x; y)$  в виде аналитической модели [2] и векторно-функциональная модель (ВФМ) [5] местности  $U(x; y)$  ( $U$  - вектор тематических слоев), описывающие окрестность  $\Omega$  населенного пункта, население которого подлежит экстренной эвакуации. В контексте предлагаемой модели актуален ГИС-слой, представляющий собой пространственное задание коэффициента  $k_v(x; y)$  ( $0 \leq k_v \leq 1$ ) влияния свойств грунта или подстилающей поверхности (данные приведены в [4]) и областей запрета на скорость движения автомобиля, т.е. возможно задание поля скорости в виде

---

Модель азимутальной скорости движения автосредства, осуществляющего эвакуацию населения в условиях бездорожья

$$V(x; y) = k_v(x; y) \cdot v_n, \quad (1)$$

где  $v_n$  - номинальная скорость АС.

Пусть известен прогноз динамики поражающих факторов ЧС, например, концентрации  $C(x; y; t)$  отравляющего химического вещества (ОХВ), выброс которого имеет место в окрестности эвакуируемого населенного пункта. Данный прогноз позволяет найти динамику границы  $L_c(x; y; t) = 0$  области предельно допустимой концентрации ОХВ, которая представляет собой дополнительную зону запрета для движения АС и задать ее в виде динамического дополнения ГИС-слоя  $k_v(x; y; t)$  в ВФМ.

Согласно [3], мощность двигателя АС, необходимая для преодоления подъема крутизной  $\alpha$  со скоростью  $v_n$  определяется выражением

$$p = \frac{v_n}{q_1 \cdot \eta_T} \cdot \left[ g \cdot m_a \cdot (f \pm \operatorname{tg} \alpha) + \frac{k_B \cdot c \cdot b \cdot v_n^2}{q_2} \right], \quad (2)$$

где  $p$  - мощность двигателя автомобиля (кВт);  $v_n$  - номинальная скорость движения автомобиля ( $\text{км} \cdot \text{ч}^{-1}$ );  $\eta_T$  - КПД трансмиссии;  $g$  - ускорение силы тяжести ( $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ );  $m_a$  - масса автомобиля (т);  $f$  - коэффициент сопротивления качению;  $\alpha$  - угол склона (градусы);  $k_B$  - коэффициент сопротивления воздуха ( $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$ );  $c$  - высота автомобиля (м);  $b$  - ширина автомобиля (м);  $q_1 = 3,6$ ;  $q_2 = 13000$ .

Выражение (2) справедливо для движения вверх ( $\alpha > 0$ ) и вниз ( $\alpha < 0$ ) по склону (т.е. вдоль линии градиента высоты). В то же время, данное выражение не позволяет определить скорость движения вдоль произвольного направления  $\phi$  (по косоугору).

Используя известную [2] зависимость угла склона  $\alpha$  ( $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ) от азимутального направления  $\phi$  ( $\phi \in [0; 2\pi]$ )

$$\alpha(x; y; \phi) = \frac{180^\circ}{\pi} \operatorname{arctg}(Z_x \cos \phi + Z_y \sin \phi), \quad (3)$$

где введены обозначения  $Z_x = \frac{\partial Z(x; y)}{\partial x}$ ;  $Z_y = \frac{\partial Z(x; y)}{\partial y}$ .

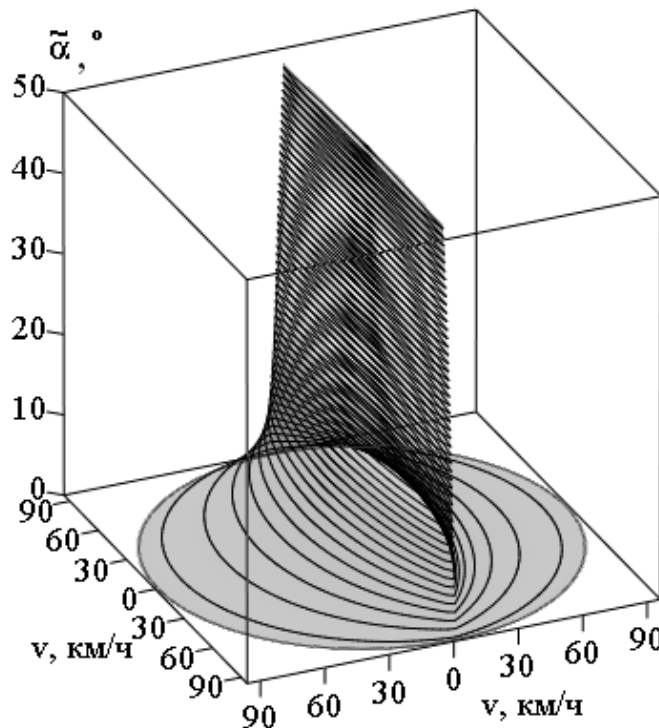
Задавая значения параметров (приведены в [4]), входящих в (2), для различных марок автомобилей, путем решения (2) относительно  $v_n$ , можно найти зависимость  $v_n(x; y; \alpha; Z(x; y); w)$ , где  $w = [p; n_T; m_a; f; k_B; c; b]$  - вектор ТТХ АС, в виде

$$v_n(x; y; \phi; Z(x; y); w) = \begin{cases} v_1, & 0 \leq \phi < \pi / 2; \\ v_2, & \pi / 2 \leq \phi < 3\pi / 2; \\ v_1, & 3\pi / 2 \leq \phi < 2\pi, \end{cases} \quad (4)$$

где

$$v_{1,2} = - \frac{\sqrt[3]{12} \left( \sqrt[3]{12A^2B_{1,2}C} - \sqrt[3]{A^4C^4 \left( 9p + \sqrt{(12B_{1,2}^3A^2 + 81P^2C)/C} \right)^2} \right)}{6AC \sqrt[3]{A^2C^2 \left( 9p + \sqrt{(12B_{1,2}^3A^2 + 81P^2C)/C} \right)}}; \quad (5)$$

$$A = 1/(q_1 \cdot \eta_T); B_{1,2} = g \cdot m_a \cdot (f \pm \operatorname{tg} \alpha(x; y; \phi; Z(x; y))); C = k_B \cdot h \cdot b/q_2.$$



**Рис. 1 – График зависимости  $v_n(\tilde{\alpha}; \phi)$  в цилиндрических координатах**

Модель азимутальной скорости движения автосредства, осуществляющего эвакуацию населения в условиях бездорожья

В том случае, если склон задается в виде плоскости  $Z = \operatorname{tg} \tilde{\alpha} \cdot x$  крутизна склона (3) не зависит от координаты  $(x; y)$ , а (4) приобретает вид  $v_n = v_n(\tilde{\alpha}; \phi; w)$ . Задавая ТТХ по данным [4], получим функцию  $v_n(\tilde{\alpha}; \phi)$ , график которой (в цилиндрических координатах) приведен на рис. 1.

Как видно из графика, с ростом крутизны  $\tilde{\alpha}$  происходит быстрое снижение скорости движения в направлении движения вверх и вниз по склону и не происходит снижения скорости при движении поперек склона.

Следует отметить, что выражение (1) не в полной мере описывает характер движения АС по склону – в работе [4] приведены значения предельных углов склона  $\alpha_{кр}$ , которые необходимо учесть в виде введения запрета на движение в азимутальном интервале  $[\phi_{кр}^1; \phi_{кр}^2]$ , нахождение границ которого осуществляется путем решения уравнения  $\alpha_{кр} = \alpha(\phi)$  относительно  $\phi$  в виде

$$\phi_{кр}^{1,2} = \operatorname{arctg} \left( -\frac{Z_x}{Z_y} \frac{\left( Z_x \operatorname{tg} \alpha_{кр} \pm \sqrt{Z_x^2 Z_y^2 - Z_y^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{кр} + Z_y^4} \right)}{Z_x^2 + Z_y^2} + \frac{\operatorname{tg} \alpha_{кр}}{Z_y}, \right. \\ \left. \frac{Z_x \operatorname{tg} \alpha_{кр} \pm \sqrt{Z_x^2 Z_y^2 - Z_y^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{кр} + Z_y^4}}{Z_x^2 + Z_y^2} \right). \quad (6)$$

В работе [2] приведена процедура нахождения разрешенных направлений движения, обусловленных устойчивым движением АС по поверхности рельефа, основанная на численном решении неравенства  $R(x_c(\phi); y_c(\phi)) < 0$  относительно  $\phi$ , где  $R(x; y)$  -  $R$ -уравнение проекции основания АС на плоскость  $XOY$ , а  $(x_c(\phi); y_c(\phi))$  - координаты проекции центра масс АС на  $XOY$ .

Для построения фронта волны транспортной достижимости необходимо многократно осуществлять указанное действие, что приводит к снижению оперативности всей процедуры. Для устранения данного недостатка необходимо найти аналитическое решение данного неравенства.

С этой целью на начальном этапе повторим построения [2].

Будем полагать, что движение передним ходом АС в направлении  $\phi$  эквивалентно его ориентации в данном направлении.

Аппроксимируем АС параллелепипедом, полагая, что четыре точки опоры АС образуют прямоугольник длиной  $a$  (колесная база), шириной  $b$  (длина оси) и высотой  $c$  (высотный габарит). Пусть местоположение центра масс известно и задано относительно правой задней опоры координатами  $(c_a; c_b; c_c)$ , где  $0 \leq c_a \leq a$ ;  $0 \leq c_b \leq b$ ;  $0 \leq c_c \leq c$ , т.е. центр масс в общем случае располагается несимметрично.

В глобальной системе координат ОХУZ с ортами  $(\vec{i}; \vec{j}; \vec{k})$ , ориентированной по сторонам света и вверх, в точке  $O'(x_0; y_0; z_0)$  к поверхности  $Z(x; y)$  построим касательную плоскость

$$\tilde{z}(x, y) = z_0 + Z_x(x_0; y_0)(x - x_0) + Z_y(x_0; y_0)(y - y_0). \quad (7)$$

Построим локальную декартову систему координат, связанную с геометрическим центром  $O'$  проекции АС и сориентированную осью абсцисс по направлению переднего хода АС. Орты локальной системы координат обозначим как  $(\vec{v}; \vec{t}; \vec{n})$ . Данная система координат не связана жестко с касательной плоскостью, а вращается вокруг вектора  $\vec{n}$ . В этой системе координат опора будет определяться набором точек  $A'_1(-a/2; -b/2)$ ,  $A'_2(a/2; -b/2)$ ,  $A'_3(a/2; b/2)$ ,  $A'_4(-a/2; b/2)$ . Местоположение центра масс  $C'$  в локальной системе координат будет задаваться как  $C'(a'_c; b'_c; c'_c) = C'(c_a - a/2; c_b - b/2; c_c)$ .

Параметрические (параметр  $\lambda$ ) уравнения отрезков - сторон четырехугольника  $A'_1A'_2A'_3A'_4$  в локальной системе будут иметь вид

$$\begin{aligned} A'_1A'_2(\lambda) &= \begin{cases} X_{A'_1A'_2} = \lambda, & -a/2 \leq \lambda \leq a/2; \\ Y_{A'_1A'_2} = -b/2; \end{cases} \\ A'_4A'_3(\lambda) &= \begin{cases} X_{A'_4A'_3} = \lambda, & -a/2 \leq \lambda \leq a/2; \\ Y_{A'_4A'_3} = b/2; \end{cases} \\ A'_1A'_4(\lambda) &= \begin{cases} X_{A'_1A'_4} = -a/2; \\ Y_{A'_1A'_4} = \lambda, & -b/2 \leq \lambda \leq b/2; \end{cases} \\ A'_2A'_3(\lambda) &= \begin{cases} X_{A'_2A'_3} = a/2; \\ Y_{A'_2A'_3} = \lambda, & -b/2 \leq \lambda \leq b/2. \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

Поскольку локальная система координат вращается вместе с АС, то уравнения сторон основания и координаты центра масс в ней не будут зависеть от угла ориентации АС, в отличие от уравнений данных отрезков в глобальной системе  $OXYZ$ , которые могут быть найдены на основании формул перехода от одной системы координат к другой [2]

$$A_1A_2(\lambda; \phi) = \begin{cases} X_{A_1A_2} = x_0 + [2\lambda A \cos \phi + bCZ_y + b \sin \phi][2AB]^{-1}; \\ Y_{A_1A_2} = y_0 + [2\lambda A \sin \phi - bCZ_x + b \cos \phi][2AB]^{-1}; \\ Z_{A_1A_2} = z_0 + [2\lambda AC + bD][2AB]^{-1}; \quad -a/2 \leq \lambda \leq a/2; \end{cases}$$

$$A_2A_3(\lambda; \phi) = \begin{cases} X_{A_2A_3} = x_0 - [2\lambda(\sin \phi + CZ_y) - aA \cos \phi][2AB]^{-1}; \\ Y_{A_2A_3} = y_0 + [2\lambda(\cos \phi + CZ_x) + aA \sin \phi][2AB]^{-1}; \\ Z_{A_2A_3} = z_0 - [2\lambda D - aAC][2AB]^{-1}; \quad -b/2 \leq \lambda \leq b/2, \end{cases} \quad (9)$$

$$A_3A_4(\lambda; \phi) = \begin{cases} X_{A_3A_4} = x_0 + [2\lambda A \cos \phi - bCZ_y - b \sin \phi][2AB]^{-1}; \\ Y_{A_3A_4} = y_0 + [2\lambda A \sin \phi + bCZ_x + b \cos \phi][2AB]^{-1}; \\ Z_{A_3A_4} = z_0 + [2\lambda AC - bD][2AB]^{-1}; \quad -a/2 \leq \lambda \leq a/2; \end{cases}$$

$$A_4A_1(\lambda; \phi) = \begin{cases} X_{A_4A_1} = x_0 + [2\lambda(\sin \phi + CZ_y) - aA \cos \phi][2AB]^{-1}; \\ Y_{A_4A_1} = y_0 - [2\lambda(\cos \phi + CZ_x) + aA \sin \phi][2AB]^{-1}; \\ Z_{A_4A_1} = z_0 - [2\lambda D + aAC][2AB]^{-1}; \quad -b/2 \leq \lambda \leq b/2; \end{cases}$$

где введены обозначения  $A = \sqrt{Z_x^2 + Z_y^2 + 1}$ ;  $C = Z_x \cos \phi + Z_y \sin \phi$ ;

$$B = \sqrt{1 + (Z_x \cos \phi + Z_y \sin \phi)^2}; \quad D = Z_x \sin \phi - Z_y \cos \phi.$$

Формулами

$$\begin{aligned} X_c &= x_0 + [a'_c A \cos \phi - b'_c(CZ_y + \sin \phi) - c'_c BZ_x][2AB]^{-1}; \\ Y_c &= y_0 + [a'_c A \sin \phi + b'_c(CZ_x + \cos \phi) - c'_c BZ_y][2AB]^{-1}; \\ Z_c &= z_0 + [a'_c AC - b'_c D + c'_c B][2AB]^{-1}, \end{aligned} \quad (10)$$

задаются координаты центра масс  $C(X_c; Y_c; Z_c)$  в глобальной системе.

Проекция на плоскость  $XOY$  сторон основания и центра масс будут задаваться их  $X$  и  $Y$  координатами.

В зависимости от крутизны склона, местоположения и азимутальной ориентации  $AC$ , проекция центра масс может лежать как внутри проекции основания  $AC$ , так и вне ее. Нахождение значений критических углов азимутальной ориентации  $\phi$ , определяющих устойчивую ориентацию автосредства, осуществим решением четырех систем уравнений

$$\begin{cases} X_{A_i A_{i+1}}(\lambda; \phi) = X_c(\phi); \\ Y_{A_i A_{i+1}}(\lambda; \phi) = Y_c(\phi), \end{cases} \quad (11)$$

где  $i = 1 \dots 4$  (полагая, что  $A_5 = A_1$ ). Решение каждой из систем (11) осуществлялось путем нахождения явных выражений  $\lambda_{i, i+1} = \lambda(\phi)$  из первых уравнений в виде

$$\lambda_{12,34} = \frac{\mp(b + 2b_c)(\sin \phi + C \cdot Z_y) + 2a_c A \cos \phi - 2c_c B Z_x}{2A \cos \phi} \quad (12)$$

$$\lambda_{23,41} = \frac{-(2a_c \pm a) A \cos \phi + 2b_c (\sin \phi + C Z_y) + 2c_c B Z_x}{2C Z_y}$$

и последующей подстановкой их во вторые уравнения соответствующих систем, явные решения которых относительно неизвестной  $\phi$  для каждой  $i$ -ой системы на интервале  $[0; 2\pi]$  задается множеством четырех корней  $\phi_{i, i+1}^k$  ( $k = 1 \dots 4$ ):

- для стороны  $A_1 A_2$

$$\begin{aligned} \phi_{12}^1 &= \arctg(-E_1 Z_x - F_1 Z_y; E_1 Z_y - F_1 Z_x); \\ \phi_{12}^2 &= \arctg(-E_1 Z_x + F_1 Z_y; E_1 Z_y + F_1 Z_x); \\ \phi_{12}^3 &= \arctg(E_1 Z_x + F_1 Z_y; -E_1 Z_y + F_1 Z_x); \\ \phi_{12}^4 &= \arctg(E_1 Z_x - F_1 Z_y; -E_1 Z_y - F_1 Z_x), \end{aligned} \quad (13)$$

где  $E_1 = A(b + 2b_c)$ ;  $F_1 = \sqrt{4c_c^2(Z_x^2 + Z_y^2) - (b + 2b_c)^2}$ .

- для стороны  $A_2A_3$

$$\begin{aligned}\phi_{23}^1 &= \text{arctg}(E_2Z_y + F_2Z_x; E_2Z_x - F_2Z_y); \\ \phi_{23}^2 &= \text{arctg}(E_2Z_y - F_2Z_x; E_2Z_x + F_2Z_y); \\ \phi_{23}^3 &= \text{arctg}(-E_2Z_y + F_2Z_x; -E_2Z_x - F_2Z_y); \\ \phi_{23}^4 &= \text{arctg}(-E_2Z_y - F_2Z_x; -E_2Z_x + F_2Z_y),\end{aligned}\tag{14}$$

где  $E_1 = A^{-1}(a + 2a_c)$ ;  $F_2 = \sqrt{4c_c^2(Z_x^2 + Z_y^2) - (a + 2a_c)^2}$ .

- для стороны  $A_3A_4$

$$\begin{aligned}\phi_{34}^1 &= \text{arctg}(E_3Z_x + F_3Z_y; -E_3Z_y + F_3Z_x); \\ \phi_{34}^2 &= \text{arctg}(E_3Z_x - F_3Z_y; -E_3Z_y - F_3Z_x); \\ \phi_{34}^3 &= \text{arctg}(-E_3Z_x + F_3Z_y; E_3Z_y + F_3Z_x); \\ \phi_{34}^4 &= \text{arctg}(-E_3Z_x - F_3Z_y; E_3Z_y - F_3Z_x),\end{aligned}\tag{15}$$

где  $E_3 = A(b - 2b_c)$ ;  $F_3 = \sqrt{4c_c^2(Z_x^2 + Z_y^2) - (b - 2b_c)^2}$ .

- для стороны  $A_4A_1$

$$\begin{aligned}\phi_{41}^1 &= \text{arctg}(-E_4Z_y + F_4Z_x; -E_4Z_x - F_4Z_y); \\ \phi_{41}^2 &= \text{arctg}(-E_4Z_y - F_4Z_x; -E_4Z_x + F_4Z_y); \\ \phi_{41}^3 &= \text{arctg}(E_4Z_y + F_4Z_x; E_4Z_x - F_4Z_y); \\ \phi_{41}^4 &= \text{arctg}(E_4Z_y - F_4Z_x; E_4Z_x + F_4Z_y),\end{aligned}\tag{16}$$

где  $E_4 = A^{-1}(a - 2a_c)$ ;  $F_4 = \sqrt{4c_c^2(Z_x^2 + Z_y^2) - (a - 2a_c)^2}$ .

Полученные значения критических углов, совместно с двумя значениями (6) могут образовывать границы азимутальных интервалов разрешенных направлений движения (рис. 2). Но в виду использования нетождественных преобразований при нахождении корней (13)-(16), среди них имеются побочные. Поэтому для уста-



новлення истинности корней всякий раз необходимо осуществлять проверку выполнения условия принадлежности координат проекции центра масс проекции основания АС, что может быть осуществлено методами вычислительной геометрии.

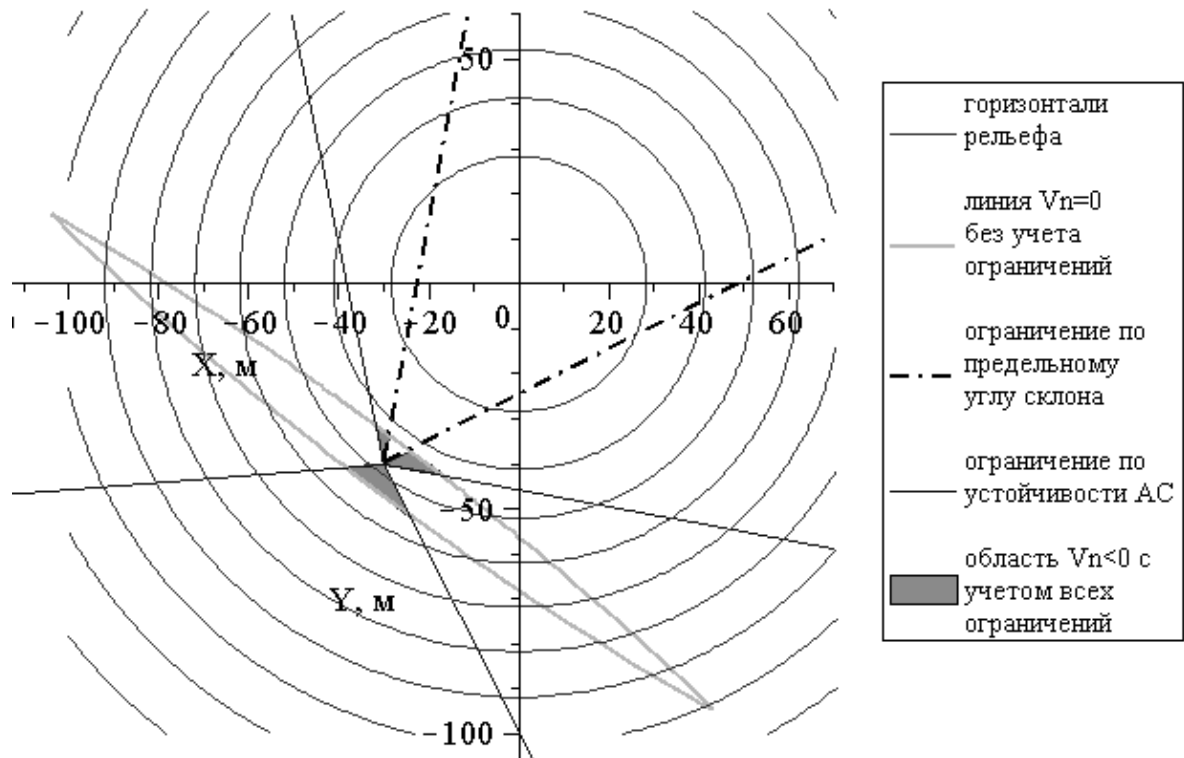


Рис. 2 – Получение разрешенных направлений движения

Осуществив данную проверку и найдя истинные значения критических углов (их количество варьирует от 0 до 2 для каждой из сторон проекции АС), можно получить азимутальные интервалы разрешенных направлений движения. Дополняя модель (1), (4)-(5) данными ограничениями и учитывая, что  $Z_x$  и  $Z_y$  являются функциями пространственных координат, получаем поле  $V(x; y; \phi; Z(x; y))$ , пример которого приведен на рис. 3.

Данное поле будет специфичным для каждого из видов используемых АС, поэтому в качестве входных параметров модели азимутальной скорости движения транспортного средства являются тактико-технические характеристики, определяющие устойчивость каждого из видов привлекаемых к эвакуации АС, которые должны храниться в виде элементов базы данных.

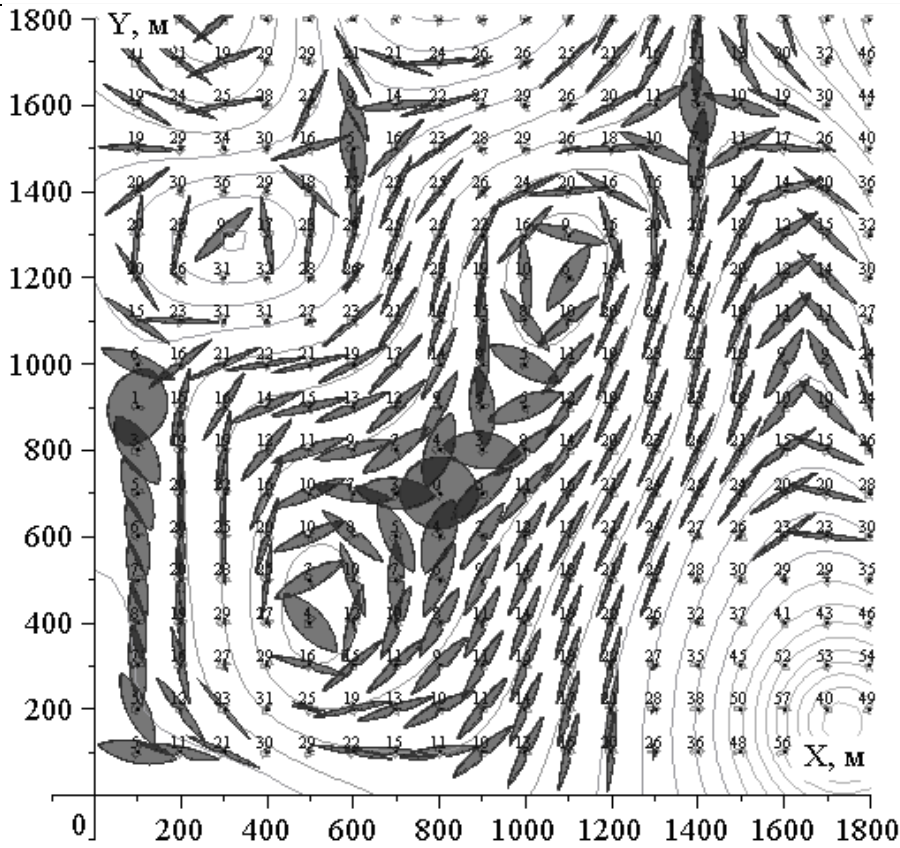


Рис. 3 – Пример поля  $v_n(x; y; \phi; Z(x; y))$ . Указана крутизна склону в градусах

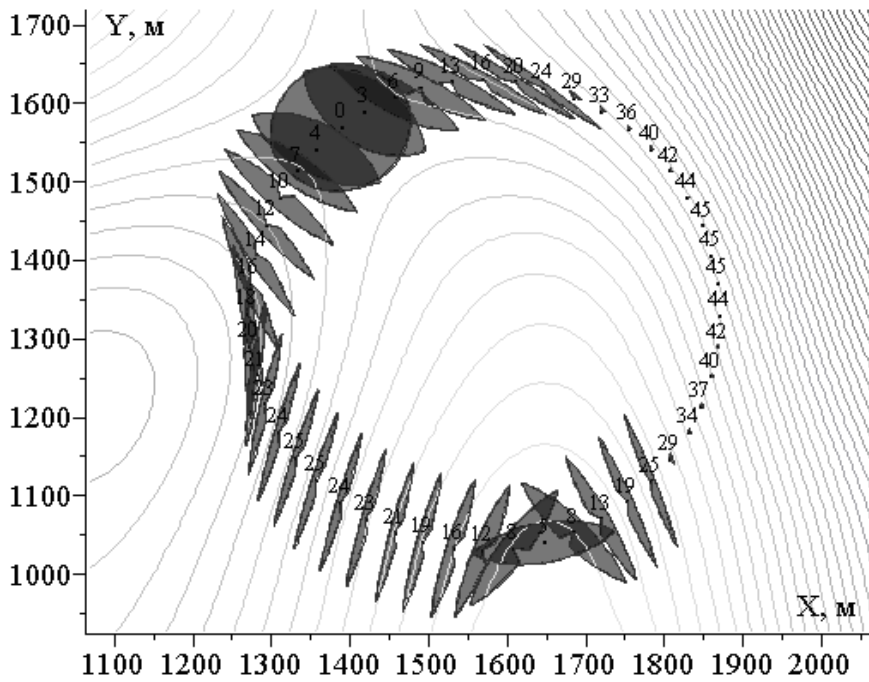


Рис. 4 – Получение поля скорости  $V(x; y; \phi; Z(x; y))$  в точках фронта области транспортной достижимости

Для ітераційного побудови динаміки області транспортної досяжності АС необхідно здійснювати побудову  $V(x_i; y_i; \phi; Z(x; y))$  в точках попередньої ітерації. Приклад такого побудови показаний на рис. 4.

**Висновки.** Отримано аналітична модель азимутальної швидкості руху автотранспорту, що здійснює екстрену евакуацію населення населеного пункту в умовах бездоріжжя. Модель адаптована до можливостей ГІС і в наступному дозволить отримати динаміку області транспортної досяжності в умовах реальної місцевості.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ушанов С.В. Оптимізація маршрутизації при управлінні боротьбою з лісовими пожегами / С.В. Ушанов, О.В. Фадєєнков // Хвойні бореальні зони. - Красноярськ: СибГТУ. - 2007. - №4-5, - С. 405-407.
2. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е., Тарасенко А.А. Моделювання пожег, їх виявлення, локалізації та тушення. - Харків: НУГЗУ, 2011. - 927 с.
3. Хусаїнов, А. Ш. Теорія автомобіля. Конспект лекцій / А.Ш. Хусаїнов, В. В. Селіфонов - Ульяновськ: УлГТУ, 2008. - 121 с.
4. Гришкєвич А.И. Автомобілі: Теорія / А.И. Гришкєвич // Учень для вузів. - Мн.: Виш. шк., 1986. - 208 с.
5. Абрамов Ю.А. Формування апріорної інформації для системи ліквідації наслідків надзвичайної ситуації / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2007.- Вип. 6.-С. 11-22.

Бєляєв В.Ю., Тарасенко О.А.

**Модель азимутної швидкості руху автотранспорту, що здійснює евакуацію населення в умовах бездоріжжя**

Отримано математична модель, що описує залежність азимутної швидкості руху автотранспорту, що здійснює екстрену евакуацію населення населеного пункту, від його тактико-технічних характеристик і локальних значень параметрів місцевості. Модель може бути використана для побудови динаміки областей транспортної досяжності в умовах реальної обстановки.

**Ключові слова:** евакуація населення, швидкість руху, географічні інформаційні системи

Belyaev V.U., Tarasenko O.A.

**Model of azimuthal speed of movement of vehicle which is carrying out population evacuation in cross-country conditions**

The mathematical model describing dependence of azimuthal speed of movement of vehicle, the population of the settlement carrying out emergency evacuation, from its tactical technical characteristics and local values of parameters of the district is received. The model can be used for creation of dynamics of areas of transport approachability in the conditions of a real situation.

**Key words:** evacuation of population, speed of movement, geographical information systems

**УДК 628.35**

*Горносталь С.А., преп., НУГЗУ,  
Уваров Ю.В., канд. техн. наук, нач. НМЦ УЗ, НУГЗУ,  
Назаров О.А., канд. психол. наук, проректор, НУГЗУ*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА  
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**  
(представлено д-ром техн. наук Соловьев В.В.)

Приведены результаты расчетов по определению оптимального режима очистки сточных вод с использованием предложенного метода выбора технологического режима работы аэротенка

**Ключевые слова:** биологическая очистка, аэротенк, сточные воды

**Постановка проблемы.** Сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод является самым массовым по количеству и видам загрязняющих веществ источником загрязнения поверхностных водных объектов. Поэтому правильное обоснование применяемых технологий позволит обеспечить необходимую степень очистки и экологическое благополучие водных объектов. Основными направлениями повышения качества очистки являются совершенствование технологического процесса в существующих сооружениях или радикальное изменение их конструкции. Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что из всех возможных путей создания технологически управляемых процессов биохимической очистки реализована лишь меньшая их часть, известные же попытки управления работой аэротенков связаны с ре-

Горносталь С.А., Уваров Ю.В., Назаров О.А.

гулированием отдельных элементов технологического процесса и, как правило, отличаются неудовлетворительным инженерным исполнением. Таким образом, наиболее актуальной в современных условиях является разработка новых методов управления работой сооружений для обеспечения максимальной эффективности аэробной биологической очистки сточных вод.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время большое внимание уделяется повышению эффективности действующих сооружений путем определения оптимальной нагрузки на активный ил и рационального распределения сточных вод по длине аэротенка с дальнейшей оптимизацией работы сооружений [1]. Рассматриваются вопросы построения математических моделей и методик расчета параметров сооружений биологической очистки в процессе удаления загрязнений различного происхождения [2].

**Постановка задачи и ее решение.** В процессе биологической очистки участвуют сооружения типа аэротенков, работа которых основана на способности микроорганизмов извлекать загрязнения из сточных вод в процессе своей жизнедеятельности. При работе аэротенков постоянно изменяются такие параметры как расход сточных вод поступающих на очистку и концентрация загрязнений в поступающих сточных водах. Эффективное применение аэротенка промежуточного типа с регенератором с целью получения на выходе из сооружений биологической очистки показателей качества воды по органическим загрязнениям не выше предельно допустимых концентраций зависит от правильного выбора режима работы аэротенка при конкретных условиях его эксплуатации.

Нами предлагается выбор варианта подачи сточных вод в аэротенк промежуточного типа с регенератором осуществлять в соответствии с методом выбора технологического режима работы, основанием, для которого является математическая модель [3] процесса биологической очистки сточных вод в аэротенке промежуточного типа с регенератором.

*Общие положения. Последовательность решения задачи.*

1. Задаются исходные данные, учитывающие характеристики сточной жидкости, поступающей на очистку (расход сточных вод  $q_{cv} = 35 \div 45 \text{ м}^3/\text{мин}$ , концентрация загрязнений в поступающих сточных водах  $L_{cv} = 0,09 \div 0,15 \text{ г/л}$ ); характеристики активного ила (расход активного ила  $q_u = 25,2 \text{ м}^3/\text{мин}$ , доза ила  $a_u = 5,8 \text{ г/л}$ ).

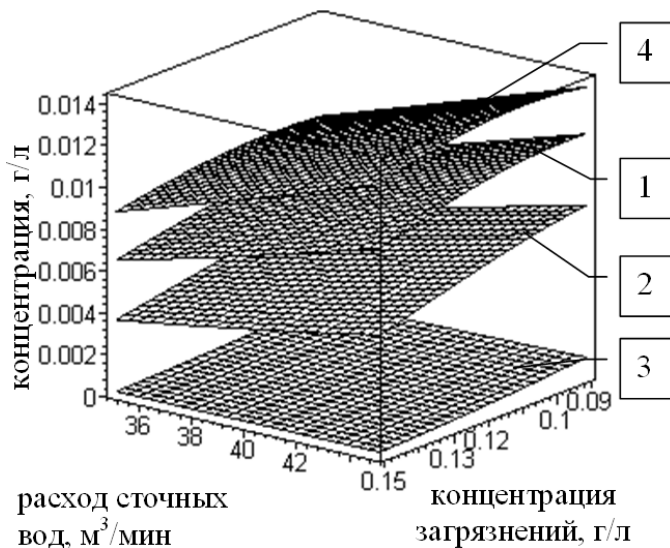
2. Полученные данные вводятся в математическую модель процесса биологической очистки сточных вод, которая реализована в виде блока компьютерных программ, дающих возможность выбрать вариант точных вод через одно окно, через два, три и четыре окна (всего 15 возможных вариантов).

3. Полученные результаты на выходе из сооружений очистки (концентрация загрязнений  $L_{вых}$ , концентрация хлопьев  $X_{вых}$ , концентрация дисперсных бактерий  $Z_{вых}$ ) для всех вариантов сравниваются с нормативными величинами. При этом учитывается, что сумма значений  $X_{вых}$  и  $Z_{вых}$  является значением дозы ила  $a_{вых}$ .

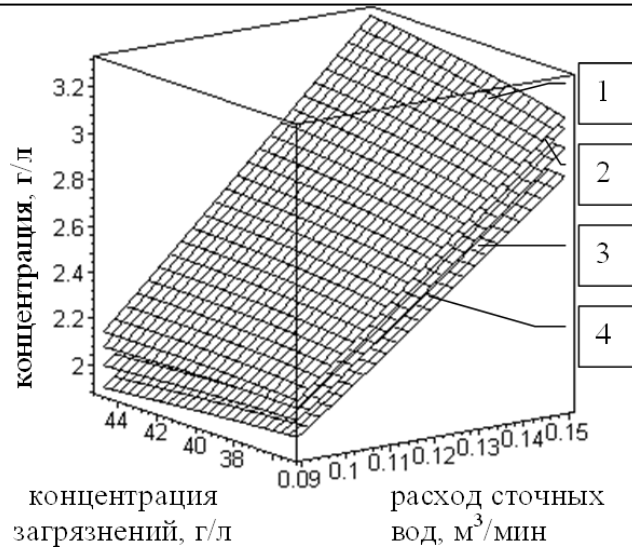
4. Из рассмотренных вариантов подачи сточных вод выбираются те, при реализации которых получены значения концентрации загрязнений на выходе из аэротенка не выше предельно допустимого значения, доза ила соответствует нормативной.

В результате проведенных вычислений получено, что по вариантам подачи сточных вод через два, три и четыре окна значения концентраций загрязнений на выходе из сооружений выше предельно допустимых, следовательно, эти варианты не обеспечивают необходимую степень очистки.

На рис. 1-2 приведены результаты расчета для варианта подачи сточных вод через одно окно.



**Рис. 1 – Изменение концентрации загрязнений: 1 – подача через первое окно, 2 – подача через второе окно, 3 – подача через третье окно, 4 – подача через четвертое окно**



**Рис. 2 – Изменение концентрации активного ила на выходе из аэротенка: 1 – подача через первое окно, 2 – подача через второе окно, 3 – подача через третье окно, 4 – подача через четвертое окно**

Анализируя полученные результаты, видим, что концентрация загрязнений в очищенной воде на выходе из аэротенка не превышает предельно допустимое значение  $L_{норм} = 0,015$  г/л для всех вариантов подачи через одно окно (рис. 1). При этом доза ила для этих вариантов (рис. 2) лежит в пределах  $a_u = 2,0 \div 3,2$  г/л, а рекомендуемое значение составляет  $a_u = 2,0 \div 3,0$  г/л, увеличение до 4-5 г/л приводит к стесненному осаждению ила во вторичном отстойнике и к ухудшению условий разделения иловой смеси. С учетом вышеизложенного рекомендуется принять вариант подачи сточных вод через третье или четвертое окна, так как при этих вариантах подачи концентрация загрязнений в рассматриваемом интервале изменений расхода сточных вод, поступающих на очистку, и концентрация загрязнений в них, принимает наименьшие значения, величина дозы ила соответствует рекомендуемой. Эффект очистки составит 88 %. Для базового варианта, которым является постоянно используемый на действующих очистных сооружениях вариант подачи сточных вод через все четыре окна, эффект очистки составляет 66 %. Работа аэротенка по выбранным вариантам позволяет улучшить эффект очистки по органическим загрязнениям в 1,25 раза.

**Вывод.** Таким образом, при помощи предлагаемого метода можно выбрать режим очистки сточных вод, при котором на выходе из сооружений биологической очистки будут получены значе-

ния концентрации загрязнений не выше предельно допустимых значений, доза ила соответствует нормативной. Окончательное решение по выбору технологического режима работы аэротенка остается за технологом предприятия или проектировщиком. При этом он будет обладать исчерпывающей информацией о характере протекания процесса в аэротенке на разных этапах очистки в разных коридорах, о времени нахождения смеси активного ила и сточных вод в аэротенке, а также о процессе биологической очистки в целом, при различных вариантах его протекания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Святенко А.І Важливість урахування особливостей біологічного очищення в аэротенках для поліпшення показників їх роботи / А.І. Святенко, Л.М. Корнійко // Журнал «Екологічна безпека» - 2009. — №4 (8). — Кременчуг: КДПУ. — С. 93—96.
2. Олійник О.Я. Моделювання і розрахунок регенератора в системі очищення стічних вод / О.Я. Олійник, О.М. Ягодовська, С.В. Величко // Зб.наук.пр. “Проблеми водопостач., водовідведення та гідраліки”. — 2010. — Вип. 14, — С. 65-75.
3. Горносталь С.А. Моделирование процессов биологической очистки в идеальных и реальных аэротенках. / С.А. Горносталь, Е.А. Петухова, А.П. Созник // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. праць УЦЗ України. — 2009. — № 10. — С. 67-77.

Горносталь С.А., Уваров Ю.В., Назаров О.О.

### **Підвищення ефективності процесу біологічного очищення стічних вод**

Наведено результати розрахунків по визначенню оптимального режиму очистки стічних вод з використанням запропонованого методу вибору технологічного режиму роботи аэротенків

**Ключові слова:** біологічне очищення, аэротенк, стічні води

Gornostal S.A., Uvarov Y.V., Nazarov O.A.

### **Increased efficiency of biological wastewater treatment**

The results of calculations to determine the optimal wastewater treatment using the proposed method of choosing the technological regime of the airtank

**Key words:** biological cleaning, airtank, wastewater



*Альбощій О.В., канд. військ. наук, заст. нач. каф., НУЦЗУ,  
Болотських М.В., канд. істор. наук*

## **ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КЕРІВНИКІВ ОРГАНІВ УПРАВЛІННЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ПРИ ВИКОНАННІ ЗАВДАНЬ ОПЕРАТИВНОГО ХАРАКТЕРУ**

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

Стаття присвячена питанням пошуку шляхів підвищення ефективності дій підрозділів цивільного захисту за рахунок застосування методів оцінювання витрат на планові заходи на етапі розробки управлінських рішень та їх врахуванні при прийнятті рішень керівниками в умовах оперативної роботи

**Ключові слова:** ефективність, витрати, об'єкт оцінювання, рішення керівника

**Постановка проблеми.** В основі оперативних дій підрозділів цивільного захисту лежать рішення керівника. Такі рішення прийнято називати управлінськими. До них висувається ряд загальних вимог, зокрема обґрунтованість, своєчасність та ефективність [4]. Дані вимоги є досить суперечливими. Так обґрунтування рішень потребує часу, якого в складних умовах надзвичайної ситуації, як правило обмаль. Необґрунтовані рішення, хоча і своєчасні, скоріш за все будуть малоефективними.

На якість рішень впливають:

складність проблеми, ступінь її новизни;

опрацьованість проблеми (наявності методик, розрахункових програм та навичок);

характеристики інформації (обсяг, доступність, достовірність тощо);

врахування доступних ресурсів.

Ефективність є основним економічним критерієм якості рішень і в загальному вигляді представляється формулою

$$E_r = \frac{W_r}{C_r},$$

де  $W_r$  - результат (плановий чи фактичний) реалізації рішення;  
 $C_r$  - витрати на реалізацію рішення.

Звичайно, головна увага при розробці рішення керівником, приділяється змістовній стороні дій. Витратна сторона сприймається як вторинна, пов'язана лише з організацією ресурсного забезпечення. Але, якщо прийняти до уваги суттєві обмеження у ресурсному забезпеченні, характерні для сучасного економічного стану держави, то стає очевидним, що наявні ресурси при обґрунтуванні рішень виступають одним з головних факторів. Змістова та витратна сторони заходів (дій) є взаємопов'язаними та взаємозалежними. Тому, важливо мати можливість оперативно оцінювати розмір витрат на реалізацію рішення. Наявність таких оцінок дозволяє відшукувати ефективні варіанти дій з числа можливих, аналізувати планову ефективність рішень, ставити питання про оптимізацію управлінських рішень.

Оцінювання необхідних витрат на планові заходи є важливим завданням і з точки зору реалізації логістичного підходу до матеріально-технічного забезпечення дій оперативно-рятувальної служби [4], тобто з точки зору оптимізації сумарних витрат на ліквідацію надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та їх наслідків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літератури показує, що питанням дослідження ефективності дій організацій непідприємницького характеру, в тому числі і підрозділів цивільного захисту, приділяється значна увага. Так в роботі [1] розглядаються питання, пов'язані з оцінюванням економічної ефективності діяльності органів управління та підрозділів служби цивільного захисту як бюджетних установ. У статті [2] розглянута задача розподілу ресурсів між структурними підрозділами на основі матричної моделі розподілу фінансово-економічних витрат на проведення сукупності планових заходів. Питанням забезпечення економічної ефективності діяльності шляхом оптимізації витрат на матеріально-технічне забезпечення присвячені дослідження у сфері логістики [4]. Однак, всі дані дослідження стосуються режиму повсякденного функціонування і не враховують специфіку діяльності в умовах надзвичайної ситуації. Недостатньо вивченими залишаються питання забезпечення ефективності роботи керівників органів управління цивільного захисту на етапі прийняття ними управлінських рішень при виконанні завдань оперативного характеру.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для підвищення ефективності роботи керівників органів управління цивільного захисту при прийнятті рішень щодо виконання завдань оперативного характеру (ліквідації надзвичайних ситуацій) необхідно мати можливість оперативного оцінювання витрат (вартісного еквіваленту ресурсів), як параметра, що визначає ефективність дій. Враховуючи відсутність відповідних методик, проаналізуємо можливість використання існуючих методів оцінювання витрат для використання їх у практиці діяльності керівників органів управління цивільного захисту та розробки відповідної методики.

В загальному випадку для оцінювання витрат використовуються калькуляційні, параметричні та комбіновані методи [5].

Калькуляційні методи є методами прямого розрахунку. Калькулювання (розрахунок) витрат ведеться за окремими складовими (статтями калькулювання). В загальному вигляді

$$C_r = \sum_i C_i,$$

де  $C_i$  - витрати за  $i$ -ою статтею калькулювання.

Якщо в якості об'єкту калькулювання витрат розглядати рішення керівника, то необхідно зробити детальний розпис витрат і розробити відповідний перелік статей калькулювання. Калькуляційні методи є найбільш точними. Але в оперативних умовах їх застосування по відношенню до рішень керівників є проблематичним, головним чином із-за невизначеності ситуації та значних обмежень у часі.

Параметричні методи засновані на існуванні функціональної залежності між параметрами об'єкту оцінювання та витратами. Функціональна залежність може бути визначена за статистичними даними, накопиченим по аналогічним об'єктам. В якості параметрів для рішень керівника в оперативних умовах надзвичайної ситуації можуть виступати розміри зон ураження, об'єми небезпечних речовин, кількість об'єктів в зоні надзвичайної ситуації тощо.

Серед параметричних методів, які знаходять застосування на практиці [5], відомі:

- лінійний однофакторний метод малих відхилень;
- метод перекладних коефіцієнтів (лінійний та нелінійний);
- регресійний метод.

В основі лінійного однофакторного методу малих відхилень лежить припущення про лінійну залежність між витратами та основним параметром об'єкту оцінювання. Малими відхиленнями від лінійності нехтують. При даному методі середній розмір витрат на об'єкт оцінювання з основним параметром  $x$ , визначається за формулою

$$C_{cp} = x \cdot C_n^o,$$

де  $x$  – значення основного параметра об'єкту оцінювання витрат;  $C_n^o$  – витрати на одиницю основного параметра.

Величина  $C_n^o$  має бути пропорційною витратам на одиницю основного параметра об'єкта-аналога

$$C_n^o = k \cdot C_n,$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності;  $C_n$  – витрати на одиницю основного параметра об'єкта-аналога.

Оцінки витрат, які отримують при застосуванні даного методу, є приблизними. Але метод не потребує детального розпису витрат, повної інформації про надзвичайну ситуацію і може бути застосований в умовах вкрай обмеженого часу.

Метод перекладних коефіцієнтів забезпечує можливість оцінювання рівня витрат на об'єкт оцінювання шляхом співставлення його основних параметрів з відомими параметрами аналогічних об'єктів. На відміну від лінійного однофакторного методу малих відхилень даний метод враховує не один параметр, визначений як основний, а цілий ряд параметрів, що підвищує точність оцінки. Якщо між параметрами та витратами на їх забезпечення просліджується лінійна залежність, то можна користуватися лінійним методом перекладних коефіцієнтів. Тоді, витрати можна визначити за формулою

$$C_r = C_a \cdot k_p,$$

де  $C_a$  - відомі витрати по об'єкту-аналогу;  $k_p$  - коефіцієнт рівня параметрів нового об'єкта оцінювання.

Даний коефіцієнт розраховується за формулою

$$\kappa_p = \sum_{i=1}^n \kappa_{pi} \cdot \beta_i,$$

де  $\kappa_{pi}$  - перекладний коефіцієнт по параметру  $x_i$ ;  $\beta_i$  - ваговий коефіцієнт параметру  $x_i$ .

Перекладні коефіцієнти визначаються за формулою

$$\kappa_{pi} = \left( \frac{x_i}{x_i^a} \right)^{\pm 1}.$$

Знак «+» обирається, якщо покращення ситуації пов'язується із збільшенням параметру, знак «-» – якщо покращення ситуації пов'язується із зменшенням параметру.

Очевидно, для вагових коефіцієнтів має виконуватися умова нормування, тобто

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = 1.$$

Даний метод можливо застосовувати у випадках, коли має-ся інформація про параметри лише одного об'єкта-аналогу.

Для одержання більш точних оцінок планових витрат необхідно знаходити регресійну залежність між параметрами та витратами. Для цього необхідно мати достатньо велику статистичну вибірку про об'єкти-аналоги.

Комбіновані методи засновані на поєднанні параметричних та калькуляційних методів. Як правило, витрати за окремими статтями визначаються параметричними методами, а сумарні витрати по об'єкту оцінювання – калькуляційним методом. Використання даних методів в нашому випадку є проблематичним, оскільки вони потребують значної інформації і, відповідно, часу на її обробку ніж параметричні методи. Точність же при цьому не зростає суттєво.

В тих випадках, коли є дані про параметри об'єктів-аналогів та відома структура витрат на них, можна також застосувати метод структурної аналогії. При даному методі потрібно підготувати інформацію про рівень витрат за базовою (однією чи декількома) статтею калькулювання об'єкту оцінювання та об'єкту-аналога.

Шляхи підвищення ефективності роботи керівників органів управління цивільного захисту при виконанні завдань оперативного характеру

Для забезпечення прийнятної точності оцінок, в якості базовою статті калькулювання витрат, необхідно розглядати ту статтю, що має найбільшу питому вагу у сумарних витратах. Витрати розраховуються за формулою

$$C_r = \frac{C_b}{\eta_b},$$

де  $C_b$  - витрати за базовою статтею об'єкту оцінювання;  $\eta_b$  - коефіцієнт, який враховує долю витрат за базовою статтею калькулювання у витратах по об'єкту-аналогу.

$$\eta_b = \frac{C_b^a}{C_a},$$

де  $C_b^a$  - витрати за базовою статтею калькулювання об'єкта-аналога;  $C_a$  - сумарні витрати на об'єкт-аналог.

Даний метод можна вважати найбільш оперативним. Хоча він дає велику похибку в оцінці.

**Висновки.** Ефективність роботи підрозділів цивільного захисту при виконанні завдань оперативного характеру значною мірою залежить від рішень, що приймаються керівниками. В свою чергу, ефективність рішень визначається співвідношенням планового результату та витрат на реалізацію рішення. Тоді, в умовах оперативної обстановки при прийнятті рішень необхідно оцінювати не лише змістовну сторону дій, а й потрібні витрати для їх реалізації. Як показав аналіз, в основу методик обґрунтування рішень для умов оперативної роботи, можуть бути покладені відомі методи укрупненого оцінювання витрат, які дають хоча і приблизні оцінки, але достатні для прийняття ефективних варіантів дій.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Альбоцій О.В., Оцінювання ефективності роботи органів управління та підрозділів цивільного захисту / О.В. Альбоцій, А.А. Федцов / Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб.наук. праць НУЦЗ України – Харків: НУЦЗУ, 2010. Вип.12. – С.3-8.
2. Альбоцій О.В. Основи методики розподілу ресурсів як механізму управління ресурсами при забезпеченні діяльності під-

- розділів цивільного захисту / О.В. Альбоцій, О.М. Семків / Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб.наук. праць НУЦЗ України – Харків: НУЦЗУ, 2011. Вип.13. – С.14-119.
3. Баранин В.Н. Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. Учебное пособие. / В.Н. Баранин – М.: ООО Пожнаука, 2004, - 327 с.
  4. Сумець О.М. Логістична кластиризація регіонів України як засіб підвищення безпеки у сфері цивільного захисту / О.М. Сумець // Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції Актуальні проблеми куправління у сфері цивільного захисту. – Харків: НУЦЗУ, 2012. – С.240-242.
  5. Основи воєнної економіки: навч.посіб. / В.І.Третьяков, С.М. Осипенко, А.А.Лазарев, В.В. Сисоев та ін. – Х.: Акад ВВ МВС України, 2010. – 97 с.
  6. Смирнов Э.А. Разработка управленческих решений. / Э.А.Смирнов – М.: ЮНИТИ, 2000. – 271 с.

Альбоцій А.В., Болотских М.В.

**Пути повышения эффективности работы руководителей органов управления гражданской защиты при выполнении задач оперативного характера**

Статья посвящена вопросам поиска путей повышения эффективности действий подразделений гражданской защиты за счет применения методов оценивания затрат на плановые мероприятия на этапе разработки управленческих решений и их учете при принятии решений руководителем в условиях оперативной обстановки

**Ключевые слова:** эффективность, затраты, объект оценивания, решение руководителя

Al'boschiiy A.V., Bolotskih M.V.

**Ways of increase of efficiency of work of leaders of organs of management of civil defence at implementation of tasks of operative character**

The article is devoted the questions of search of ways of increase of efficiency of actions of subdivisions of civil defence for the set of application of methods of evaluation of expenses on the planned measures on the stage of development of administrative decisions and their account at making a decision a leader in the conditions of operative situation

**Key words:** efficiency, expenses, evaluation object, decision of leader

УДК 614.841.332

*Грінченко Є.М., канд. техн. наук, заст. нач. каф., НУЦЗУ,  
Соколов Д.Л., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,  
Федоренко Р.М., заст. нач. НПРЧ, НУЦЗУ*

## **ОЦІНКА АВАРІЙНОГО РИЗИКУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НАФТОПРОДУКТІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ**

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

В роботі визначені групи подій соціо-технічної системи залізничного транспорту, що призводять до сходу і зіткнень вантажних поїздів з нафтою і нафтопродуктами і мають наслідки аварії або браку в роботі. На основі теорії Байеса запропоновано проведення визначення ймовірності виникнення цих аварійних ситуацій та оцінки аварійного ризику при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, аварія, нафтопродукти

**Постановка проблеми.** Аналіз ризику аварій на небезпечних виробничих об'єктах є складовою частиною управління промисловою безпекою. Аналіз ризику полягає в систематичному використанні всієї доступної інформації для ідентифікації небезпек і оцінки ризику можливих небажаних подій [1].

Аварії на залізничному транспорті являють собою небезпечні події техногенного характеру, що призводять до загибелі людей, або створюють на об'єкті чи окремій території загрозу життю та здоров'ю людей, призводять до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу, або завдають шкоду довкіллю.

Надзвичайні ситуації, які спричиняються аваріями, являють собою порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території та можуть призвести до загибелі людей, тварин і рослин, значних матеріальних збитків [2,3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аварійний ризик є кількісною мірою безпеки в надзвичайних ситуаціях. Аналіз ризику - це дослідження, направлені на виявлення і кількісне визначення різних видів ризику при здійсненні визначених видів діяльності і господарських проектів. Оцінці ризику, яка полягає в його кількісному вимірюванні, тобто визначенні можливих наслідків реалізації визначених небезпек для навколишнього середо-

Грінченко Є.М., Соколов Д.Л., Федоренко Р.М.



вища присвячені роботи [4-6]. Питанням аналізу ризиків при аваріях вантажних потягів з нафтопродуктами з використанням апостеріорного статистичного аналізу для кількісної оцінки вірогідності їх виникнення присвячено роботу [7]. Небезпечні стани соціотехнічної системи залізничного транспорту за декілька років роботи, які приводять до сходу і зіткнень вантажних поїздів з нафтою і нафтопродуктами з іншими вантажними або пасажирськими поїздами і мають наслідки аварії або браку в роботі розглянуті в [8].

Проте оцінці аварійного ризику при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом приділена недостатня увага.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для вирішення цього питання необхідно провести визначення ймовірності виникнення аварійних ситуацій на основі теорії Байеса та оцінити аварійний ризик при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом.

Розглянемо випадки виникнення аварійних подій при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом. Під аварійними подіями розуміються випадки аварій, а також зіткнень і сходу рухомого складу, в якому перевозилися нафта і нафтопродукти.

На підставі статистичних даних було виділено чотири основні типи інцидентів при перевезенні нафтопродуктів на залізничному транспорті [2]. Результати представлені в таблиці 1.

**Таблиця 1 - Інциденти з цистернами, що перевозять нафтопродукти**

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2000-2010
Теча з-за дефекту котла	124	133	297	236	313	314	258	261	280	292	236	2744
Теча зливного приладу	413	302	254	221	204	224	221	245	266	182	197	2729
Теча скрізь арматуру котла	36	41	52	45	32	33	36	41	31	32	35	414
Теча скрізь нещільно зачинений люк	104	42	30	40	29	30	45	39	65	47	52	523

Всі випадки течі цистерн з нафтою або нафтопродуктами відбулися в поїздах, а так само при маневрових операціях і в своїй більшості із-за несправностей рухомого складу.

При оцінці ризику для вантажних поїздів, що перевозять нафту або нафтопродукти, приймемо наступні положення [9]:

1. Аварійні події виявляються у вигляді двох груп послідовних подій  $A_j^1$  та  $B_i$ .

2. Група первинних подій  $A_j^1$  являє собою небезпечні відмови  $j$ -го вигляду ( $j = 1, 2, \dots, J$ )  $l$ -го класу ( $l = 1, 2, \dots, L$ ) відмов об'єктів соціо-технічної системи залізничного транспорту, що є причиною сходу (зіткнень) вантажного поїзда при поїздовій роботі. Події  $A_j^1$  являють собою повну групу несумісних подій.

Іншими словами, тільки одна подія  $A^l$ , може служити причиною сходу (зіткнення) поїзда при поїздовій роботі.

$$\sum_{j=1}^J P(A_j^l) = 1. \quad (1)$$

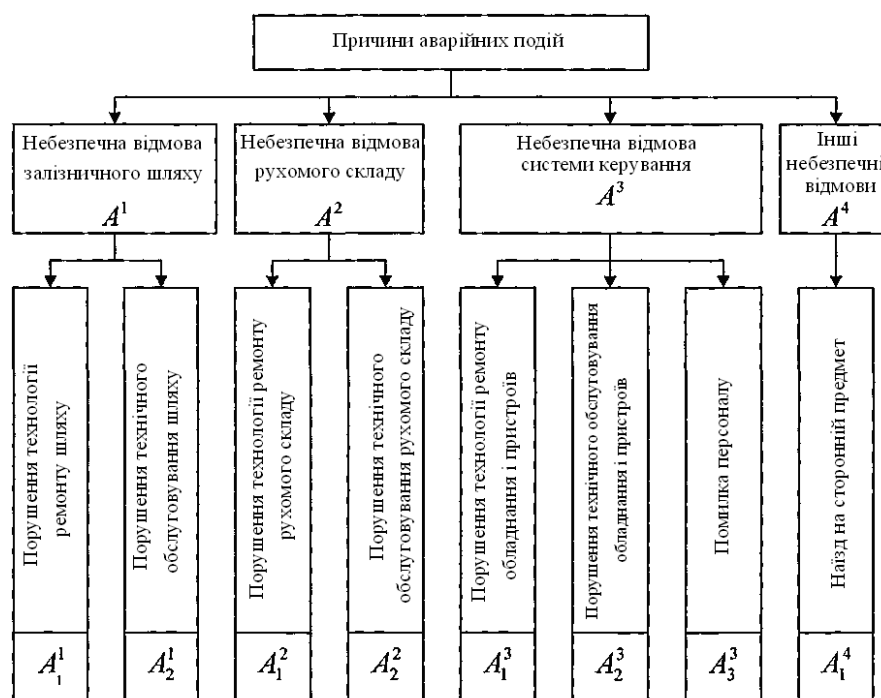


Рис. 1 - Ієрархічна структура відмов соціо-технічної системи залізничного транспорту

Причинами аварійних подій при русі вантажного поїзда є небезпечні відмови об'єктів соціо-технічної системи залізничного транспорту (СТСЗТ) (Рис. 1). Ці події породжують схід (зіткнення) поїздів, які у свою чергу класифікуються по наслідках: або аварія, або схід (зіткнення) поїзда, що не мав наслідком аварію (особливий брак в роботі) [2].

3. Друга група подій  $B_j$  є подіями, одна з яких виникає з певною вірогідністю після настання події  $A_j^l$  і виявляється як схід (зіткнення) вантажного поїзда при поїздовій роботі з  $i$ -м видом наслідків

1) катастрофа поїздів (подія -  $B_1$ );

2) аварії (подія -  $B_2$ );

3) особливі випадки браку в роботі - схід (зіткнення) поїзда без наслідків аварії (подія -  $B_3$ ).

Визначимо загально мережеву кількість аварійних подій при поїздовій роботі вантажних поїздів з нафтою і нафтопродуктами з  $i$ -м видом наслідків через  $j$ -й вид небезпечної відмови  $l$ -го класу об'єктів СТСЗТ (кількість випадків  $B_i|A_j^l$ ) за період, що аналізується ( $K$  – кількість років що аналізуються)

$$N_{B_i|A_j^l} = \sum_{k=1}^K N_k^{B_i|A_j^l}, \quad (2)$$

де  $N_{B_i|A_j^l}$  кількість аварійних подій при поїздовій роботі вантажних поїздів з нафтою і нафтопродуктами з  $i$ -м видом наслідків через  $j$ -го вид небезпечної відмови  $l$ -го класу за  $k$ -й рік.

Тоді ймовірність виникнення події  $A_j^l$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ ), ( $l = 1, 2, \dots, L$ ) з повної групи несумісних подій

$$P(A_j^l) = \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l} / \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l}. \quad (3)$$

Визначимо загальномережевий середній час поїздки вантажного поїзда з нафтою і нафтопродуктами за аналізований період

$$\bar{T} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{D_k}{Q_k \times \bar{V}_{\text{дiл.,k}}}, \quad (4)$$

де  $\bar{T}$  – середній час поїздки вантажного поїзда, годин,  $D_k$  – потяго-кілометри у вантажному русі за рік, потяго-км/рік,  $Q_k$  - число відправлених вантажних поїздів за рік, одиниці/рік,  $\bar{V}_{\text{дін.,к}}$  - загальномережева середня дільнична швидкість вантажного поїзда за рік.

Число подій  $B_i|A_j^l$  що доводяться на один вантажний потяг визначимо по формулі

$$Z(B_i|A_j^l) = N_{B_i|A_j^l} / \sum_{k=1}^K Q_k. \quad (5)$$

Тоді загальномережева інтенсивність виникнення подій  $B_i|A_j^l$ , що доводяться на одну годину поїздки поїзда, визначається по формулі

$$\lambda_{B_i|A_j^l} = Z(B_i|A_j^l) / \bar{T}. \quad (6)$$

Виходячи з припущення, що вірогідність того, що за час  $t \leq T$  ( $t$  - момент часу при русі за маршрутом,  $T$  - час руху за всім маршрутом) руху поїзда по мережі залізниць не відбудеться подія  $B_i|A_j^l$ , не залежить від передісторії функціонування залізничного транспорту, можна отримати наступні формули для розрахунку загальномережевого аварійного ризику виникнення подій  $B_i|A_j^l$

$$R(B_i|A_j^l) = 1 - \exp(-\lambda_{B_i|A_j^l} T); \quad (7)$$

$$R(B_i) = \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i|A_j^l); \quad (8)$$

$$R(B) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i|A_j^l). \quad (9)$$

Вірогідність  $P(A_j^l)$  є «суб'єктивною», апріорною вірогідністю, оскільки причина сходу (зіткнень) поїздів  $A_j^l$  встановлюється

шляхом експертних оцінок в ході службового розслідування обставин аварійної події з поїздом.

Тому групу подій  $A_j^l$  можна розглядати як групу «гіпотез», які породжують події  $B_i$ . Застосовуючи теорію Байеса, на підставі теореми множення вірогідності можна отримати вірогідність

$$P(A_j^l|B_i) = P(A_j^l) \cdot P(B_i|A_j^l) / \sum_{i=1}^3 P(A_j^l) \cdot P(B_i|A_j^l). \quad (10)$$

яку можна інтерпретувати як апостеріорну (з урахуванням результатів натурного експерименту) вірогідність того, що події  $A_j^l$  породжують саме події  $B_i$ . Знайшовши максимум вірогідності  $A_j^l|B_i$  тим самим можна встановити, які події  $A_j^l$  з максимальною вірогідністю приводять до подій  $B_i$  (аварій, до сходу (зіткнень), що не мали наслідками аварію), тобто оцінити ризик виникнення аварій.

**Висновки.** Визначені чотири групи первинних подій, які можуть призвести до виникнення аварійних ситуацій при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом і на їх основі побудовано ієрархічну структуру відмов соціо-технічної системи залізничного транспорту. Розроблено математичну модель оцінки ризику відмов соціо-технічної системи залізничного транспорту. На її основі запропоновані вирази для розрахунків загально мережевого ризику виникнення аварійних подій під час руху вантажного потягу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Риск, устойчивое развитие, синергетика. Управление риском. / [Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г. и др.]. – М., 2000. – 431 с.
2. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов: [Учебное пособие для вузов.] / Лисенков В.М. - М.:ВИНИТИ РАНД999. – 332 с.
3. Воробьев Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. / Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. – М.: Ин-октаво, 2005. – 368 с.

4. Хенли Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска. / Хенли Э. Дж., Кумамото Х. – М.: Машиностроение, 1981. – 526 с.
5. Савчук В.П. Байесовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов. / Савчук В.П. – М.: Наука, 1989. – 328 с.
6. Акимов В.А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. / Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
7. Надежность технических систем и техногенный риск. / [Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М и др.]. – М.: ЗАО ФИД "Деловой экспресс", 2002 – 368 с.
8. Владимиров В.А. Оценка и управление техногенной безопасностью. / Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. – М.: 2002. – 184 с.
9. Баранин В.Н. Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. / Баранин В.Н. – М.: ООО «Пожнаука», 2004. – 254 с.

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

**Оценка аварийного риска при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом**

В работе определены группы событий социо-технической системы железнодорожного транспорта, которые приводят к сходу и столкновению грузовых поездов с нефтью и нефтепродуктами и имеют последствия крушения, аварии или брака в работе. На основе теории Байеса предложено проведение определения вероятности возникновения этих аварийных ситуаций и оценки аварийного риска при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, авария, нефтепродукты

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

**Assessment of risk for emergency transportation of petroleum products by rail**

In this paper we define the group's socio-technical system of rail transport, which lead to a descent and collision with a freight train oil and petroleum products, and have an impact on the crash, an accident or a marriage work. Based on the Bayesian theory to propose a definition of the likelihood of accidents and emergency assessment of risk during transportation of petroleum products by rail.

**Key words:** rail transport, accident, petroleum products

*Кулешов М.М., канд. техн. наук, проф., НУЦЗУ*

**ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ  
НАГЛЯДОВО-ПРОФІЛАКТИЧНИХ ОРГАНІВ У СФЕРІ  
ПОЖЕЖНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ  
ЧЕРЕЗ ОПТИМІЗАЦІЮ ЇХ ЧИСЕЛЬНОСТІ**

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

В статті викладені підходи до розробки нормативів чисельності державних інспекторів з нагляду у сфері пожежної і техногенної безпеки з використанням аналітично-дослідного методу

**Ключові слова:** функції, норма обслуговування, об'ємні показники, трудомісткість, нагляд, коефіцієнти

**Постановка проблеми.** Завдання з реалізації державної політики у сферах пожежної і техногенної безпеки, здійснення державного нагляду у цих сферах в Україні покладено на Державну інспекцію техногенної безпеки, яка на даний час сформувала нову організаційно-штатну структуру своїх органів управління та підрозділів. Разом з тим рішення щодо оптимізації структури органів державного нагляду з питань пожежної і техногенної безпеки приймалася без глибокого аналізу та оцінки наявних обсягів робіт і трудомісткості праці інспекторів державного нагляду у вище зазначених сферах. Безумовно, з часом це може негативно відобразитися на ефективності та результативності роботи наглядових органів з попередження пожеж та надзвичайних ситуацій техногенного характеру, тому ця проблема потребує в подальшому свого вирішення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує багато підходів і методів оптимізації організаційно-штатних структур і чисельності робітників організацій [1-5] серед них такі, як нормативний (методи технічного нормування), аналітичний (методи аналітичного дослідження), дослідно-статистичний та інші. Наприклад, нормативний метод передбачає розрахунок загальної чисельності працівників на основі обсягу виробництва, що планується. У нашому випадку можливо було б замість обсягу виробництва, що планується, запровадити такі планові показники діяльності інспекторів, як кількість об'єктів, які підлягають перевірки

Щодо удосконалення організації діяльності наглядово-профілактичних органів у сфері пожежної та техногенної безпеки через оптимізацію їх чисельності

протягом планового періоду. Даний метод передбачає нормування затрат робочого часу працівників, відповідно до структури робіт. Використання його є доцільним для розробки перспективних і довгострокових планів розвитку організації. Але в останні роки практика використання нормативних методів визначення чисельності наглядного персоналу показує, що державні структури не можуть використовувати їх для оптимізації чисельності робітників і обумовлюють це наступними причинами:

- неможливістю вивчити фактичні затрати робочого часу у зв'язку з тим, що діяльність наглядних органів досить складна і неоднорідна;

- відсутністю державного регулювання нормування праці відносно службовців, які здійснюють функції державного нагляду і контролю;

- складністю існуючих математичних моделей по розрахунку норм і нормативів, які потребують наявності спеціальної математичної освіти для спеціалістів кадрових апаратів, що здійснюють розрахунки чисельності персоналу;

- неповною нормативною базою, яка регламентує працю службовців, які здійснюють функцію державного нагляду і контролю;

- наявні подібні матеріали складно уніфікувати з причин специфіки установ, які здійснюють функції нагляду і контролю.

Деякі автори [3, 4] пропонують для розрахунку чисельності державних і інших управлінських службовців використовувати метод, який зводиться до визначення загальної трудомісткості робіт з розрахунком за рік і відношенням її до корисного річного фонду робочого часу на одного робітника з використанням коефіцієнта, який враховує відсутність робітника у зв'язку з відпусткою, хворобою, навчанням та іншими причинами. Ця формула має наступний вигляд

$$C_n = \frac{(T_{p1} + T_{p2} + \dots + T_{pn})}{\Phi_{pc} \cdot K},$$

де  $C_n$  – нормативна чисельність службовців, од;  $T_{pi}$  – трудомісткість робіт в  $i$ -ому році;  $\Phi_{pc}$  – корисний річний фонд робочого часу одного робітника;  $K$  – коефіцієнт, який враховує час на відпустки, хвороби, навчання та інші причини.



Разом з тим такий підхід не завжди підходить до обґрунтованого визначення чисельності наглядово-профілактичного персоналу, яка залежить від рівня навантаження і ефективності праці інспекторів.

**Постановка завдання та його вирішення.** З огляду вище зазначеного більш доцільно використовувати аналітично-дослідний метод, який включає в себе комплекс робіт по вивченню затрат робочого часу і розрахунку нормативної чисельності інспекторів, а саме: метод математично-статистичної обробки вихідних даних; встановлення меж достовірності дослідних значень і виключення дефектних значень; вибір математичного методу для обробки даних; вивід рівнянь залежності від факторів; визначення суттєвих факторів (за ступенем їх впливу для включення в нормативну формулу); перевірку достовірності отриманих результатів.

З урахуванням наведеного, нормативи чисельності державних інспекторів з нагляду у сфері пожежної і техногенної безпеки, відповідно до покладених на них завдань і функцій [7] повинні базуватися на статистичному аналізі фактичної чисельності робітників і їх залежності від факторів, а саме – складності робіт, їх різноманітності, обсягу планових перевірок об'єктів, обсягу робіт пов'язаних з адміністративно-правовою, нормативно-технічною діяльністю, дізнанням у справах про пожежі, агітаційно-масової роботи з населенням та ін., які об'єктивно впливають на трудомісткість виконання робіт і реалізацію функцій інспекторського складу з урахуванням умов, які склалися в територіальних органах Держтехногенбезпеки.

Розробку нормативів чисельності державних інспекторів з нагляду у сфері пожежної і техногенної безпеки пропонується розпочинати з вивчення законодавчої і нормативної бази, яка регламентує наглядову діяльність органів Держтехногенбезпеки та визначає цілі, завдання, функції і повноваження зазначеного центрального органу виконавчої влади та його територіальних структур. Далі готується інструментарій для збору і обробки інформації відносно змісту робіт, які виконуються інспекторами, витрат часу (трудовитрат) на виконання окремих видів робіт по об'ємним показникам, які відображають кількісні показники діяльності інспектора та наглядового органу в цілому. При цьому передбачається диференціація робіт по часовим періодам, виходячи з переліку окремих видів робіт (дій, заходів), які повторюються протягом року. На цьому етапі доцільно використовувати статистичні дані,

---

Щодо удосконалення організації діяльності наглядово-профілактичних органів у сфері пожежної та техногенної безпеки через оптимізацію їх чисельності

збір, яких проводиться по спеціально розробленій формі документів. З метою визначення змістовності праці і уточнення визначених функцій інспектора розробляються спеціальні анкети.

Наступним етапом розробки нормативів є аналіз зібраних матеріалів по чисельності і витратам робочого часу, який групується по однотипним позиціям робіт що виконуються, виділення об'ємних показників, які характеризують результати праці диференційовано по робочим місцям.

Об'ємні показники повинні мати кількісний вимір і виражатися у цифрах, наприклад: кількість перевірених об'єктів (приміщень), запропонованих заходів, складених адміністративних документів, підготовлених актів, приписів, проведених організаційних заходів, тощо.

Після проведення аналізу встановлюються межі достовірності даних, котрі досліджуються і виключаються дефектні значення; обирається математичний метод для обробки даних; робиться вивід рівнянь залежності від різних факторів; перевіряється достовірність отриманих результатів.

Виконані попередні дії надають можливість розробити математичну модель розрахунку нормативної чисельності інспекторів основою побудови якої є те, що чисельність робітників встановлюється у залежності від ступеню завантаження виконанням робіт відповідно до функцій, які найбільш характерні дослідним групам (у нашому випадку інспектори державного нагляду у сфері пожежної і техногенної безпеки).

При такому підході досягається максимальна наскрізна реалізація функцій, забезпечується найбільш повний перелік робіт необхідних для реалізації конкретних функцій, а також з'являється можливість уніфікувати і систематизувати діяльність територіальних органів Держтехногенбезпеки України об'єктивно враховуючи усі об'ємні показники роботи.

Методологічний підхід до визначення нормативної чисельності робітників по навантаженню на одного інспектора (норматив обслуговування) базується на тому, що кожна функція ділиться на підфункції і роботи, які у свою чергу можна розподілити на операції. Наприклад, однією з функцій Держтехногенбезпеки є здійснення державного пожежного нагляду за виконанням встановлених законодавством вимог пожежної безпеки на підконтрольних об'єктах. Ця функція ділиться на декілька підфункцій, а саме: перевірку протипожежного стану об'єктів, нормативно-технічну ро-

боту, дослідження пожеж, масово-роз'яснювальну роботу, адміністративну діяльність. У свою чергу підфункцію з перевірки проти-пожежного стану об'єктів можна розподілити на такі операції, як:

- підготовку до здійснення перевірки ( оповіщення про перевірку керівників об'єкту, вивчення матеріалів наглядової справи і необхідних нормативних документів);
- безпосереднє обстеження територій, будівель, споруд, приміщень об'єкту;
- перевірка діяльності адміністрації об'єкту, пожежно-технічної комісії щодо забезпечення ними належного рівня пожежної безпеки;
- перевірка рівня підготовки і боєздатності об'єктової пожежної охорони або добровільної пожежної дружини;
- оформлення документів за підсумком проведеної перевірки ( акт, припис) а також документів про адміністративні правопорушення та застосування запобіжних заходів;
- обговорення результатів перевірки з адміністрацією об'єкту.

Ступінь диференціації трудових функцій визначається на базі матеріалу, який отриманий з анкет і функціональних обов'язків.

Формула для розрахунку навантажень за підфункціями має наступний вигляд

$$H_{нф} = \frac{N}{H_{рн} \cdot (1 + K_n) \cdot K_{\delta}},$$

де  $H_{нф}$  – норматив за підфункцією, чол.;  $N$  – об'ємний показник за рік, од.;  $H_{рн}$  – середньорічна норма навантаження на одного виконавця;  $K_n$  – поправочний коефіцієнт;  $K_{\delta}$  – додатковий коефіцієнт.

З урахуванням різноманітності робіт, які виконуються інспекторським складом Держтехногенбезпеки і складності використання їх для обліку об'ємних показників передбачені два види коефіцієнтів  $K_n$ ,  $K_{\delta}$ .

$K_{\delta} \geq 1$ , так як використання його пов'язане зі збільшенням часу основних робіт, які виражені об'ємними показниками, на до-

лю ненормованих робіт – часу відпочинку, особисті потреби, разові роботи тощо.  $K_{\partial}$  визначається за формулою

$$K_{\partial} = \frac{1 + V_{nn}}{1 - V_{nn}},$$

де  $V_{nn}$  – питома вага ненормованих робіт в річному фонді робочого часу.

$K_n \leq 0,5$ , так як цей коефіцієнт є понижуючим і використовується тільки відносно допоміжних робіт, які не можуть складати більше 50% від фонду робочого часу і відобразитися об'ємними показниками.  $K_n$  визначається за формулою

$$K_n = \frac{0,5 - V_{дон}}{1 + V_{дон}},$$

де  $V_{дон}$  – питома вага допоміжних робіт.

На заключному етапі проводиться розрахунок інспекторського складу і апробація отриманих результатів.

**Висновки.** Використання запропонованих підходів та методу визначення нормативної чисельності інспекторів наглядово-профілактичних органів сприятиме удосконаленню існуючих організаційно-штатних структур Державної інспекції техногенної безпеки України та інших наглядових структур у сфері цивільного захисту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Основи управління в органах і підрозділах МНС України. Навчальний посібник / О.В. Альбошій, М.В. Болотських, М.М.Кулешов [та ін.]. – Харків.: УЦЗ України, 2009. – 370 с.
2. Брушлинский Н.Н.. Совершенствование организации и управления пожарной охраны / Н.Н. Брушлинский – М.: Стройиздат, 1986. – 152с.
3. Бухало С.М. Организация планирования и управление деятельностью пром. предприятий / С.М. Бухало – Киев: Выща школа, 2004. – 305с.
4. Герчикова И.Н. Менеджмент: Учебник / И.Н. Герчикова. – М: Банки и биржи, ЮНИТИ, 2000 – 498с.

5. Одегов Ю.Г. Управление персоналом: Учебник / Ю.Г. Одегов, П.В. Журавлёв. – М: Финстатинформ, 2001 – 407с.
6. Щекин Г.В. Основы кадрового менеджмента: Учебник - 3-е изд. / Г.В. Щекин. – К.: МАУП, 1998 – 288с.
7. Положення про Державну інспекцію техногенної безпеки України. Указ Президента України від 6 квітня 2011 року – 392/2011.

Кулешов Н.Н.

**К усовершенствованию организации деятельности надзорно-профилактических органов в сфере пожарной та техногенной безопасности через оптимизацию их численности**

В статье изложены подходы к разработке нормативов численности государственных инспекторов по надзору в сфере пожарной и техногенной безопасности с применением аналитическо-исследовательского метода

**Ключевые слова:** функции, норма обслуживания, объёмные показатели, трудоемкость, надзор, коэффициент

Kuleshov N.N.

**To improve the organization of supervision and prevention agencies in the field of fire and technological safety through the optimization of their numbers**

The paper presents approaches to state population ratios design inspectors supervision fire and technological security using analytical and research methods

**Key words:** function, service standards, volume indicators, labour intensiveness, supervision, coefficient

УДК 614.841; 551.515

*Кустов М.В., канд. техн. наук, ст. преп., НУГЗУ,  
Калугин В.Д., д-р хим. наук, проф., НУГЗУ*

## **УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОНДЕНСАЦИИ В АТМОСФЕРНЫХ АКВААЭРОЗОЛЯХ**

Представлена экспериментальная установка, позволяющая моделировать и исследовать физико-химические процессы в атмосферных аквааэрозолях при химическом и (или) физическом воздействии на них

**Ключевые слова:** экспериментальная установка, аквааэрозоль, параметры атмосферы, искусственное воздействие, электромагнитное излучение

**Постановка проблемы.** По своему определению чрезвычайная ситуация (ЧС) характеризуется большой площадью развития. Следовательно, на процессы развития и ликвидации таких ЧС, как ландшафтные пожары, выбросы химически опасных, радиоактивных и биологических веществ, оползни, сели, массовая гибель сельскохозяйственных культур, изменение состояния биосферы и др., существенную роль играют атмосферные процессы в зоне ЧС. В этой связи, одной из проблем, подлежащих разрешению, является исследование процессов при искусственном воздействии на атмосферные воздушно-капельные аэрозоли.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Неотъемлемой частью любых физико-химических исследований является эксперимент. Однако в вопросах исследования атмосферных процессов постановка натуральных экспериментов является сложной и энергоемкой задачей. В связи с этим, разработка лабораторных методов моделирования и экспериментального исследования физико-химических процессов в атмосферных аквааэрозолях при искусственном воздействии на них - является актуальной задачей. В НПО «Тайфун» [1] разработана аэрозольная камера объемом 3200 м<sup>3</sup>, предназначенная для исследования процессов рассеивания тумана методом коронного разряда. Большие объемы камеры позволяют реализовывать квазистационарные условия существования приземного тумана, однако такие объемы камеры значительно повышают затратность при постановке большой серии экс-

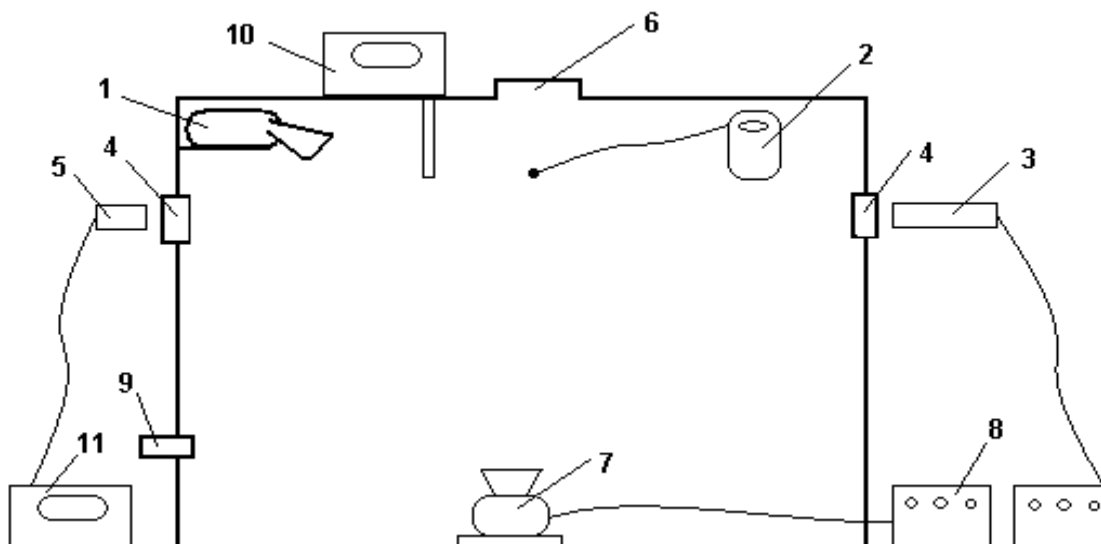
периментов и затрудняет моделирование параметров в верхних слоях атмосферы (пониженные давления и температура). В работе [2] предложена лабораторная установка с объемом камеры 0,08 м<sup>3</sup>. Аэрозоль в камеру подавали с помощью компрессора, что не позволяет создать стационарные условия воздушной среды. Исполнение камеры из оргстекла затрудняет регулировку давления и температуры в рабочем объеме. В работе [3] достаточно хорошо решён вопрос создания квазистационарного состояния атмосферного аэрозоля и проведения оптического контроля процесса каплеобразования. Вопросы моделирования параметров среды верхней атмосферы решён в работе [4]. Установка, работающая по принципу камеры Вильсона, дает возможность моделировать условия существования аквааэрозолей при пониженных давлениях и температуре, однако сложность исполнения и большие габариты позволяют исследовать только очень узкий спектр методов искусственного воздействия на воздушно-капельные аэрозоли.

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является разработка и создание лабораторной экспериментальной установки позволяющей исследовать и моделировать различные методы искусственного воздействия на атмосферные аэрозоли.

Необходимость создания в установке условий пониженного давления ( $P=54$  кПа) определяет жёсткокаркасную герметизированную компоновку камеры. Для обеспечения возможности исследования электромагнитного излучения на атмосферные аэрозоли стенки камеры выполнены в металлическом исполнении. Объем камеры составляет 0,5 м<sup>3</sup>. Небольшой объём рабочей камеры позволяет размещать её в технических холодильных камерах для создания и поддержания в камере низких температур (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ) на протяжении длительного времени проведения серии экспериментов.

Размещение элементов установки представлено на схеме рис. 1. В качестве генератора аэрозоля используется ультразвуковой диспергатор жидкости 1, обеспечивающий дисперсность  $\sim 10$  мкм. Контроль давления, температуры и влажности осуществляется с помощью лабораторной метеостанции 2. Процесс каплеобразования и роста капель регистрируется гелий-неоновым лазером 3 типа ЛГН-2076, излучение которого вводится в камеру через окно 4 и направляется через зону активного воздействия на фотокатод контрольного фотоприёмника 5, в качестве которого выступает фотометрический фотоэлектронный умножитель типа ФЭУ-

79. В верхней части предусмотрено закрывающееся отверстие 6 для ввода диспергированных химических реактивов для реализации процесса искусственного осадкообразования методом химического воздействия. При исследовании электромагнитного метода осаждения атмосферных аквааэрозолей на дне камеры установлен генератор излучения СВЧ диапазона 7 в виде импульсного магнетрона с возможностью изменения длительности импульса от 0,05 мкс до 1 мкс. Рабочая частота СВЧ генератора составляет 10 ГГц, что позволяет создать необходимую напряженность электромагнитного поля в зоне непосредственного воздействия СВЧ-излучения для ионизации воздушной среды с последующим протеканием процессов каплеобразования. Регулировка длительности импульса и выходной мощности излучателя осуществляется контроллером 8.



**Рис. 1 – Схема лабораторной установки для моделирования процессов в атмосферных аквааэрозолях: 1 - ультразвуковой диспергатор жидкости; 2 - лабораторная метеостанция; 3 - лазер; 4 - окно; 5 - фотоприёмник; 6 - отверстие для ввода химических реактивов; 7 - генератор излучения СВЧ диапазона; 8 - контроллер; 9 - разъем для откачки воздуха; 10 - счетчик аэроионов; 11 - блок управления фотоэлектронного умножителя**

Основываясь на том, что основным механизмом интенсификации осадкообразования электромагнитным излучением является конденсация пара и коагуляция капель на ионах, установка оборудована счётчиком аэроионов Сапфир–ЗК 10, который обла-



дает чувствительностью до 200 ед·м<sup>-3</sup>. Для определения напряжённости электромагнитного поля в зоне воздействия СВЧ-излучения генератор заранее откалиброван по длительности импульса и выходной мощности с помощью измерителя напряжённости электромагнитного поля TES-593.

Представленная на рис. 1 установка позволяет в широком диапазоне изменять физические параметры воздушной среды в зависимости от высоты моделируемого слоя атмосферы. Предложенные методы контроля дают возможность эффективно исследовать размер капель и динамику их роста. С помощью данной установки возможно исследовать процессы влияния на атмосферные аэрозоли засева зоны осаднения химически активными солями, влияния распыления хладоагентами, электромагнитного и ультразвукового излучения, коронного разряда и др.

Методика проведения экспериментальных исследований по искусственному инициированию осадков при использовании электромагнитного излучения (с помощью предложенной в работе установки) реализуется в следующей последовательности: Установка помещается в промышленную холодильную камеру с определённой для данной серии экспериментов температурой. Для удобства работы все контрольно-измерительные блоки можно вывести за пределы холодильной камеры. Через разъём 9 в лабораторной установке откачивается воздух до необходимого уровня разряжения. Температура и давление в камере контролируются лабораторной метеостанцией 2. Далее, с помощью диспергатора 1 в камере создается необходимая воздушно-капельная дисперсия. Плотность дисперсии контролируется либо оптическим методом лазером 3 и фотоприёмником 5, либо гигрометром 2. После установления квазистационарных условий, которые моделируют состояние аэрозолей в атмосфере, запускается СВЧ генератор 7 в режиме необходимых характеристик работы. Процесс ионизации (увеличение концентрации ионов) регистрируется с помощью счётчика аэроионов 10. Динамика процесса каплеобразования отслеживается на регистраторе блока управления фотоэлектронного умножителя 11.

**Выводы.** Разработана установка, позволяющая: моделировать условия образования и конденсации воздушно-капельных аэрозолей в атмосфере; исследовать динамику процессов в них при внешнем химическом и физическом воздействии; сформулировать представления о физико-химических механизмах процессов кон-

денсации (осадкообразования). Изложена методика проведения экспериментов по искусственному инициированию осадков при использовании электромагнитного излучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшин В.Б. Результаты испытаний электрофизического метода рассеивания тумана в большой аэрозольной камере НПО «Тайфун» / В.Б. Лапшин, М.А. Васильева, Н.В. Жохова и др. // Электронный научный журнал «Исследовано в России». - 2009. – № 719. - Режим доступа - <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/060.pdf>.
2. Лапшин В.Б. Экспериментальные исследования в лабораторных и натуральных условиях влияния коронного разряда на эволюцию дисперсности аэрозолей и плотность тумана / В.Б. Лапшин, А.А. Палей, М.Ю. Яблоков // Электронный научный журнал «Исследовано в России». - 2004. – Режим доступа - <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/200.pdf>.
3. Хмелёв В.Н. Экспериментальное исследование эффективности воздействия акустическими колебаниями ультразвуковой частоты на воздушно-капельные дисперсии / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, С.Н. Цыганок и др. // Вестник ТГТУ. - 2010. - Том 16. №3. – С. 632 – 642.
4. Крымский Г.Ф. Установка для исследования нуклеации водяных паров в искусственной атмосфере / Г.Ф. Крымский, В.В. Колосов, А.П. Ростов и др. // Оптика атмосферы и океана. - 2010.- № 9. – С. 820-825.

Кустов М.В., Калугін В.Д.

### **Установка для моделювання процесів в атмосферних аквааерозолях**

Представлено експериментальну установку, що дозволяє моделювати та досліджувати фізико-хімічні процеси в атмосферних аквааерозолях при штучному хімічному та фізичному впливі на них

**Ключові слова:** лабораторна експериментальна установка, аквааерозоль, параметри атмосфери, штучний вплив, електромагнітний випромінювач

Kustov M.V., Kalugin V.D.

### **Installation for modelling of processes in atmospheric aqua aerosols**

The experimental installation is presented, allowing to model and investigate physical and chemical processes in atmospheric aqua aerosols at artificial chemical and physical influence on them

**Key words:** laboratory experimental installation, aqua aerosol, atmosphere parameters, artificial influence, an electromagnetic radiator

**УДК 004.942:519.876**

*Лыфарь В.А., канд. техн. наук, доц., СТИ ВУНУ,  
Вамболь С.А., канд. техн. наук, зав. каф., НУГЗУ,  
Угрюмов М.Л., д-р техн. наук, проф., НУГЗУ*

## **МЕТОД И МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОСКОЛКОВ ПРИ ВЗРЫВАХ**

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

Представлен метод определения негативного влияния осколков при взрывах и расчетная модель, позволяющая вычислить вероятность возникновения эффекта «домино» для объектов повышенной опасности

**Ключевые слова:** модель, взрыв, осколки вероятность пробития

**Постановка проблемы.** При авариях на объектах повышенной опасности одно из самых опасных явлений - взрыв. Причем катастрофические последствия для крупных химических объектов могут наступать со сценарием по эффекту «домино». В этом случае относительно небольшой по масштабам взрыв или осколок, возникающий при механических поломках, могут быть причиной разлета осколков и пробития ими оборудования, в котором содержатся опасные вещества под давлением и в большом количестве. Дальнейшая разгерметизация может приводить к дальнейшим, значительно более опасным последствиям.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Описание осколочного воздействия наиболее хорошо представлено в работах [1-2]. «Первичные осколки», образующиеся при разрывах оболочек сосудов высокого давления или внутренних взрывах в оборудовании, чаще всего имеют относительно большой размер и массу, но небольшую скорость (порядка нескольких сотен метров в секунду). Чаще всего они имеют плохо обтекаемую форму и в

большинстве случаев быстро возвращаются вокруг своей оси. Траектория полета в этом случае существенно изменяется под воздействием лобового сопротивления, имеющего различные показатели в зависимости от формы осколка. Чаще всего это куски труб, плоские фрагменты оболочек оборудования, крышки люков и т. д. Первичную скорость таких осколков можно ограничить звуковой. «Вторичные осколки» образуются, как правило, в результате воздействия ударной волны на элементы оборудования и конструкций. Обычно такие осколки имеют меньший размер, чем первичные, но, тем не менее, представляют опасность как для людей, так и для целостности оборудования. Следует отметить, что на сегодняшний день не существует методик учета таких эффектов, доведенных до практического использования.

Поэтому, актуальными с точки зрения практики являются постановка задачи и метод определения вероятности пробития стенок оборудования и возможности эффекта «домино» в результате воздействия образовавшихся при взрыве осколков с учетом вышеизложенных допущений.

**Постановка задачи и ее решение.** Рассматривается задача определения параметров воздействия осколков, образующихся при взрывах, на оборудование. Алгоритм решения этой задачи состоит в следующем.

1. Определяется возможный вид и характеристики осколка (на основании анализа типовой аварии для объекта исследования).

2. Выбираются конкретные единицы оборудования, для которых необходимо определить вероятность пробития металлических стенок. Для этих объектов должны быть известны место расположения и прочностные характеристики оболочек.

3. Для выбранного сценария осколка рассчитывается траектория, угол полета и скорость в месте соприкосновения осколка и объекта пробития.

4. Вычисляется вероятность попадания осколка в объект и вероятность пробития стенки объекта при полученных характеристиках.

Для оценки степени потенциальной опасности необходимо получить следующие параметры осколков: массу  $m$ , кг, траекторию полета  $f(x, y)$ , абсолютную скорость  $v$ , м/с в каждой точке полета. В качестве входных параметров выступают: начальная скорость осколка массой  $m$  –  $W_0$ , м/с, начальный угол вылета по от-

ношению к горизонту  $\alpha_0$ , град, высота точки выброса над уровнем земли  $h$ , м, площадь сопротивления  $A_D$ , типовую форму осколка и его ориентацию по отношению к оси движения,

Определим силу лобового сопротивления

$$F_D = \frac{C_D \cdot \rho \cdot v^2 A_D}{2},$$

где  $\rho$  - плотность воздуха (1,2928 кг/м<sup>3</sup>);  $C_D$  - коэффициент сопротивления. Коэффициенты лобового сопротивления для различных тел представлены в [1].

Представим силы, действующие на тело в течение полета в проекциях на вертикальную и горизонтальную оси

$$ma_{xi} = -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D \cdot v_i^2 \cdot \cos(\alpha_i)}{2}, \quad (1)$$

$$ma_{yi} = -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D \cdot v_i^2 \cdot \sin(\alpha_i)}{2} - mg, \quad (2)$$

где  $v_i$  и  $\alpha_i$  - мгновенные значения скорости и угла направления движения по отношению к горизонту соответственно.

Изменение координат во времени можно получить, решая систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\ddot{x} = -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D}{2 \cdot m} \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) \cdot \cos(\alpha_i); \quad (3)$$

$$\ddot{y} = -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D}{2 \cdot m} \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) \cdot \sin(\alpha_i) - g. \quad (4)$$

Решение системы уравнений позволяет вычислить траекторию полета осколка, скорость и угол полета к горизонту в каждой точке пространства.

Осколок способен попасть в объект, если его траектория пересекается с геометрическим контуром объекта. Для упрощения системы пользования, объект представляется как параллелограмм, расположенный перпендикулярно у плоскости траектории.

Расстояние до места вылета осколка, ширина, высота и глубина объекта задаются в метрах.

Расстояние от точки вылета до объекта равно  $x_1$ , глубина объекта равна  $x_2 - x_1$ , высота объекта –  $y_1$ , угол сектора попадания по горизонтали –  $\gamma = 2 \cdot \arctg\left(\frac{a}{2 \cdot x_1}\right)$ , где  $a$  – ширина объекта; диапазон граничных углов вылета, при которых возможно попадание в объект, равен  $\alpha_{\max}^d - \alpha_{\min}^d$ .

Вероятность попадания в объект при заданных параметрах осколка (фиксированной массе, начальной скорости вылета и выбранной модели) определяется как произведение вероятностей реализации углов попадания по вертикали и горизонтали

$$P_d = \frac{2(\alpha_{\max}^d - \alpha_{\min}^d)}{\pi} \cdot \frac{\gamma}{2 \cdot \pi}, \quad (5)$$

значения углов представлены в радианах.

В [1] описан один из методов определения скорости осколка с заданными характеристиками, при которой вероятность пробития металлической стенки с известными характеристиками соответствует 0,5.

При известных следующих параметрах:

$m$  - масса осколка, кг;

$\rho_p$  - плотность материала осколка, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_t$  - плотность материала стенки, кг/м<sup>3</sup>;

$\sigma_t$  - предел текучести материала стенки, Па;

$h$  - толщина стенки, м,

вычисление скорости пробития (вероятность 0,5) можно описать уравнением

$$V_{50} = \frac{3.5 \cdot h \cdot (\sigma_t \cdot \rho_t)^{1/2}}{\rho_p \cdot \left( \frac{3 \cdot m}{4 \cdot \pi \cdot \rho_p} \right)^{1/3}} \quad (6)$$

Для каждого случая попадания в объект, определяется скорость в точке попадания и сравнивается с  $V_{50}$ . В случае ее превышения, делается вывод о пробитии стенки данного объекта.

Пример определения траектории для шарового осколка, выполненный в среде Mathcad приводится на рис. 1. Пример определения граничной скорости пробития представлен на рис. 2.

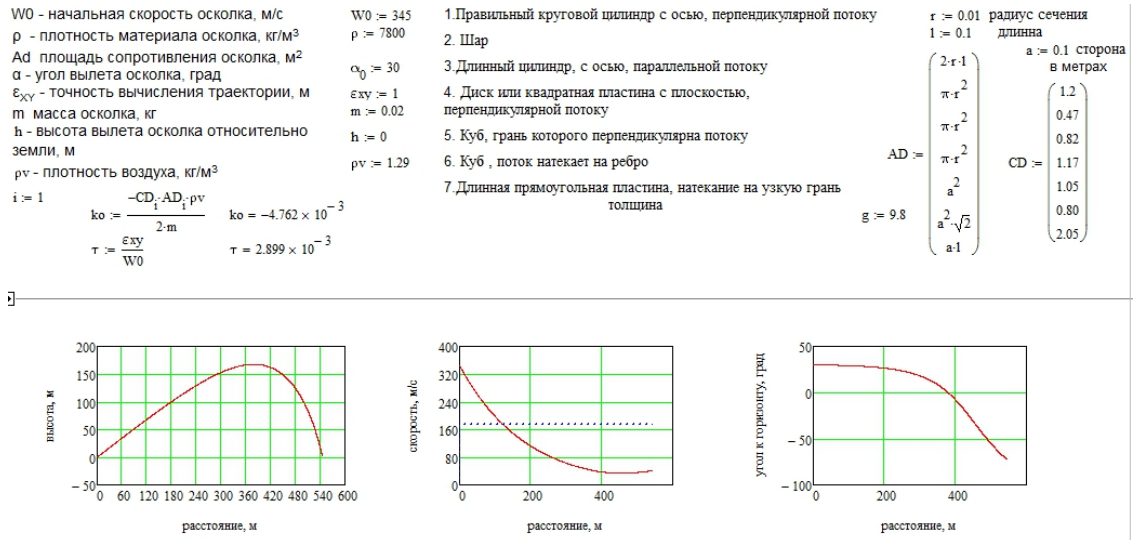


Рис. 1 – Пример расчета траектории осколка

Пробитие стенки

$\rho t := 7850$

$\sigma t := 346000000$  в паскалях!

$$V_{50} := \frac{3.5 \cdot h \cdot (\sigma t \cdot \rho t)^{\frac{1}{2}}}{\rho \cdot \left( \frac{3 \cdot m}{4 \cdot \pi \cdot \rho} \right)^{\frac{1}{3}}}$$

$h := 0.002$  толщина стенки, м

$\rho = 7800$

$m = 0.02$  масса осколка, кг

$V_{50} = 174.192$  Скорость, при которой вероятность пробития данной стенки более 50%, м/с

Рис. 2 – Определение граничной скорости пробития

Очевидно, что в приведенном примере пробитие возможно до 120 метров от места вылета осколка.

Таким образом, итоговая вероятность пробития на данном расстоянии будет не менее  $P_d = 0,5$ .

**Выводы.** Предложенные метод и расчетная модель позволяют рассчитать вероятность возникновения эффекта «домино», по заданному сценарию связанного с осколочным воздействием при

авариях на объектах повышенной опасности. Метод и модель могут применяться на практике с целью принятия решений по предупреждению крупных аварий на основании предельно допустимого риска.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бэйкер У., Кокс П., Уэстайн П. и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ./ Под ред. Я.Б.Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. - М.: Мир, 1986.
2. CPR 16E. Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials/Committee for the Prevention of Disasters caused by dangerous substances. TNO. Green book.

Лифар В.О., Вамболь С.О., Угрюмов М.Л.

**Метод та модель визначення параметрів впливу уламків при вибухах**

Представлений метод визначення негативного впливу осколків при вибухах та розрахункова модель, що дозволяє обчислити вірогідність виникнення ефекту «доміно» для об'єктів підвищеної небезпеки

**Ключові слова:** модель, вибух, уламки, ймовірність пробиття

Lyfar V.O., Vambol S.O., Ugryumov M.L.

**Method and model parameters determining the impact of the fragments at explosions**

A method for determining the negative impact of the fragments in the explosion, and the estimated model for calculating the risk of the "domino" for high risk facilities

**Key words:** model, the explosion, the fragments, the probability of penetration



*Мищенко І.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ С УЧЕТОМ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

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

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

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

**Постановка проблемы.** При внешнем случайном воздействии в различных элементах конструкции происходит накопление усталостных повреждений, что приводит к возникновению трещин, дальнейшему их развитию и последующему разрушению или отказу. При решении большинства задач надежности вполне обоснованно можно представить параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) в виде узкополосного квазигармонического процесса или широкополосного, приведенного к некоторому эквивалентному по повреждающему действию центрированному случайному процессу. При этом напряжения (деформации) представляют стационарный случайный процесс. Данное предположение во многих случаях является обоснованным, однако при расчете конструкций на сейсмическое воздействие или расчете элементов конструкций летательных аппаратов необходимо учитывать нестационарность рассматриваемого процесса.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Решение задачи надежности для элементов конструкций при циклическом нагружении и различных физических моделях отказов на основе двумерных марковских моделей рассмотрено в работе [1], общая постановка задачи надежности с учетом внешнего случайного воздействия приводится в работе [2], описание и представление нестационарного случайного воздействия рассмотрены в [3]. Вышесказанное позволяет в заявленной постановке использовать указанный подход при решении задачи надежности объектов по-

---

Решение задачи надежности объектов повышенной опасности с учетом нестационарности внешнего воздействия

вышенной опасности, находящихся, в первую очередь, в зоне сейсмического воздействия.

**Постановка задачи и ее решение.** Рассматривается задача определения показателей надежности – вероятности безотказной работы, плотности отказов и среднего времени до разрушения – элементов конструкций при внешнем нестационарном случайном воздействии. Без учета нестационарности в случае широкополосного случайного воздействия напряжения (деформации) представляются в виде суперпозиции квазигармонических случайных процессов

$$y(t) = \sum_{k=1}^n y_k(t) = \sum_{k=1}^n \lambda_k(t) \cos(p_k t + \phi_k(t)), \quad (1)$$

где  $\lambda_k(t)$ ,  $\phi_k(t)$  - медленно меняющиеся по сравнению с  $\cos(p_k t)$  амплитуда и фаза узкополосного процесса  $y_k(t)$ ,  $p_k$  -  $k$ -ая собственная частота колебаний конструкции,  $n$  - число удерживаемых форм колебаний. При отсутствии доминирующей формы колебаний, используя существующие методы схематизации случайных процессов, необходимо процесс (1) привести к некоторому эквивалентному по повреждающему действию центрированному случайному процессу [4]

$$y(t) = \lambda(t) \cos(pt + \phi(t)). \quad (2)$$

С учетом нестационарности напряжения (деформации) представляются в виде

$$y_H(t) = y(t) \psi(t), \quad (3)$$

где  $\psi(t)$  - некоторая детерминированная функция времени. Для линейной модели накопления повреждений уравнение повреждаемости в этом случае записывается в виде

$$dz / dt = C [\psi(t) \lambda(t)]^m. \quad (4)$$

При справедливости утверждения о том, что  $[z(t), \lambda(t)]$  представляет двумерный марковский процесс, его одномерная плотность вероятности  $f(z, \lambda, t)$  удовлетворяет уравнению Фоккера-Планка-Колмогорова

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial \lambda}[A_1(\lambda)f] - \frac{\partial}{\partial z}[A_2(\lambda)f] + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2}[B(\lambda)f] \quad (5)$$

с граничными и начальными условиями, которые формулируются исходя из физической сущности задачи. В этом уравнении коэффициент  $A_2(\lambda)$  для линейной модели накопления повреждений не зависит от переменной  $z$ . Использование уравнения (4) приводит к определению коэффициента  $A_2(\lambda)$  в виде

$$A_2(t) = C\psi^m(t) \int_{\sigma_{-1}/\psi(t)}^{\infty} \lambda^m f(\lambda) d\lambda.$$

Для решения уравнения (5) вводится функция  $\theta(\lambda, \omega, t)$ , представляющая характеристическую функцию по переменной  $z$  и плотность вероятности по переменной  $\lambda$

$$\theta(\lambda, \omega, t) = \int_0^{\infty} f(\lambda, z, t) e^{i\omega z} dz = P_S(\lambda) \sum_{n=0}^{\infty} C_n(\omega, t) J_n(\lambda), \quad (6)$$

которую, при рассмотрении  $\omega$  в качестве параметра, можно разложить в одномерный ряд по ортогональным полиномам  $J_n(\lambda)$  с весовой функцией  $P_S(\lambda)$  и неизвестными коэффициентами  $C_n(\omega, t)$ . Таким образом, получается замкнутая система обыкновенных дифференциальных уравнений в комплексной форме относительно последних

$$\frac{dC_n(\omega, t)}{dt} = \sum_{k=0}^N C_k(\omega, t) u_{nk}, \quad (n = 0, 1, \dots, N). \quad (7)$$

В этой системе коэффициенты  $u_{nk}$  при использовании выражения (4) явно зависят от времени, вследствие чего для ее решения используется метод Рунге-Кутты. Следует отметить, что на вид функции  $\psi(t)$  не накладывается никаких ограничений (это может быть периодическая функция или какая-то задаваемая функция)

Таким образом, из решения уравнения (5) которое базируется на методе характеристических функций, можно определить одномерную плотность вероятности меры повреждений  $f(z,t)$ , по которой определяются все основные показатели надежности для кумулятивных моделей накопления повреждений

**Выводы.** В элементах конструкций происходит накопление усталостных повреждений, что может привести к их разрушению и отказу. В работе предложен подход, учитывающий нестационарность напряжений (деформаций), что важно при расчете показателей надежности объектов повышенной опасности, в частности, находящихся в зоне сейсмического воздействия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жовдак В.А. Прогнозирование надежности элементов конструкций с учетом технологических и эксплуатационных факторов / В.А.Жовдак, И.В.Мищенко-Харьков: ХГПУ, 1999.-120 с.
2. 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.
3. Николаенко Н.А. Статистическая динамика машиностроительных конструкций / Н.А.Николаенко, С.В.Ульянов-М.: Машиностроение, 1977.-368 с.
4. Гусев А.С. Расчет конструкций при случайных воздействиях / А.С.Гусев, В.А.Светлицкий-М.: Машиностроение, 1984.-240 с.

Мищенко І.В.

**Вирішення задачі надійності об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням нестационарності зовнішнього навантаження**

Розглядається задача визначення показників надійності елементів конструкцій з урахуванням нестационарного зовнішнього навантаження з метою запобігання аварійних ситуацій на об'єктах підвищеної небезпеки

**Ключові слова:** надійність, накопичення пошкоджень, втомленість, нестационарне навантаження

Mishchenko I.V.

**Reliability problem decision for higher danger objects taking into account the non-stationary input**

The structural elements reliability characteristics calculation problem taking into account the non-stationary input is investigated to prevent the emergency situations on the higher danger objects.

**Key words:** reliability, damage accumulation, fatigue, non-stationary input

**УДК 351.861**

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

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ  
ВЗАЄМОДІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ  
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

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

Сформований кінцевий варіант математичної моделі, яка описує структурно-функціональні складові як окремої організаційної системи так і їх угруповання та організацію взаємодії структурних підрозділів такого угруповання

**Ключові слова:** взаємодія, структурно-функціональний аналіз, структурно-функціональна модель, напрямок організації взаємодії

**Постановка проблеми.** Зі створенням правової бази запобігання і ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) та їх наслідків в Україні, де велике значення надається заходам безпеки громадян, необхідно змінити погляди на зміст, форми й методи спільної діяльності внутрішніх військ МВС України (ВВ МВС) та рятувальних сил МНС України (МНС). Для цього є декілька причин.

По-перше, виникнення особливо тяжких НС техногенного та природного характеру, що створюють загрозу життю і здоров'ю значних верств населення становить загрозу національній безпеці України і може бути підставою для введення в державі надзвичайного стану. [1] В склад військового командування, якому разом з органами виконавчої влади та органами місцевого самовряду-

вання, надається право здійснювати заходи правового режиму надзвичайного стану, входять МНС та ВВ МВС.[1]

По-друге, під охороною підрозділів ВВ МВС України знаходяться ряд потенційно-небезпечних об'єктів військово-промислового комплексу, об'єктів підвищеної небезпеки атомної промисловості, особливо важливі об'єкти, де виникнення НС може спричинити негативні міжнародні наслідки (дипломатичні представництва, консульства та інш.) а також об'єкти, де процес ліквідації залежить від особливої специфіки відповідних закладів (заклади виконання покарань).

Проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт з ліквідації наслідків НС, в тому числі і на таких об'єктах, покладається на МНС. В той же час, відповідно [2] одним з основних завдань ВВ МВС є участь у ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій на об'єктах, що охороняються.

Якщо розглядати процес організації ліквідації НС як поєднання організаційно-управлінських, інженерно-технічних та оперативно-тактичних рішень, що забезпечують успіх оперативних дій по її ліквідації, то ефективність виконання задач МНС та ВВ МВС при ліквідації НС буде залежати, насамперед, від організації взаємодії двох суб'єктів при відпрацюванні та реалізації цих рішень.

Відповідно [3] організація спільних заходів МНС та ВВ МВС складається з етапів попередньої і безпосередньої (оперативної) підготовки до їх проведення.

Основною проблемою в організації спільних заходів є визначення пріоритетних напрямів взаємодії та найбільш ефективного механізму взаємодії всіх структурних елементів двох суб'єктів взаємодії.

Визначення пріоритетних напрямів взаємодії між різними формуваннями МНС та ВВ МВС у разі виникнення НС має відбуватись в процесі розробки організаційно-управлінських рішень ще на попередньому етапі під час розроблення планів взаємодії. Це потребує науково обґрунтованих пропозицій і рекомендації щодо прийняття таких рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для реалізації такого завдання в роботі [4] побудована загальна структурно-функціональна модель організації взаємодії, в роботах [5,6] запропонована загальна методика, яка дозволяє визначити пріоритетні напрямки взаємодії між частинами та підрозділами ВВ МВС

та формуваннями МНС, та відповідне програмне забезпечення, яке дозволяє аналізувати структурно-функціональні складові відповідної моделі організації взаємодії та, за допомогою спеціального математичного апарату, вибрати найбільш ефективний механізм взаємодії відповідних формувань під час ліквідації наслідків НС.

В роботах [7,8] визначено, що відповідна модель повинна являти собою сукупність шести множин, елементи яких зв'язані структурними, функціональними та структурно-функціональними базисами взаємодії і складають структурно-функціонально-цільовий простір взаємодії. Цільовий простір взаємодії надається в семантичній формі і представлений переліком надзвичайних ситуацій та завдань ВВ МВС.

**Постановка завдання та його вирішення.** У зв'язку з введенням такого поняття як структурно-функціонально-цільовий простір взаємодії стає необхідним сформулювати кінцевий варіант математичної моделі, яка буде описувати структурно-функціональні складові як окремої організаційної системи так і їх угруповання та організацію взаємодії структурних підрозділів такого угруповання.

Організаційна система (ОС) складається із штатних та оперативних підрозділів. Вони називаються *структурними елементами* ОС і позначаються літерою  $S=s$ .

При функціонуванні ОС послідовно чи одночасно виконуються окремі дії, кожна з яких виконується спеціальним способом. Ці способи (функції) назовемо *функціональними елементами* ОС і позначимо  $\Phi=f$ .

Організаційна система призначається для виконання цілком певної сукупності службово-бойових завдань (СБЗ). Окреме таке завдання назовемо *цільовим елементом* ОС і позначимо через  $\Pi=c$ .

Структурний елемент, що діє певним способом називається *структурно-функціональним елементом* ОС. Він позначається  $S\Phi = s \cap f$ .

Структурний елемент, що приймає участь у виконанні певного службово-бойового завдання називається *структурно-цільовим елементом* ОС і позначається  $S\Pi = s \cap c$ .

Аналогічно, спосіб (функція), що використовується ОС при виконанні певного СБЗ названо *функціонально-цільовим елементом* і позначено  $\Phi Ц = f \cap c$ .

І, нарешті, структурний елемент ОС, що виконує певну функцію при вирішенні певного службово-бойового завдання називається *структурно-функціонально-цільовим елементом* ОС. Він має таке позначення:  $С\Phi Ц = s \cap f \cap c$ .

За своїми можливостями кожний структурний елемент може виконувати певну сукупність функцій і приймати участь у виконанні певної сукупності завдань, навпроти, кожний спосіб чи завдання (функціональний чи цільовий елемент), може виконуватися структурним елементом із певної їх сукупності. Множину структурних елементів, що входять до складу чи можуть бути сформовані у складі службово-бойової системи будемо називати *структурним базисом* ОС і позначати  $СБ = (s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_m)$ .

При функціонуванні ОС послідовно чи одночасно виконуються окремі дії, кожна з яких виконується спеціальним способом. Множину цих способів (функцій) назвемо *функціональним базисом* ОС і позначимо  $\Phi Б = (f_1, f_2, \dots, f_j, \dots, f_n)$ . Сукупність завдань ОС будемо називати *цільовим базисом* ОС і позначати  $ЦБ = (c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_p)$ .

Множина усіх застосовуваних структурно-функціональних елементів називається *структурно-функціональним базисом* (СФБ) ОС. СФБ являє собою матрицю розмірності  $(m, n)$ :  $С\Phi Б(X) = S^T X F$ ,  $X = (x_{i,j})_{m,n}$ , де  $x_{i,j} = 1$  і  $С\Phi_{i,j} = s_i \cap f_j$  якщо структурний елемент  $s_i$  за своїми можливостями може діяти способом  $f_j$ ;  $x_{i,j} = 0$  і  $С\Phi_{i,j} = 0$  у протилежному випадку.

Множина усіх застосовуваних структурно-цільових елементів називається *структурно-цільовим базисом* (СЦБ) ОС. СЦБ являє собою матрицю розмірності  $(m, p)$ :  $СЦБ(Y) = S^T Y C$ ,  $Y = (y_{i,k})_{m,p}$ , де  $y_{i,k} = 1$  і  $СЦ_{i,k} = s_i \cap c_k$  якщо структурний елемент  $s_i$  приймає участь у виконанні СБЗ  $c_k$ ;  $y_{i,k} = 0$  та  $СЦ_{i,k} = 0$  у протилежному випадку.

Аналогічно, множина усіх застосовуваних функціонально-цільових елементів ОС називається *функціонально-цільовим базисом* (ФЦБ). ФЦБ являє собою матрицю розмірності  $(n, p)$ :  $\Phi ЦБ(Z) = F^T Z C$ ,  $Z = \{z_{j,k}\}$ , де  $z_{j,k} = 1$  і  $\Phi Ц = f_j \cap c_k$ , якщо спосіб (функція)  $f_j$  використовується ОС при виконанні службово-бойового завдання  $c_k$ ;  $z_{j,k} = 0$  і  $\Phi Ц_{j,k} = 0$  у протилежному випадку.



І, нарешті, повну сукупність структурно-функціонально-цільових елементів назвемо *структурно-функціонально-цільовим базисом* (СФЦБ) службово-бойової системи. СФЦБ являє собою трьохіндексну матрицю розмірністю  $(m, n, p)$ :  $W=(w_{io,jo,ko})=(x_{io,jo}y_{io,ko}z_{jo,ko})$ . Якщо  $w_{io,jo,ko}=1$ , то це означає, що структурний елемент  $s_{io}$ , виконуючи завдання  $c_{ko}$ , за своїми можливостями може діяти способом  $f_{jo}$ , а відповідний структурно-функціональний елемент дорівнює  $СФЦ_{iojoko} = s_{so} \cap f_{jo} \cap c_{ko}$ . У протилежному випадку ( $w_{io,jo,ko}=0$ )  $СФЦ_{iojoko} = 0$ .

Визначення елементів та базисів ОС, та їх мнемонічні позначення надані у таблиці 1.

**Таблиця 1 - Визначення елементів та базисів організаційної системи**

Елементи ОС	Позначення
структурний	s
функціональний	f
цільовий	c
структурно-функціональний	СФ = s ∩ f
структурно-цільовий	СЦ = s ∩ c
функціонально-цільовий	ФЦ = f ∩ c
структурно-функціонально-цільовий	СФЦ = s ∩ f ∩ c
Базиси ОС	Позначення
структурний	СБ = (s <sub>1</sub> , s <sub>2</sub> , ..., s <sub>j</sub> , ..., s <sub>m</sub> ) = S
функціональний	ФБ = (f <sub>1</sub> , f <sub>2</sub> , ..., f <sub>j</sub> , ..., f <sub>n</sub> ) = F
цільовий	ЦБ = (c <sub>1</sub> , c <sub>2</sub> , ..., c <sub>k</sub> , ..., c <sub>p</sub> ) = C
структурно-функціональний	СФБ(X) = S <sup>T</sup> XF, X=(x <sub>ij</sub> ) <sub>m,n</sub> , x <sub>ij</sub> ∈ {0; 1}
структурно-цільовий	СЦБ(Y) = S <sup>T</sup> YC, Y=(y <sub>ik</sub> ) <sub>m,p</sub> , y <sub>ik</sub> ∈ {0; 1}
функціонально-цільовий	ФЦБ(Z) = F <sup>T</sup> ZC, Z=(z <sub>jk</sub> ) <sub>n,p</sub> , z <sub>jk</sub> ∈ {0; 1}
структурно-функціонально-цільовий	СФЦБ <sub>ijk</sub> = (s <sub>s</sub> ∩ f <sub>f</sub> ∩ c <sub>c</sub> )w <sub>ijk</sub> w <sub>ij</sub> k=x <sub>ij</sub> y <sub>ik</sub> z <sub>jk</sub>

Структурно-функціонально-цільовий базис ОС, що містить по два структурних, функціональних та цільових елемента графічно представлено рисунком 1, а його складові - таблицею 2.

Таблиця 2 - Складові структурно-функціонально-цільовий базису ОС

СФБ(X)		СЦБ(Y)			ФЦБ(Z)			
	$f_1$	$f_2$		$c_1$	$c_2$		$c_1$	$c_2$
$s_1$	1	1	$s_1$	0	1	$f_1$	1	1
$s_2$	1	0	$s_2$	1	1	$f_2$	0	1
СФЦБ(XYZ)								
$СФЦ_{112} = (s_1 \cap f_1 \cap c_2)$					$СФЦ_{211} = (s_2 \cap f_1 \cap c_1)$			
$СФЦ_{122} = (s_1 \cap f_2 \cap c_2)$					$СФЦ_{212} = (s_2 \cap f_1 \cap c_2)$			

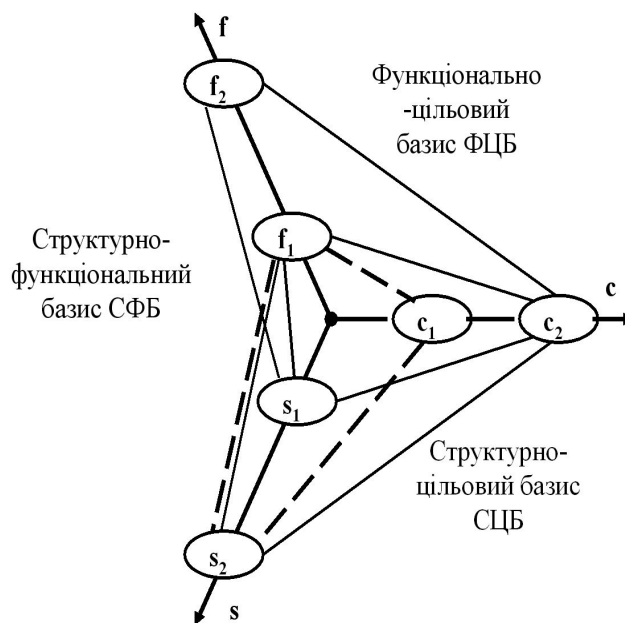


Рис. 1 - Структурно-функціонально-цільовий базис ОС та його складові

Таким чином, як видно, організаційна система є складною багатофункціональною динамічною системою, яка при виконанні усієї сукупності покладених на неї завдань в залежності від часу та оперативно-тактичної обстановки може змінювати оперативний склад як набір функцій, за допомогою яких послідовно чи одночасно виконуються притаманні їй оперативні завдання.

Визначення структурно-функціональної моделі окремої організаційної системи, що здійснене, допускає аналогічне моделю-

вання декількох ОС, тобто угруповання сил та засобів як ОС більш високого рівня.

Розглянемо найбільш простий випадок, коли угруповання включає лише дві організаційні системи – ОС1 і ОС2, для кожної з яких визначені параметри структурно-функціональних моделей (таблиця 3)

**Таблиця 3 - Параметри структурно-функціональних моделей двох окремих ОС**

ОС1	ОС2
$C\Phi 1 = s1 \cap f1$	$C\Phi 2 = s2 \cap f2$
$CЦ 1 = s1 \cap c1$	$CЦ 2 = s2 \cap c2$
$\Phi Ц 1 = f1 \cap c1$	$\Phi Ц 2 = f2 \cap c2$
$C\Phi Ц 1 = s1 \cap f1 \cap c1$	$C\Phi Ц 2 = s2 \cap f2 \cap c2$
$CБ 1 = (s1_1, s1_2, \dots, s1_{i1}, \dots, s1_{m1}) = S1$	$CБ 2 = (s2_1, s2_2, \dots, s2_{i2}, \dots, s2_{m2}) = S2$
$\Phi Б 1 = (f1_1, f1_2, \dots, f1_{j1}, \dots, f1_{n1}) = F1$	$\Phi Б 2 = (f2_1, f2_2, \dots, f2_{j2}, \dots, f2_{n2}) = F2$
$Ц Б 1 = (c1_1, c1_2, \dots, c1_{k1}, \dots, c1_{p1}) = C1$	$Ц Б 2 = (c2_1, c2_2, \dots, c2_{k2}, \dots, c2_{p2}) = C2$
$C\Phi Б 1(X1) = S1^T X1 F1,$ $X1 = (x1_{i1,j1})_{m1,n1}$	$C\Phi Б 2(X2) = S2^T X2 F2,$ $X2 = (x2_{i2,j2})_{m2,n2}$
$CЦ Б 1(Y1) = S1^T Y1 C1,$ $Y1 = (y1_{i1,k1})_{m1,p1}$	$CЦ Б 2(Y2) = S2^T Y2 C2,$ $Y2 = (y2_{i2,k2})_{m2,p2}$
$\Phi Ц Б 1(Z1) = F1^T Z1 C1,$ $Z1 = (z1_{j1,k1})_{n1,p1}$	$\Phi Ц Б 2(Z2) = F2^T Z2 C2,$ $Z2 = (z2_{j2,k2})_{n2,p2}$
$C\Phi Ц Б 1_{i1,j1,k1} = (s_{s1} \cap f_{j1} \cap c_{k1}) w1_{i1,j1,k1},$ $W1_{i1,j1,k1} = (x1_{i1,j1} y1_{i1,k1} z1_{j1,k1})$	$C\Phi Ц Б 2_{i2,j2,k2} = (s_{s2} \cap f_{j2} \cap c_{k2}) w2_{i2,j2,k2},$ $W2_{i2,j2,k2} = (x1_{i2,j2} y1_{i2,k2} z1_{j2,k2})$

Можна вважати, що угруповання ОС функціонує у загальному структурно-функціонально-цільовому просторі, який формується шляхом об'єднання структурно-функціонально-цільових базисів СФБ1 і СФБ2

$$C\Phi Ц П = \{(s_s \cap f_j \cap c_k)\}, \quad (1)$$

$$i \in I = \{1, 2, \dots, m1, m1+1, m1+2, \dots, m1+m2\} = \{1, 2, \dots, i, \dots, m = m1+m2\};$$

$$j \in J = \{1, 2, \dots, n1, n1+1, n1+2, \dots, n1+n2\} = \{1, 2, \dots, j, \dots, n = n1+n2\};$$

$$k \in K = \{1, 2, \dots, p1, p1+1, p1+2, \dots, p1+p2\} = \{1, 2, \dots, k, \dots, p = p1+p2\}.$$

Як видно, СФЦ простір є дискретним трьохвимірним (трьохіндексним).

Він складається із трьох дискретних двовимірних (двохіндексних) підпросторів: структурно-функціонального, структурно-цільового та функціонально-цільового підпросторів, кожен із яких формується парою одновимірних (одноіндексних) підпросторів.

Визначення та позначення СФЦ простору ОС1, ОС2 та його складових представлені у таблиці 4. У цій же таблиці у СФЦ просторі показані базиси ОС1 і ОС2.

Таблиця 4 - СФЦ простір угруповання ОС та його складові

СФЦ простір ОС1 і ОС2	Позначення
Структурно-функціонально-цільовий	$\{ \text{СФЦП}_{ijk} \} = \{ s_i \cap f_j \cap c_k \}$
структурний простір	$\text{СП1} \cup \text{СП2} = \text{СП} = S = S1 \cup S2$ $\text{СП} = (s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_m) = S, m = m1 + m2$
функціональний простір	$\text{ФП1} \cup \text{ФП2} = \text{ФП} = F = F1 \cup F2$ $\text{ФП} = (f_1, f_2, \dots, f_j, \dots, f_n) = F, n = n1 + n2$
цільовий простір	$\text{ЦП1} \cup \text{ЦП2} = \text{ЦП} = C = C1 \cup C2$ $\text{ЦП} = (c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_p) = C, p = p1 + p2$
структурно-функціональний простір	$\text{СФП} = S^T F$
структурно-цільовий простір	$\text{СЦП} = S^T C$
функціонально-цільовий простір	$\text{ФЦП} = F^T C$
$\text{СФЦБ1} = \{ (s_i \cap f_j \cap c_k) w1_{ijk} \},$ $w1_{ijk} = x1_{ij} y1_{ik} z1_{jk}$	$\text{СФЦБ2} = \{ (s_i \cap f_j \cap c_k) w2_{ijk} \},$ $w2_{ijk} = x1_{ij} y2_{ik} z1_{jk}$

Таким чином, угруповання, що складається із двох ОС може розглядатися як організаційна система більш високого рівня. Зрозуміло, що аналогічний формальний підхід може бути застосовано для моделювання угруповання ОС довільної кількості.

Надалі розглядатимемо організацію взаємодії між двома організаційними системами ОС1, ОС2, які будемо називати суб'єктами взаємодії і за необхідності позначати СВ1, СВ2. Будемо вважати, що для кожного суб'єкта взаємодії розроблена структурно-функціональна модель з параметрами, представленими у таблиці 3.

Взаємодія організується між структурними елементами різних суб'єктів взаємодії. Доцільність відпрацювання взаємодії між двома структурними елементами, що належать різним суб'єктам, залежить від завдань, у виконанні яких приймає участь та чи інша організаційна одиниця, функціональних можливостей оперативних груп (структурних елементів) суб'єктів взаємодії. Ця залежність моделюється за допомогою *структурних та функціональних базисів взаємодії*. Визначимо поняття та зміст цих базисів.

Аналізуючи особливості взаємодії двох організаційних систем ОС1 та ОС2, для кожного структурного елемента ОС1 експертним шляхом можна визначити ті структурні елементи ОС2, з котрими повинен взаємодіяти даний структурний елемент. Таке відношення називається *структурним базисом взаємодії*  $CBV = CB1^T U CB2$ ,  $U=(u_{i1,i2})_{m1,m2}$ , де  $u_{i1,i2}=1$ , якщо між структурними елементами  $s1_{i1}$  та  $s2_{i2}$  взаємодія доцільна;  $u_{i1,i2}=0$  у протилежному випадку.

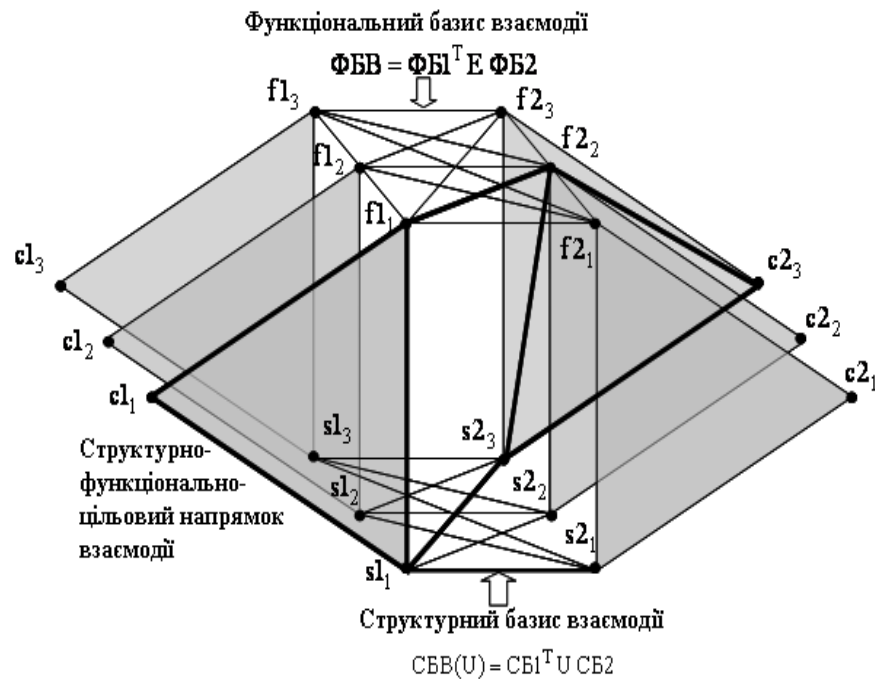


Рис. 2 - Структурно-функціонально-цільовий базис взаємодії

Аналізуючи особливості різних способів дій двох організаційних систем ОС1 та ОС2, для кожного способу дій ОС1 можна визначити ті способи дій ОС2 при застосуванні яких між ОС1 та ОС2 доцільно організувати взаємодію. Таке відношення називається

функціональним базисом взаємодії  $\Phi B B = \Phi B 1^T E \Phi B 2$ ,  $E = (e_{j_1, j_2})_{m_1, m_2}$ , де  $e_{j_1, j_2} = 1$ , якщо при застосуванні способів дій  $f_{1, j_1}$  та  $f_{2, j_2}$  організувати взаємодію між ОС1 та ОС2 доцільно;  $u_{i_1, i_2} = 0$  у протилежному випадку.

Поєднуючи структурний і функціональний базиси взаємодії з відповідними структурно-функціонально-цільовими елементами та базисами угруповання ОС одержуємо структурно-функціонально-цільовий базис взаємодії, схема якого показана на рисунку 2.

Кожний елемент СФЦ базису взаємодії будемо називати напрямком структурно-функціонально-цільової взаємодії.

Напрямок структурно-функціонально-цільової взаємодії – це сполучення двох структурно-функціонально-цільових елементів структурно-функціонально-цільових базисів ОС1 і ОС2, між якими має бути відпрацьована взаємодія. Один із таких напрямків виділено жирними лініями на рисунку 2.

Напрямки структурно-функціонально-цільової взаємодії визначаються шестиіндексною матрицею

$$H = \{h_{i_1, j_1, k_1, i_2, j_2, k_2}\} = u_{i_1, i_2} w_{1, i_1, j_1, k_1} w_{2, i_2, j_2, k_2} e_{j_1, j_2}, \quad (2)$$

де  $i_1$  – номер структурного елемента СВ1;  $i_2$  – номер структурного елемента СВ2;  $j_1$  – номер функціонального елемента СВ1;  $j_2$  – номер функціонального елемента СВ2;  $k_1$  – номер завдання СВ1;  $k_2$  – номер завдання СВ2;  $h_{i_1, j_1, k_1, i_2, j_2, k_2}$  – індикатор напрямку СФЦ взаємодії;  $w_{1, i_1, j_1, k_1} = x_{1, i_1, j_1} y_{1, i_1, k_1} z_{1, j_1, k_1}$ ,  $w_{2, i_2, j_2, k_2} = x_{1, i_2, j_2} y_{1, i_2, k_2} z_{1, j_2, k_2}$  – елементи структурно-функціонально-цільових базисів ОС1 і ОС2, де  $x_{1, i_1, j_1}$ ,  $x_{2, i_2, j_2}$  – структурно-функціональні елементи ОС1 і ОС2;  $y_{1, i_1, k_1}$ ,  $y_{2, i_2, k_2}$  – структурно-цільові елементи ОС1 і ОС2;  $z_{1, j_1, k_1}$ ,  $z_{2, j_2, k_2}$  – функціонально-цільові елементи ОС1 і ОС2;  $u_{i_1, i_2}$  – елемент структурного базису взаємодії;  $e_{j_1, j_2}$  – елемент функціонального базису взаємодії.

Індикатор напрямку  $h_{i_1, j_1, k_1, i_2, j_2, k_2} = 1$ , якщо структурний елемент СВ1  $s_{1, i_1} \in CB1$ , що виконує функцію  $f_{1, j_1} \in \Phi B 1$  при вирішенні службово-бойового завдання  $c_{1, k_1} \in CB1$  повинен взаємодіяти із структурним елементом СВ2  $s_{2, i_2} \in CB2$ , що виконує функцію  $f_{2, j_2} \in \Phi B 2$  при виконанні оперативного завдання  $c_{2, k_2} \in CB2$ ;

$h_{u_1, k_1, g_1, u_2, k_2, g_2} = 0$  коли взаємодія між структурно-функціонально-цільовими елементами ОС1 і ОС2 не передбачається.

Таким чином, основним кінцевим результатом математичної моделі організації взаємодії організаційних систем є структурно-функціонально-цільовий базис взаємодії, що будується за допомогою визначених керівником (особою, яка приймає рішення) структурного та функціонального базисів взаємодії, структурного, функціонального, цільового базисів ОС1 та ОС2, і містить множину усіх актуальних напрямків взаємодії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про правовий режим надзвичайного стану: Закон України від 16.03.2000р. № 1550- III /Верховна рада України. – Офіц. вид. – К: Офіційний вісник України. № 15, 2000. — С. 7.
2. Про внутрішні війська Міністерства внутрішніх справ України: Закон України від 26.03.1992 № 2235-ХІІ// Відомості Верховної Ради України від 21.07.1992 - 1992 р., № 29, стаття 397.
3. Інструкція про порядок взаємодії Міністерства з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи та Міністерства внутрішніх справ щодо запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру: спільний наказ МНС України, МВС України від 03.04. 2007 № 205/105.
4. 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 : АПБ ім. Героїв Чорнобиля МНС України, 2009. – С.112-113.
5. 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. – Х.: Академія ВВ МВС України, 2009. – № 4. – С. 61 – 67.

6. Кириченко І. О. Програмне забезпечення для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями сил цивільного захисту МНС України та підрозділами внутрішніх військ МВС України при виникненні надзвичайних ситуацій / Кириченко І.О., Неклонський І.М., Побережний А.А. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 10. – Харків: УЦЗУ, 2009. – С. 84 – 90.
7. 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.
8. 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.

Неклонский И.М., Елизаров А.В.

**Структурно-функциональная модель организации взаимодействия организационных систем при ликвидации чрезвычайных ситуаций**

Сформирован окончательный вариант математической модели, которая описывает структурно-функциональные составляющие, как отдельной организационной системы, так и их группировки, а также организацию взаимодействия структурных подразделений такой группировки

**Ключевые слова:** взаимодействие, структурно-функциональный анализ, структурно-функциональная модель, направление организации взаимодействия

Neklonsky I.M., Yelizarov O.V.

**Structural-functional model of interaction of organizational systems in emergency management**

Shaped the final version of the mathematical model, which will describe the structural and functional components as a separate organizational system, and their groups, as well as the organization of interaction of structural units of such a grouping

**Key words:** interaction, structural and functional analysis, structural-functional model, the direction of interaction



*Панина Е.А., преп., НУЦЗУ,  
Гусева Л.В., преп., НУЦЗУ*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ R-ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ РИСКОВ НА ОБЪЕКТАХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

В статье предложено применить построение дерева отказов для оценки вероятности неблагоприятного события на объектах, также разработан алгоритм вычисления кратчайшего пути для полного дерева отказов

**Ключевые слова:** дерево отказов, объект, кратчайший путь

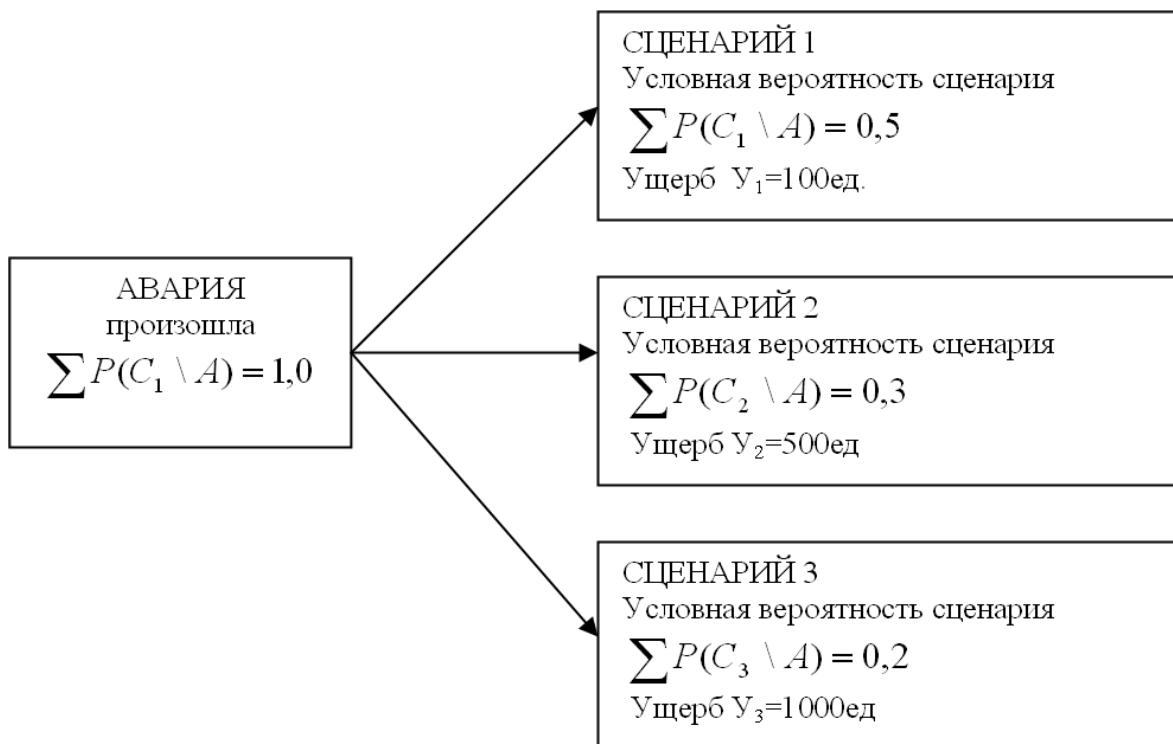
**Постановка проблемы.** Одним из стратегических направлений достижения в Украине приемлемого уровня безопасности для населения, окружающей среды и объектов промышленности является внедрение количественных методов оценки техногенных и природных рисков. В настоящее время отсутствует возможность оценить суммарные риски из-за отсутствия общепринятой методологии оценки рисков.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Существующие методики оценки рисков сложны, громоздки и трудоемки в основном из-за отсутствия, неточности и неопределенности исходных данных. Наиболее обсуждаемыми в литературе [1-3] является использование вероятностных оценок риска. Некоторые нормативы [4] рекомендуют с осторожностью применять количественные показатели риска в качестве критериев безопасности из-за сложности рассматриваемых объектов и неопределенности используемой для расчетов информации [5, 6]. Вместе с тем, такие критерии применяются как показатели в качестве нормируемых критериев пожарной безопасности [7, 8] и попытки принять их в качестве основных показателей безопасности требуют необходимых разъяснений. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что разработка новых и усовершенствование существующих методов анализа рисков является актуальной задачей

**Постановка задачи и ее решение.** Существуют многочисленные методики расчета причинных составляющих возможных аварий, которые используют в практике декларирования безопас-

ности промышленных объектов [9, 10]. Из-за отсутствия, неточности и неопределенности исходных данных расчеты по этим методикам оказываются сложны, громоздки и трудоемки. Поэтому целесообразно использовать логико-вероятностный подход оценки риска возникновения возможных аварий. В большинстве своем данный подход базируется на методах анализа «деревьев событий». Пример такого дерева приведен на рис. 1

Возможно использование теории R-функций для построения полного дерева отказов с учетом наиболее влияющих опасных факторов.



**Рис. 1 – Дерево событий (исходов аварий)**

Для этого предлагается составить алгоритм вычисления минимального кратчайшего пути для полного дерева отказов с использованием R- функций, разработанных В.Л. Рвачевым [11]. Представление дерева отказов в классе R-функций возможно в силу того, что при его построении использовался язык алгебры логики.

Одной из наиболее употребляемых полных систем R- функций, соответствующих разбиению числовой оси на отрицательные и положительные числа, является система  $R_\alpha$

$$\begin{aligned}
 x \wedge_{\alpha} y &= \frac{1}{1+\alpha} (x + y - \sqrt{x^2 + y^2 - 2\alpha xy}) \text{ (R- кон'юнкція)} \\
 x \vee_{\alpha} y &= \frac{1}{1+\alpha} (x + y + \sqrt{x^2 + y^2 - 2\alpha xy}) \text{ (R- диз'юнкція)} \\
 \bar{x} &= -x \text{ (R- отрицание)},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где:  $\alpha = \alpha(x, y)$  – произвольная функция, удовлетворяющая условию:  $-1 < \alpha(x, y) \leq 1$ .

Таким образом, просматривая все возможные цепочки событий, получаем кратчайший путь к главному событию.

**Выводы.** Предложено использование теории R-функций для построения полного дерева отказов с учетом наиболее влияющих опасных факторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств. / Маршалл В.; (пер. с англ.). – М.: Мир, 1989. - 672 с.
2. Хенли Э. Дж., Надежность технических систем и оценка риска. / Хенли Э. Дж., Кумамото Х.; (пер. с англ. под общ. ред. Сыромятникова В.С.). – М.: Машиностроение, 1984. - 620 с.
3. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. / Белов П.Г. – К.: КМУ ГА, 1997. - 426 с.
4. РД 08-120-96. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов. (постановление Госгортехнадзора России от 12.07.96 №29)
5. Емельянов В.В. Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных системы процессов. Язык РДО. /Емельянов В.В., Ясиновский С.И. - М.: АНВИК, 1998. - 427 с.
6. Анализ риска и его нормативное обеспечение. / [Мартынюк В.Ф., Лисанов М.В, Кловач Е.В., Сидоров В.И.]. «Безопасность труда в промышленности», 1995. - 55-62 с.
7. ГОСТ 12.3.047 - 98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
8. ГОСТ 12.1.004 – 91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
9. Методика оценки последствий химических аварий (методика «Токси») / [согл. С Госгортехнадзором России (письмо от 03.07.98 «10-03/ 342)], НТЦ «Промышленная безопасность».

10. РД «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах». / [утв. АК «Транснефть», приказ от 30.12.99 № 152; согл. с Госгортехнадзором России, письмо от 07.07.99 №10-03/418].
11. Рвачев В.Л. Геометрические приложения алгебры логики./ Рвачев В.Л. – К.: Техніка, 1967. – 211с.

Панина О.О., Гусева Л.В.

**До методики оцінки ймовірності ризиків на об'єктах промисловості**

У статті запропоновано застосувати побудову дерева відмов для оцінки ймовірності несприятливої події на об'єктах, також розроблений алгоритм обчислення найкоротшого шляху для повного дерева відмов

**Ключові слова:** дерево відмов, об'єкт, найкоротший шлях

Panina E.A., Guseva L.V.

**Methodology to evaluate the probability of risks to industrial facilities**

Proposed to apply the construction of the fault tree to estimate the probability of an adverse event on-site. Developed an algorithm for computing the shortest path for the full fault tree.

**Key words:** fault tree, on-site, shortest path

*Поспелов Б.Б., д-р техн. наук, вед. науч. сотр., НУГЗУ,  
Шевченко Р.И., канд. техн. наук, нач. лаб., НУГЗУ,  
Приходько А.Ю., магистр, НУГЗУ*

## **СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ВО ВРЕМЕНИ СЛУЧАЙНОГО УРОВНЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

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

Решена задача синтеза и анализа оптимального измерителя постоянного во времени случайного уровня опасных факторов чрезвычайных ситуаций на фоне гауссовых помех

**Ключевые слова:** оптимальный измеритель уровня опасного фактора, чрезвычайная ситуация, первичный извещатель

**Постановка проблемы.** В последнее время отмечается рост числа различных чрезвычайных ситуаций (ЧС), объемов наносимого ими ущерба и при этом недостаточная эффективность автоматических систем предупреждения о возможном возникновении ЧС. В качестве основных и единственных источников информации об уровне опасных факторов ЧС в таких системах используются различные типы первичных извещателей. При этом эффективность используемых систем существенно зависит от достоверности и точности информации первичных извещателей. Поэтому возникает необходимость использования в первичных извещателях наилучших (оптимальных) в смысле заданных критериев измерителей уровня опасных факторов ЧС. Одной из проблем построения таких измерителей для первичных извещателей является определение (синтез) оптимальной их структуры и анализ потенциальных характеристик для заданных условий применения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Оптимизации и идентификации параметров различных измерителей, используемых в существующих пожарных извещателях, посвящены работы [1,2]. Однако в этих работах исследования выполнены применительно к заданной заранее структуре измерителей. Синтез оптимальной структуры измерителей уровня опасного фактора ЧС при этом не рассматривается. В отличие от структурного не-

структурный подход к синтезу позволяет не только отыскивать оптимальную структуру измерителя среди всех возможных измерителей для заданных условий, но и оценивать потенциальные (предельные) характеристики, и определять степень совершенства существующих измерителей первичных извещателей и предлагаемых решений по их улучшению, а также выбирать пути их эффективной модернизации. При этом следует отметить, что для решения рассматриваемой задачи синтеза измерителя существует хорошо разработанный математический аппарат теории оптимальной оценки и фильтрации.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является синтез и анализ оптимального измерителя случайного уровня опасных факторов ЧС для заданных условий применения. В качестве простейшей, но характерной для ряда реальных условий применения, будем рассматривать ситуацию, при которой уровень опасных факторов на интервале наблюдения представляет собой постоянную во времени случайную величину с известными статистическими характеристиками, наблюдаемую на сопутствующем мешающем фоне в виде гауссовой помехи со спектральной плотностью  $N/2$  и нулевым средним значением. Требуется по результатам наблюдения получить оптимальную оценку неизвестного случайного уровня опасного фактора ЧС. В качестве критерия оптимальности измерения будем рассматривать минимум среднеквадратической погрешности измерения уровня опасного фактора.

В такой постановке рассматриваемая задача может быть отнесена к частной задаче фильтрации процесса, который не меняется на интервале наблюдения, и решена на основе известных методов теории линейной фильтрации.

Априорное уравнение, описывающее измеряемый уровень  $a(t)$  опасного фактора в рассматриваемой ситуации на интервале наблюдения  $[0, T]$ , будет определяться в виде

$$da(t) / dt = 0, \quad a(0) = a_0, \quad (1)$$

где  $a_0$  - гауссова случайная величина с математическим ожиданием  $m_a$  и дисперсией  $D_a$ , описывающих средний уровень и дисперсию измеряемого неизвестного опасного фактора ЧС. Уравнение наблюдения, описывающее процесс на входе измерителя первичного извещателя будет определяться с учетом (1) равенством

$$y(t) = a(t) + n(t), \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

где  $n(t)$  - помеха, на фоне которой наблюдается опасный фактор, описываемая гауссовым процессом с равномерной спектральной плотностью  $N/2$ .

Следуя [3], алгоритм оптимальной фильтрации уровня опасного фактора (1) с учетом наблюдения (2) можно представить в виде

$$d\hat{a}(t) / dt = K(t)[y(t) - \hat{a}(t)], \quad (3)$$

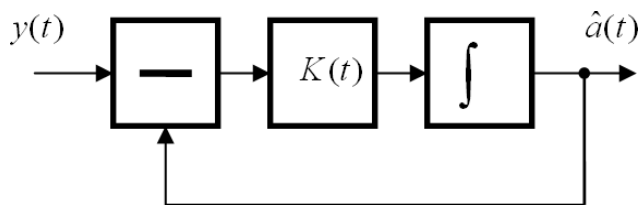
где  $\hat{a}(t)$  - оптимальная оценка уровня опасного фактора ЧС, а  $K(t)$  - функция, называемая коэффициентом передачи фильтра Калмана и определяемая выражением  $K(t) = 2D(t) / N$ , где  $D(t)$  - текущая дисперсия погрешности оценки  $\hat{a}(t)$ . В рассматриваемом случае уравнение для текущей дисперсия погрешности оценки имеет вид

$$dD(t) / dt = -2D^2(t) / N. \quad (4)$$

После несложных преобразований решение уравнения (4) будет описываться функцией

$$D(t) = D_a N / (N + 2D_a t). \quad (5)$$

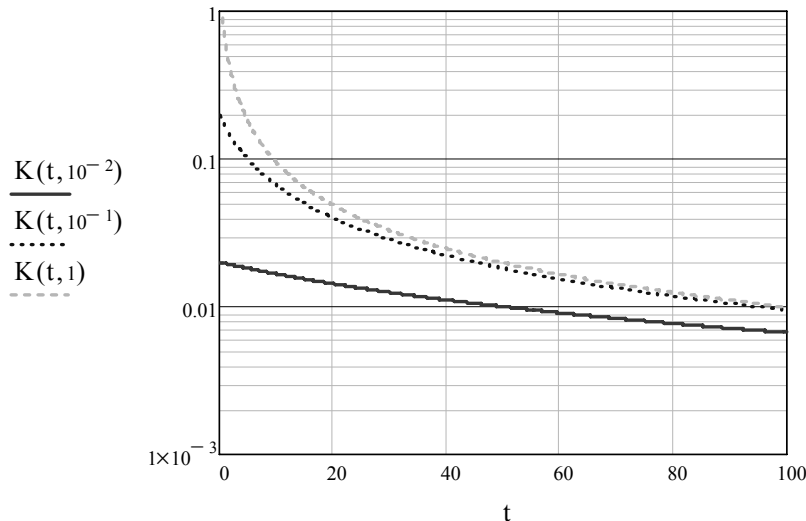
Соотношения (3) и (5) определяют структуру и параметры оптимального измерителя уровня опасного фактора ЧС для рассматриваемых условий. Структура синтезированного оптимального измерителя приведена на рис.1.



**Рис. 1 – Структурная схема оптимального измерителя уровня опасного фактора ЧС первичного извещателя**

Для рассматриваемой ситуации синтезированный оптимальный измеритель должен быть нестационарным и следящим. При этом его нестационарный характер определяется коэффициентом передачи  $K(t)$ , который зависит от времени, спектральной плотности помехи и дисперсии уровня измеряемого опасного фактора. Зависимости коэффициента  $K(t)$  от времени для различных отношений  $q = D_a / N$ , равных  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$  и 1, приведены на рис.2.

В частном случае, когда помеха отсутствует или  $D_a$  велико,  $K(t) = 1/t$ , т. е. коэффициент передачи обратно пропорционален времени  $t$ . Это означает, что в случае  $t \rightarrow \infty$  коэффициент передачи  $K(t) = 0$  и фильтр как бы постепенно отключается от наблюдений, сохраняя на выходе интегратора (рис.1), неизменной оценку  $\hat{a}(t)$  измеряемого неизвестного уровня опасного фактора ЧС. При этом дисперсия такой оценки, следуя (5), стремится к нулю. Следовательно, с увеличением времени или интервала наблюдения оценка  $\hat{a}(t)$  на выходе измерителя может быть сколь угодно близкой к истинному значению неизвестного измеряемого уровня опасного фактора.



**Рис. 2 – Зависимость коэффициента передачи во времени в различных условиях применения оптимального измерителя**

Кроме оптимального измерителя с обратной связью (рис.1) возможна его реализация в виде измерителя разомкнутого типа. На основании (3) алгоритм оптимального измерителя разомкнутого типа может быть представлен в виде



$$d\hat{a}(t) / dt + K(t)\hat{a}(t) = K(t)y(t). \quad (6)$$

Вводя функцию  $\tau_o(t) = 1 / K(t)$ , алгоритм (6) может быть записан в виде нестационарного уравнения

$$\tau_o(t)d\hat{a}(t) / dt + \hat{a}(t) = y(t), \quad (7)$$

описывающего выходной процесс  $\hat{a}(t)$  низкочастотного фильтра с переменной постоянной времени  $\tau_o(t)$ , на входе которого действует наблюдаемый процесс  $y(t) = a(t) + n(t)$ . Для упрощения реализации измерителя в оптимальном измерителе (7) переменная постоянная времени  $\tau_o(t)$  может быть заменена фиксированной во времени  $\tau(t) = \tau$  постоянной времени. В этом случае измеритель будет описываться стационарным уравнением

$$\tau d\hat{a}_1(t) / dt + \hat{a}_1(t) = y(t). \quad (8)$$

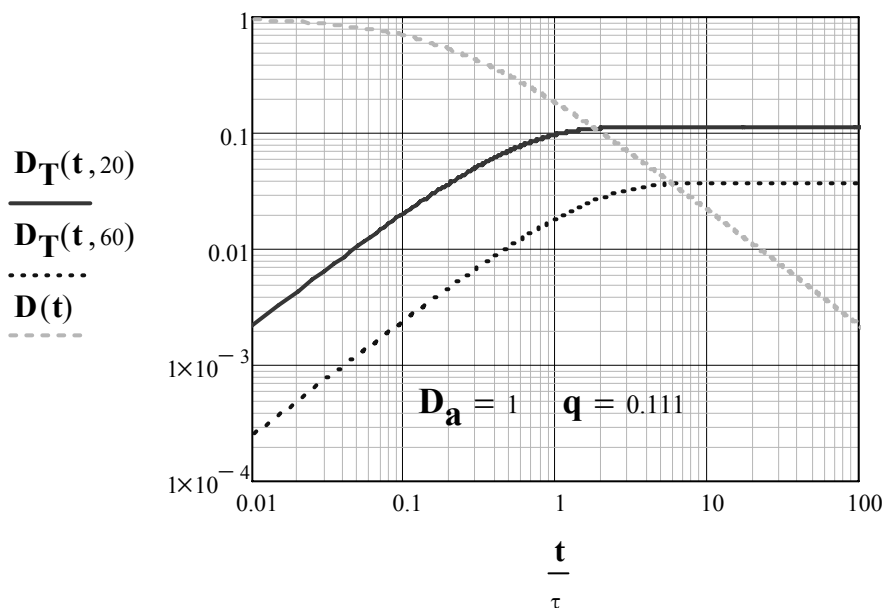
При этом ясно, что оптимальный (нестационарный) измеритель (7) и измеритель (8), в котором постоянная времени фиксирована (квазиоптимальный), будут иметь различные характеристики. Для количественного сравнения получим выражение дисперсии  $D_T(t)$  погрешности измерения на выходе квазиоптимального измерителя. Введем обозначение  $T(t) = a(t) - \hat{a}_1(t)$ . Вычтем из уравнения (1) уравнение для оценки (8), подставив в него выражение  $y(t)$  из (2). Тогда получим линейное дифференциальное уравнение для погрешности измерения

$$\tau dT(t) / dt + T(t) = -n(t). \quad (9)$$

Учитывая, что в правой части (9) процесс является гауссовым с корреляционной функцией  $\delta(t - t_1)N / 2$ , для нулевых начальных условий  $D_T(0) = 0$  функция, описывающая изменение дисперсии погрешности измерения (9) во времени будет определяться

$$D_T(t, \tau) = N(1 - e^{-2t/\tau}) / 4\tau. \quad (10)$$

Дальнейшую сравнительную оценку для наглядности выполним на примере тепловых пожарных извещателей, в которых измеритель температуры реализован в виде чувствительного элемента с малой активной поверхностью. Для таких измерителей справедливо представление (8), где наблюдения  $y(t)$  представляют собой текущую температуру окружающей среды, определяемую уровнем опасного фактора пожара  $a_0 = \lambda_0$  (статическая температура срабатывания) и неоднородностью температурного фона. В соответствии с EN54 для испытаний тепловых извещателей определены значения постоянных времени  $\tau$  измерителей, равные  $\tau_1 = 20$  с и  $\tau_2 = 60$  с. Зависимости дисперсий погрешности измерения для квазиоптимального  $D_T(t, \tau)$  и оптимального  $D(t)$  измерителей уровня опасного фактора пожара от нормированного времени  $t/\tau$  для условий наблюдения, определяемых отношением  $q = D_a / N$ , представлены на рис.3.



**Рис. 3 – Зависимости дисперсий погрешности измерения для квазиоптимальных и оптимального измерителей**

Из анализа приведенных данных следует, что в рассматриваемых условиях квазиоптимальные измерители существующих тепловых извещателей на интервалах времени наблюдения, которые превышают  $(3-10)\tau$ , существенно проигрывают оптимальному измерителю. При этом близкие значения дисперсии погрешности

измерения имеют место в моменты времени  $t1 \approx 2\tau1$  и  $t2 \approx 6\tau2$  для соответствующих измерителей. С ростом отношения  $q = D_a / N$  эффективность оптимальных измерителей по сравнению с квазиоптимальными становится еще существенней. Использование квазиоптимальных измерителей приводит к снижению быстродействия и затягиванию переходных процессов, а также появлению отличной от нуля дисперсии погрешности измерения в установившемся режиме, величина которых обратно пропорциональна отношению  $q = D_a / N$ .

Процессы измерения неизвестного уровня опасного фактора пожара в оптимальном измерителе и квазиоптимальных измерителях при значениях  $\tau1 = 20$  с и  $\tau2 = 60$  с иллюстрируются на рис.4 и рис.5 соответственно. Моделирование осуществлялось на основе численного решения соответствующих дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты для случайного измеряемого опасного уровня пожара  $\lambda_0$ , измерений этого уровня  $a_g = a(g\Delta t)$  в квазиоптимальном и  $a1_g = \hat{a}1(g\Delta t)$  в оптимальном измерителе соответственно при начальных условиях  $a_0 = a1_0 = 2$ , где  $g = 1, 2, 3, \dots$  и  $\Delta t = 0,1$  с определяет шаг интегрирования.

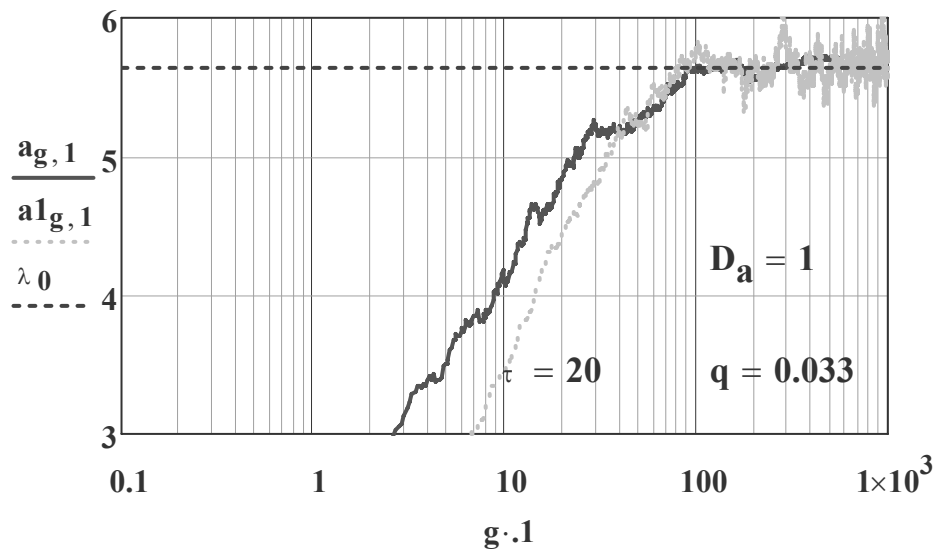
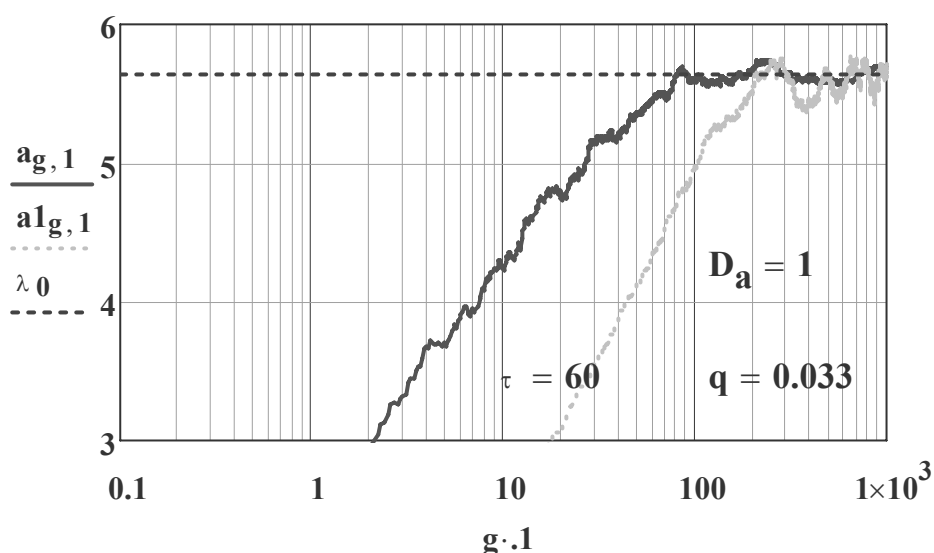


Рис. 4 – Процесс измерения опасного фактора пожара в оптимальном и квазиоптимальном измерителе при величине постоянной времени 20 с

Из анализа приведенных данных следует, что процесс измерения неизвестного уровня опасного фактора пожара при в квазиоптимальных измерителях в условиях значительного мешающего фона характеризуется переходными процессами в течение времени, которое приблизительно равно величине пяти постоянным времени соответствующего измерителя, и сопровождается ростом флуктуаций измерений до уровня, соответствующего установившемуся режиму. При этом в оптимальном измерителе переходный процесс происходит незначительно быстрее, но со значительно меньшим уровнем флуктуаций в установившемся режиме по сравнению с установившимся режимом для квазиоптимального измерителя.



**Рис. 5 – Процесс измерения опасного фактора пожара в оптимальном и квазиоптимальном измерителе при величине постоянной времени 60 с**

В отличие от квазиоптимального в оптимальном измерителе флуктуации установившегося режима стремятся к нулю, обеспечивая для времени  $t \rightarrow \infty$  потенциальную точность измерения с нулевой погрешностью. Если использовать в измерителях квазиоптимальный измеритель, с величиной постоянной времени, равной 60 с, то процесс измерения затягивается, но при этом снижается уровень флуктуаций в установившемся режиме (рис.5). При этом быстродействие оптимального измерителя по сравнению с

квазиоптимальним становиться тем существенней, чем больше величина  $q = D_a / N$  (рис.6).

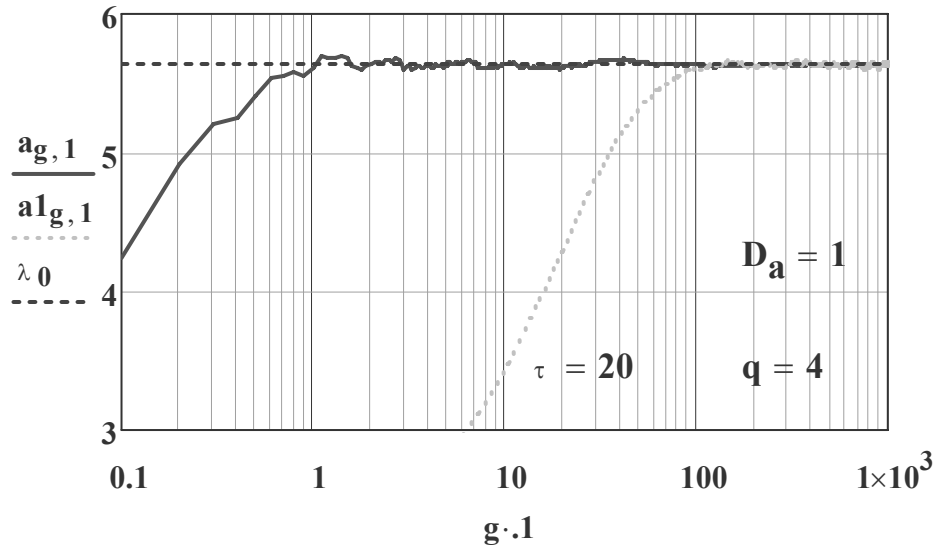


Рис. 6 – Процесс измерения опасного фактора пожара в оптимальном и квазиоптимальном измерителе при величине  $q = 4$

Следует заметить, что отмеченные выше свойства и особенности оптимального и квазиоптимальных измерителей тепловых извещателей характерны для условий, определяемых постоянством во времени измеряемого случайного уровня опасного фактора ЧС. Поэтому в полном объеме распространить их на случай произвольных изменений уровня опасного фактора ЧС и мешающего фона не представляется возможным. Необходимы дополнительные исследования.

**Выводы.** Решена задача синтеза и анализа оптимального измерителя постоянного во времени случайного уровня опасного фактора ЧС, наблюдаемого на фоне гауссовых помех с нулевым средним и заданной равномерной спектральной плотностью. Показано, что оптимальный измеритель извещателей ЧС является следящим, но может быть реализован в виде соответствующего измерителя разомкнутого типа с переменными параметрами. Рассмотрены квазиоптимальные измерители, которые основываются на фиксации постоянной времени оптимального измерителя. Установлено, что квазиоптимальные измерители случайного уровня опасного фактора ЧС по структуре совпадают с известными изме-

рителями, которые, например, используются в тепловых пожарных извещателях. На примере существующих измерителей тепловых извещателей и их параметров проведен сравнительный анализ оптимальных и квазиоптимальных измерителей известных тепловых извещателей в различных условиях. Показано, что рассмотренные квазиоптимальные измерители тепловых извещателей, обладают недостаточной точностью и быстродействием, которые могут быть одной из причин снижения эффективности автоматических систем обнаружения и предупреждения о пожаре.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Харьков: МОУ, 1993. – 288 с.
2. Абрамов Ю.А. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь. – Харьков: АГЗУ, 2005. – 121 с.
3. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

Поспелов Б.Б., Шевченко Р.І., Приходько О.Ю.

#### **Синтез оптимального вимірювача постійного в часі випадкового рівня небезпечних факторів надзвичайних ситуацій**

Розв'язана задача синтезу та аналізу оптимального вимірювача постійного в часі випадкового рівня небезпечних факторів надзвичайних ситуацій на фоні гаусових перешкод

**Ключові слова:** оптимальний вимірювач рівня небезпечного фактора, надзвичайна ситуація, первинний сповіщувач

Pospelov B.B., Shevchenko R.I., Prykhodko A.Yu.

#### **Synthesis of optimal measuring constant in time random levels emergency situations factors**

We solve the problem of synthesis and analysis of the optimal meter constant in time random level hazard factors the emergency situations in the presence of Gaussian noise

**Keywords:** optimal level meter level hazard, emergency situations, primary detector

*Рогозін А.С., канд. техн. наук, докторант, НУЦЗУ,  
Хоменко В.С., ст. викл., НУЦЗУ,  
Райз Ю.М., викл., НУЦЗУ*

## **РОЗПОДІЛ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ ЗА РІВНЕМ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАГРОЗ ПРИРОДНОГО, ТЕХНОГЕННОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ПОЛІТИЧНОГО ХАРАКТЕРУ**

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

Визначено показники що характеризують реалізацію небезпек на території України. Здійснено розподіл регіонів України за рівнем реалізації небезпек природного, техногенного та соціально-політичного характеру.

**Ключові слова:** загрози, реалізація, надзвичайна ситуація, групування, розподіл

**Постановка проблеми.** Реалізація функції держави щодо забезпечення належного рівня безпеки населення та території, від загроз техногенного та природного характеру, супроводжується витратою відповідних ресурсів. Ефективність використання цих ресурсів залежить від цілої низки факторів, як детермінованого, так і стохастичного характеру. Одним з таких чинників є адекватність ресурсного забезпечення функцій цивільного захисту існуючим загрозам природного та техногенного характеру на території. На сучасному етапі в умовах кризових процесів в економіці, гостро стоїть питання щодо оптимізації розподілення та використання ресурсів в сфері цивільного захисту. Розв'язання цього питання не можливе без застосування наукового підходу, врахування об'єктивних закономірностей виникнення, розвитку надзвичайних ситуацій та розподілу їх наслідків. Однією з головних перешкод у визначенні достатності ресурсного забезпечення є неповнота знань щодо законів розподілу реалізації загроз природного та техногенного характеру та їх наслідків.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Інтегральному підходу в оцінці загроз присвячена робота [1]. Розподіл регіонів України за частістю виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження було зроблено в роботі [2]. Підходи щодо розбиття об'єктів на однорідні за ознаками групи роз-

---

Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру

глянути в [3-4]. Питання групування регіонів України за показниками що характеризують територіальні особливості регіонів, інтенсивність реалізації загроз та масштабність їх наслідків не розглядались.

**Постановка завдання та його вирішення.** Якісний аналіз статистичних даних щодо реалізації загроз на території країни, вказує на суттєву різницю в інтенсивності виникнення надзвичайних подій різного характеру по регіонах, зумовлену особливостями відповідних територій, рівнем їхньої урбанізації, розвитком промисловості, природними характеристиками регіону тощо [5]. Застосування статистичного підходу щодо визначення ймовірнісних характеристик процесу реалізації загроз на територіях, потребує відповідного групування ретроспективних даних [6]. Отже першим етапом визначення та дослідження законів реалізації загроз на території України є визначення територій з близькими показниками, що характеризують особливості території, інтенсивність виникнення, та тяжкість наслідків надзвичайних ситуацій (НС) різного характеру.

Для групування регіонів України використовуючи метод експертних оцінок було визначено набір показників які дозволяють описати територіальні особливості регіонів та рівень загроз різного характеру.

- I. Кількість людських ресурсів задіяних в ліквідації НС.
- II. Кількість техніки залученої для ліквідації НС.
- III. Збитки від НС тис. грн.
- IV. Кількість НС техногенного характеру державного рівня.
- V. Кількість НС техногенного характеру регіонального рівня.
- VI. Кількість НС техногенного характеру місцевого рівня.
- VII. Кількість НС техногенного характеру об'єктового рівня.
- VIII. Кількість НС природного характеру державного рівня.
- IX. Кількість НС природного характеру регіонального рівня.
- X. Кількість НС природного характеру місцевого рівня.
- XI. Кількість НС природного характеру об'єктового рівня.
- XII. Кількість НС соціально-політичного характеру регіонального рівня.
- XIII. Кількість НС соціально-політичного характеру місцевого рівня.
- XIV. Кількість НС соціально-політичного характеру об'єктового рівня.
- XV. Кількість населення.
- XVI. Площа території тис. км<sup>2</sup>.



Таблиця 1

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
АР Крим	2970	611	20055	0	2	5	16	1	9	16	20	0	2	1	1175598	24.6
Вінницька	5292	1456	1255026	1	0	19	14	1	3	14	11	0	3	0	2387282	33.3
Волинська	2455	1830	23141	0	1	7	3	0	1	8	7	0	1	0	1472541	28.8
Дніпропетровська	2919	412	9851	0	0	3	21	0	2	13	8	1	1	0	1156009	20.05
Донецька	511	124	23568	0	0	9	3	1	2	2	5	0	1	0	1147749	23.8
Житомирська	865	193	205239	0	0	5	11	1	2	6	3	0	0	5	1078933	13.8
Закарпатська	4502	899	126823	0	1	26	22	0	3	8	20	1	2	1	2732086	31.42
Запорізька	4242	1103	116012	0	3	21	9	0	4	17	16	0	2	1	1081336	28.5
Івано-Франківська	1231	528	74567	1	1	4	15	0	1	11	7	0	1	0	1318377	20.6
Київська	613	135	29027	0	2	10	17	0	2	8	4	0	1	3	1274125	20.9
Кіровоградська	1953	470	1700478	0	2	2	8	2	2	6	8	0	1	1	905189	8.1
Луганська	1798	328	117312	0	1	15	13	0	2	17	25	0	1	0	1083827	31.9
Львівська	2970	611	200055	0	2	5	16	1	9	16	20	0	2	1	1175598	24.6
Миколаївська	5292	1456	1255026	1	0	19	14	1	3	14	11	0	3	0	2387282	33.3
Одеська	2455	1830	23141	0	1	7	3	0	1	8	7	0	1	0	1472541	28.8
Полтавська	2919	412	9851	0	0	3	21	0	2	13	8	1	1	0	1156009	20.05
Рівненська	511	124	23568	0	0	9	3	1	2	2	5	0	1	0	1147749	23.8
Сумська	865	193	205239	0	0	5	11	1	2	6	3	0	0	5	1078933	13.8
Тернопільська	4502	899	126823	0	1	26	22	0	3	8	20	1	2	1	2732086	31.42
Харківська	4242	1103	116012	0	3	21	9	0	4	17	16	0	2	1	1081336	28.5
Херсонська	1231	528	74567	1	1	4	15	0	1	11	7	0	1	0	1318377	20.6
Хмельницька	613	135	29027	0	2	10	17	0	2	8	4	0	1	3	1274125	20.9
Черкаська	1953	470	1700478	0	2	2	8	2	2	6	8	0	1	1	905189	8.1
Чернівецька	1798	328	117312	0	1	15	13	0	2	17	25	0	1	0	1083827	31.9
Чернігівська	2970	611	200055	0	2	5	16	1	9	16	20	0	2	1	1175598	24.6

Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру

Дані за наведеними показниками представлено в табл. 1. (данні надані аналітичним управлінням МНС України).

Таблиця 2 – Результати аналізу показників

Змінні	міжгру- пова ди- сперсія	групова дисперсія	F- критерій	Рівень значимості критерію
Кількість людських ресурсів задіяних в ліквідації НС	17.03602	6.96398	56.26498	0.0000001
Кількість техніки залученої для ліквідації НС	14.16925	9.83075	33.15033	0.000007
<b>Збитки від НС</b>	<b>0.22502</b>	<b>23.77497</b>	<b>0.21769</b>	<b>0.645195</b>
Кількість НС техногенного характеру державного рівня	18.42231	5.57769	75.96570	0.0000001
Кількість НС техногенного характеру регіонального рівня	8.64286	15.35714	12.94419	0.001518
Кількість НС техногенного характеру місцевого рівня	12.39493	11.60507	24.56542	0.000052
Кількість НС техногенного характеру об'єктового рівня	11.65875	12.34125	21.72804	0.000108
<b>Кількість НС природного характеру державного рівня</b>	<b>0.66016</b>	<b>23.33984</b>	<b>0.65054</b>	<b>0.428180</b>
Кількість НС природного характеру регіонального рівня	5.71001	23.28999	4.70117	0.0411008
Кількість НС природного характеру місцевого рівня	3.49075	20.50925	3.91468	0.049963
Кількість НС природного характеру об'єктового рівня	5.95290	23.04710	6.95096	0.039622
<b>Кількість НС соціально-політичного характеру регіонального рівня</b>	<b>0.13636</b>	<b>23.86364</b>	<b>0.13143</b>	<b>0.720266</b>
Кількість НС соціально-політичного характеру місцевого рівня	12.69771	11.30229	25.83964	0.000038
Кількість НС соціально-політичного характеру об'єктового рівня	5.86002	18.13998	7.43002	0.0012051
Кількість населення	6.74882	17.25118	8.99781	0.006396
<b>Площа території</b>	<b>0.13662</b>	<b>23.86338</b>	<b>0.13167</b>	<b>0.720017</b>

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 визначення показників які дають можливість якісного групування областей країни було застосовано дисперсійний аналіз.

Аналіз показників проводився шляхом обчислення групової та між групової дисперсії, з подальшим визначенням значення F-критерію з відповідним рівнем значимості, результати представлені в табл. 2.

Показники, які мають значення F-критерію менше 3 та рівень значимості вищий за 0,05 при подальшій класифікації, не враховувались (в таблиці 2 позначені курсивом). Пояснень низьких значень F-критерію для означених показників може бути декілька: не врахування інфляційних процесів в показнику інтегрального характеру «Збитки від НС», низька інтенсивність реалізації загроз за показниками виникнення НС державного та регіонального рівнів, природного та соціально-політичного характеру відповідно.

Для групування територій за визначеними показниками було вирішено  $n$ -мірне завдання щодо розподілу територій по групах з близькими показниками. Визначення відстаней між адміністративними територіями 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 групуванні був використаний метод Варда [6, 7], за яким оцінки відстаней між групами знаходяться методом дисперсійного аналізу. Як відстань  $\text{dis}(Y, X)$  між групами  $X$  і  $Y$  береться

приріст суми квадратів відстаней об'єктів до центрів груп отриманих при об'єднанні

$$\text{dis}(X, Y) = \frac{n_x n_y}{n_x + n_y} (\bar{X} + \bar{Y})^T \cdot (\bar{X} + \bar{Y}), \quad (3)$$

де  $\bar{X}, \bar{Y}$  радіус-вектори центрів груп;  $n_x, n_y$  - кількість елементів у групах. Метод Варда мінімізує суму квадратів для будь-яких двох груп, які можливо сформувати. На кожному кроці об'єднуються такі дві групи, які приводять до мінімального збільшення внутрішньої групової суми квадратів відстаней.

На рис.1 представлено результати групування територій у вигляді вертикальної дендрограми, побудованої за допомогою програми STATISTICA.

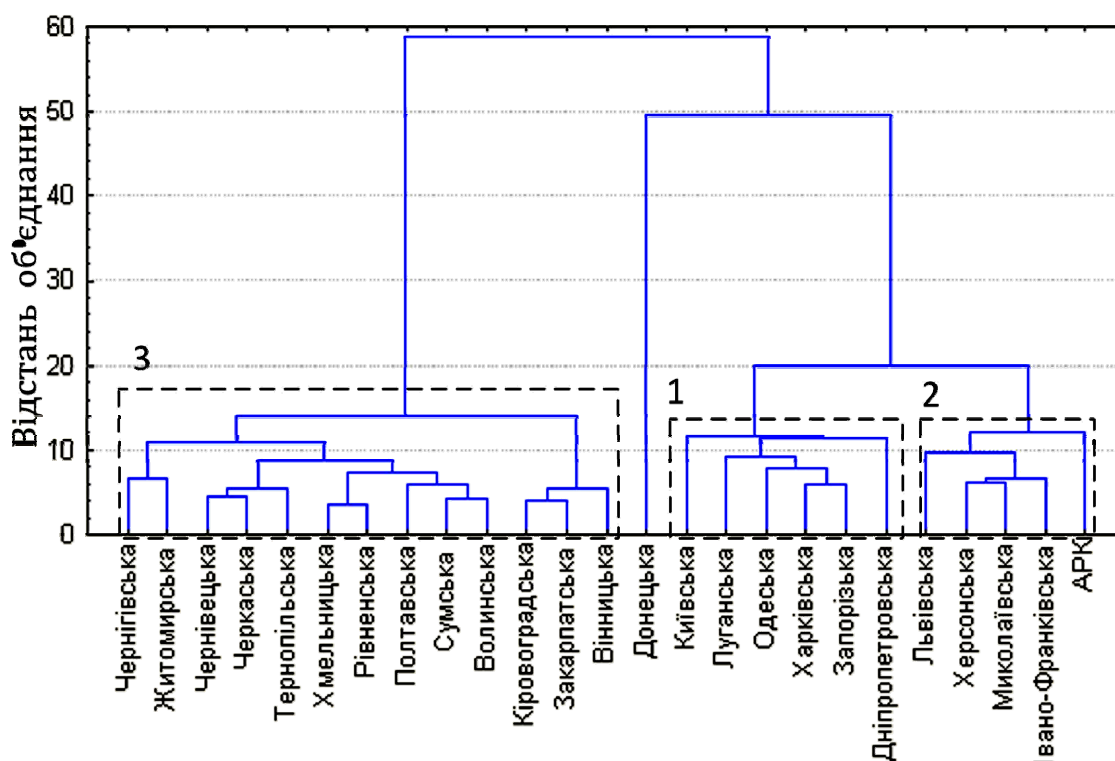


Рис. 1 – Результати групування областей України за показниками що характеризують територіальні особливості регіонів, інтенсивність реалізації загроз та масштабність їх наслідків

З рис. 1 можна побачити що територіальні одиниці країни розподілені на три окремі групи, виняткове положення займає Донецька область в силу своєї специфічності (відносно велика

щільність населення та концентрація виробництва). Для перевірки адекватності розбиття областей по групах було здійснено порівняльний аналіз відносних показників, що характеризують реалізацію загроз за характером (табл. 3). Відносні показники отримувались наступним чином

$$m_{kj} = \frac{100}{C_j \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^n c_{ij}^k, \quad (4)$$

де  $m_{kj}$  – відносний середній показник групи  $k$  за критерієм  $j$ ;  $c_{ij}^k$  – показник  $i$ -ої області групи  $k$  за критерієм  $j$ ;  $C_j$  – сумарний показник по всіх регіонах країни за критерієм  $j$ ;  $n$  – кількість областей в групі  $k$ .

З даних наведених в табл. 3 можна зробити висновки, що до першої групи потрапили регіони з відносно високою щільністю населення та концентрацією промисловості, відносний середній рівень реалізації загроз (загальна кількість НС) першої групи перевищує аналогічний показник для другої групи на 13%, третьої на 51%. Між першою та другою групою при відносно невеликій різниці за показником (загальна кількість НС) спостерігаються суттєві розбіжності у реалізації загроз за характером.

Так середній показник виникнення НС техногенного характеру для областей що увійшли у першу групу вище на 29% ніж у другій та на 60% вище ніж у територій третьої групи, в той же час, середній показник виникнення НС природного та соціально-політичного характеру нижчий ніж у другій групі на 81 та 53 відсотка відповідно.

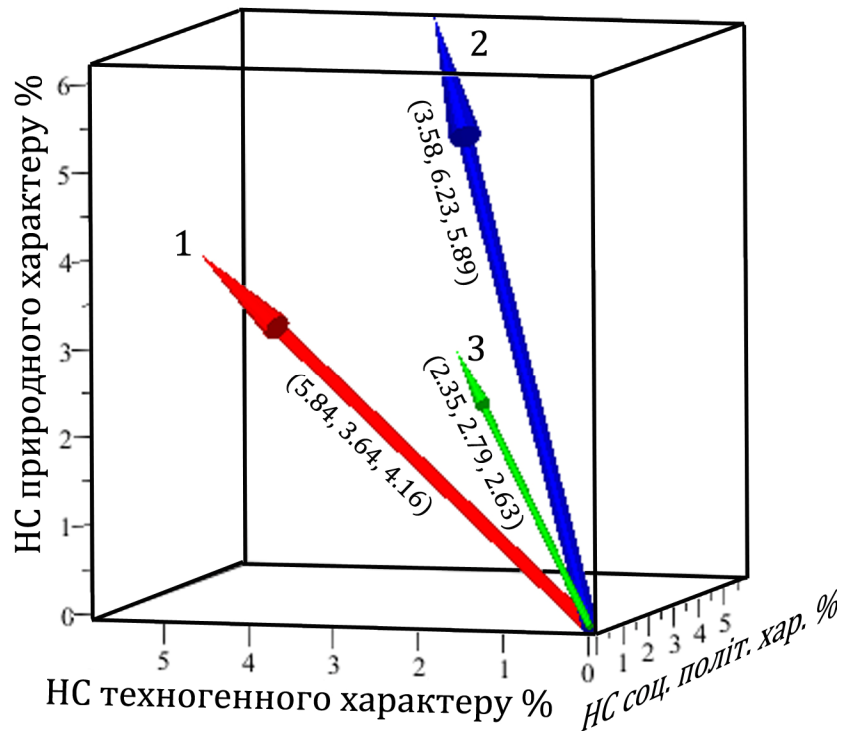
Враховуючи вище зазначене, можна стверджувати, що до першої та другої груп було віднесено території з високим ступенем реалізації загроз.

Першій групі відповідає високий рівень реалізації загроз техногенного, другій природного та соціально-політичного характеру. До третьої групи віднесено території з низьким рівнем реалізації загроз та на яких спостерігається майже однакова інтенсивність реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру.

Для візуалізації висновків на рис.2 зображені вектора побудовані за середніми відносними показниками прояву загроз за характером по групах регіонів.

Таблиця 3

Група	Регіон	% від загальної кількості НС	% від кількості НС техноген. характеру	% від кількості НС природн. характеру	% від кількості НС соціально-політичн. характеру
	Донецька	10.76	13.24	7.19	7.69
1 група	Київська	5.90	6.37	4.19	4.51
	Луганська	5.78	6.86	2.99	2.92
	Одеська	4.06	4.41	3.29	3.18
	Харківська	5.16	3.92	3.89	3.98
	Запорізька	5.04	7.11	2.99	3.71
	Дніпропетровська	5.29	6.37	4.49	6.63
середнє (m <sub>1</sub> )		5.20	5.84	3.64	4.16
дисперсія		0.43	1.79	0.4	1.79
ст. помилка		0.27	0.55	0.26	0.55
2 група	Львівська	4.86	4.41	5.69	5.31
	Херсонська	4.49	4.90	6.89	6.37
	Миколаївська	4.43	2.70	6.59	6.10
	Ів.-Франківська	3.26	1.72	5.39	5.31
	АРК	5.59	4.17	6.59	6.37
середнє(m <sub>2</sub> )		4.52	3.58	6.23	5.89
дисперсія		0.72	1.76	0.42	0.29
ст. помилка		0.38	0.59	0.29	0.24
3 група	Чернігівська	4.55	2.21	8.68	7.69
	Житомирська	2.70	2.94	3.29	2.92
	Чернівецька	1.97	1.96	0.90	1.06
	Хмельницька	2.52	2.21	2.10	1.86
	Черкаська	2.89	4.17	3.59	3.98
	Тернопільська	2.03	1.72	1.20	1.06
	Полтавська	1.72	1.47	1.50	1.33
	Рівненська	3.01	3.43	2.69	2.65
	Хмельницька	2.52	2.21	2.10	1.86
	Сумська	1.41	1.47	1.80	1.86
	Полтавська	1.72	1.47	1.50	1.33
	Волинська	1.97	0.74	2.40	2.12
	Кіровоградська	2.40	2.94	2.40	2.39
	Закарпатська	3.13	2.70	3.89	3.98
	Вінницька	3.69	3.68	3.89	3.45
середнє (m <sub>3</sub> )		2.55	2.35	2.79	2.63
дисперсія		0.69	0.9	3.56	2.88
ст. помилка		0.21	0.24	0.49	0.44



**Рис. 2 – Вектори реалізації загроз по групам територій**

Розташування векторів в просторі середніх відносних показників виникнення НС вказує на суттєву різницю між показниками, що підтверджує адекватність розподілу регіонів за критерієм реалізації загроз за характером. В таблиці 4 наведено данні щодо розподілу відносних середніх показників що характеризують масштабність наслідків реалізації загроз різного характеру.

**Таблиця 4**

Група	Відносний середній показник залучення людських ресурсів у ліквідації НС %	Відносний середній показник залучення техніки до ліквідації НС %	Відносні середні збитки від НС%
1	4.48	4.63	4.54
2	5.95	5.66	7.39
3	1.59	2.37	2.34

Дані наведені в таблиці 4 у векторному виді представлені на рис.3

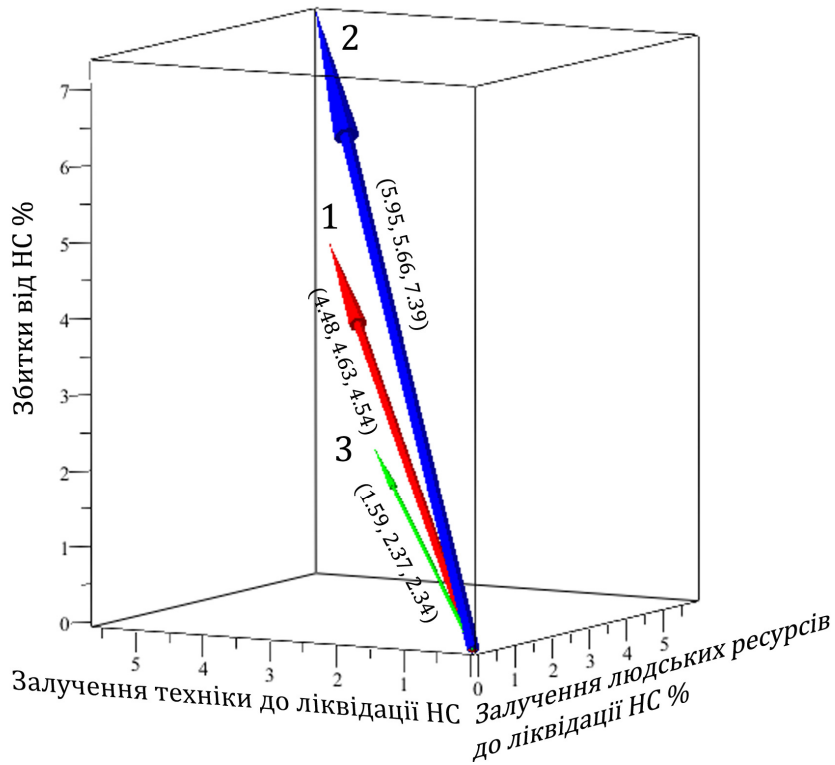


Рис. 3 – Вектори масштабності наслідків виникнення НС по групах регіонів



Рис. 4 – Географічне розташування груп регіонів



Аналіз розподілу регіонів країни за масштабністю наслідків НС вказує на чітке розмежування отриманих груп за ресурсами залученими до їх ліквідації. За показником залучення людських ресурсів різниця між першою та другою групою складає 25%, між другою та третьою 74%, за показником залучення техніки різниця між першою та другою групою складає 19% між другою та третьою 58%, що підтверджує адекватність розподілу регіонів країни за масштабністю наслідків НС.

На рис.4 представлено географічне розташування груп регіонів.

**Висновки.** Отриманий розподіл регіонів України за рівнем показників, що характеризують особливості території, інтенсивність виникнення, та тяжкість наслідків надзвичайних ситуацій (НС) різного характеру дозволяє здійснювати побудову моделей виникнення, розвитку, та ліквідації НС по групах регіонів з більш високим рівнем адекватності, що в свою чергу дозволить розширити обсяг знань щодо процесів реалізації загроз на території країни, та буде науковою основою у здійсненні оптимізації розподілення та використання ресурсів в сфері цивільного захисту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Інтегральна система безпеки регіонів України, як складова державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки / Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін, В.В. Тютюник [та ін.] // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2008. – Вип. 7. – С. 58 – 71.
2. Комплексні показники оцінювання стану природно-техногенної небезпеки/ В.А. Андронов, Ю.П. Бабков, В.В. Тютюник [та ін.] // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2010. – Вип. 12. – С. 9 – 20.
3. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл – М. : Статистика, 1977. – 128 с.
4. Мандель И.Д. Кластерный анализ / Мандель И.Д. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
5. Бублик М., Синюшко В. Аналіз ефективності програм щодо попередження надзвичайних ситуацій/ М. Бублик, В. Синюшко// Ефективність державного управління.- 2010. – Вип 23.– С. 21-31.

6. Кендалл М. Статистические выводы и связи / М.Кендалл, А. Стьюарт – М.: Наука, 1973. – 900 с.

Рогозин А.С., Хоменко В.С., Райз Ю.М.

**Распределение регионов Украины по уровню реализации угроз природного, техногенного и социально-политического характера**

Определены показатели характеризующие реализацию угроз на территории Украины. Осуществлено распределение регионов Украины по уровню реализации угроз природного, техногенного и социально-политического характера.

**Ключевые слова:** угрозы, реализация, чрезвычайная ситуация, группирование, распределение

Rogozin A.S., Homenko V.S., Rayz Y.M.

**Distribution of regions of Ukraine in terms of threats of natural, technological and sociopolitical character**

Identify indicators characterizing the implementation of threats on the territory of Ukraine. Implemented distribution of regions of Ukraine in terms of threats of natural, technological and socio-political.

**Key words:** Threats, implementation, emergency situation, grouping, distribution

*Тесленко А.А., канд. физ.-мат. наук, доц., НУГЗУ,  
Бугаев А.Ю., ад'юнкт, НУГЗУ,  
Олейник В.В., канд. тех. наук, нач. каф., НУГЗУ*

## **СНИЖЕНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РИСКА, СВЯЗАННОГО С ОБЪЕКТАМИ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ, ИМЕЮЩИМИ В СВОЕМ СОСТАВЕ ОБОРУДОВАНИЕ С ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ**

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

Рассмотрены способы определения путей снижения территориального риска посредством оптимизации параметров, определяющих надежность защитных устройств оборудования, находящегося под избыточным давлением. Параметры надежности защитных устройств предлагается оптимизировать в ходе имитационных экспериментов. Найденные решения позволяют свести проблему снижения рисков и уверенности в правильности найденных решений к уровню детальности и точности разработки имитационных моделей объектов повышенной опасности и защитных устройств для конкретных случаев.

**Ключевые слова:** территориальный риск, модель, оптимизация, безопасность, объект повышенной опасности

**Постановка проблемы.** Риск возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера в значительной мере определяется состоянием потенциально опасных объектов. Согласно требованиям Закона Украины „Про об'єкти підвищеної небезпеки” (ст.8), на каждом объекте повышенной опасности должны проводиться мероприятия, которые направлены на предотвращение аварий, защиту людей и окружающей среды от их влияния. Требуется обеспечить эксплуатацию объекта повышенной опасности с соблюдением минимального возможного риска.

С этой целью ст.10 Закона Украины «Про об'єкти підвищеної небезпеки» требует от субъекта хозяйственной деятельности, в составе которого есть хотя бы один объект повышенной опасности, разработки и представления в местные органы исполнительной власти декларации безопасности объекта повышенной опасности.

Порядок разработки декларации безопасности, ее содержание установлено Постановлением Кабинета Министров Украины

Снижение территориального риска, связанного с объектами повышенной опасности, имеющими в своем составе оборудование с избыточным давлением

№956 от 11.07.2002г. «Порядок декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки». В связи с тем, что декларация безопасности объектов повышенной опасности составляется на основе результатов исследования субъектом хозяйственной деятельности степени опасности и оценки уровня риска возникновения аварий, связанных с этим объектом, важным есть развитие методов определения рисков и основанных на полученных данных методов снижения риска. Согласно Постановления Кабинета Министров Украины №956 от 11.07.2002г. про «Порядок декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки», оценка уровня риска выполняется соответственно методике определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности, утвержденной Приказом Министерства труда и социальной политики Украины за №637 от 04.12.2002 г.

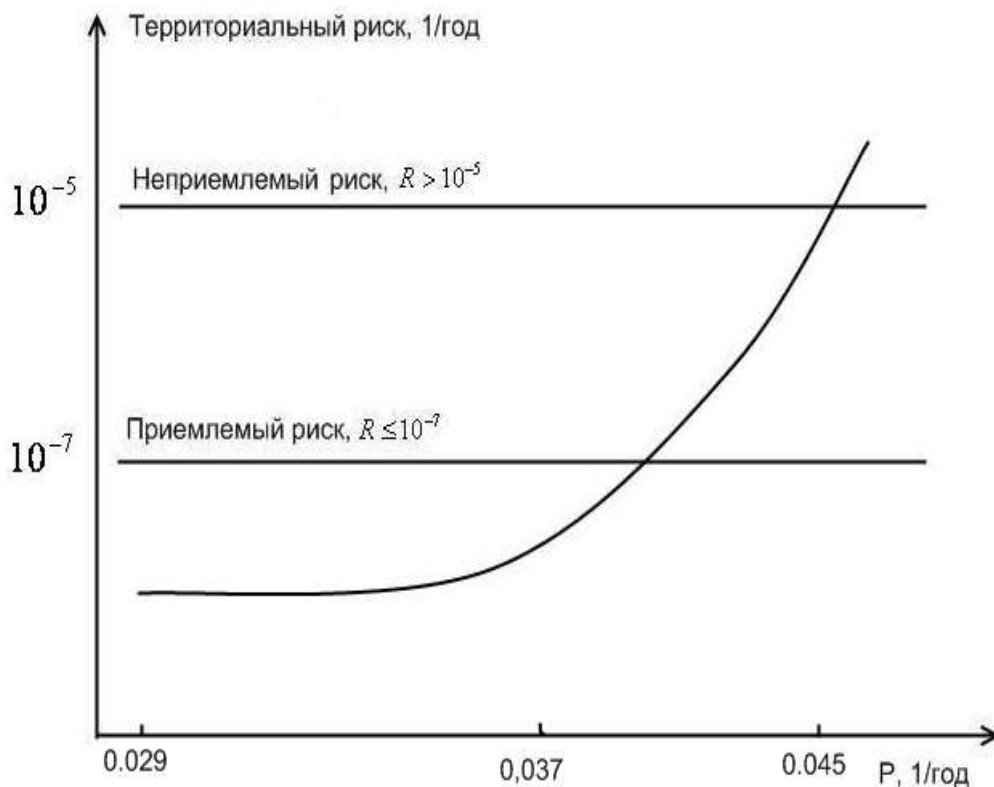
**Анализ последних исследований и публикаций.** В статье рассматривается влияние отдельных элементов опасных устройств на количественные показатели риска. Методологически статья является логическим продолжением работ [1-12] и др. В этих работах проводились аналогичные исследования. Имеется опыт и программные средства для их проведения. Так, в области моделирования аварий и чрезвычайных ситуаций начато создание специализированных языков имитационного моделирования [1]. Такой подход делает достижимым решение многих задач. С его помощью были построены обобщенные имитационные модели объектов повышенной опасности (ОПО), сориентированные на оценку опасности этих объектов для людей и окружающей среды [2-16]. В [3] разработаны языковые средства для оценки опасности ОПО, называемой идентификацией. В [4] подход моделирования с помощью специализированного языка применен к прогнозированию последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах. В [5,6] аналогичный подход применен к исследованию производственных коммуникаций. В работах [7-10] в языковые средства моделирования добавлялись и использовались в модельных исследованиях средства статистики и оптимизации. В работах [11] предложен многошаговый подход к построению имитационных моделей ОПО. Данный подход и программные средства, обеспечивающие его, могут быть использованы при разработке и экспертизе декларации безопасности, а также при определении рисков и их принятых уровней для декларирования объектов повышенной опасности.

**Постановка задачи и ее решение.** Поставим задачу определить зависимость территориального риска от вероятности отказа предохранительного клапана. Величиной территориального риска называется вероятность гибели на протяжении года человека, который находится в конкретном месте пространства, от возможных источников опасности объекта повышенной опасности. Рекомендуется считать неприемлемым территориальный риск  $R > 10^{-5}$  (согласно Приказу Министерства труда и социальной политики Украины №637, территориальный риск это вероятность гибели в течении года человека, который находится в конкретном месте пространства, от возможных источников опасности объекта повышенной опасности). Предполагается, что территория находится в конкретном регионе за пределами санитарно-защитной зоны предприятия, которое имеет в своем составе хотя бы один объект повышенной опасности (городе, поселке, селе, на территории промышленной зоны предприятий). Территориальный риск, связанный с авариями на объекте повышенной опасности, рекомендуется считать абсолютно приемлемым при его уровне  $R \leq 10^{-7}$ .

Рассмотрим зависимость величины территориального риска от надежности элементов, из которых состоит отводной трубопровод, предназначенный для удаления избыточного количества опасных веществ из устройств, в которых возможно неконтролируемое повышение давления. Опасное избыточное давление может возникнуть в системе как в результате сторонних факторов (неправильная работа оборудования, передача тепла от сторонних источников, неправильно собранная тепломеханическая схема и т. д.), так и в результате внутренних физических процессов, обусловленных неким исходным событием, не предусмотренным нормальной эксплуатацией. Такой отводной трубопровод имеет в своем составе предохранительный клапан, трубопровод с коленами и прямыми участками, резервуаром для сбрасываемого вещества. Любой из элементов отводного трубопровода имеет свою надежность, которой соответствует вероятность отказа в течении года. Эта вероятность будет количественно влиять на величины индивидуального, территориального и социального рисков. Для простоты предположим, что территориальный риск полностью определяется вероятностью отказа одного из элементов отводного трубопровода. Вероятность отказа предохранительного клапана часто принимают равной 0,037 в течение года, вероятность отказа нижнего сварного шва технологического аппарата  $0,008603 \text{ год}^{-1}$ , веро-

Снижение территориального риска, связанного с объектами повышенной опасности, имеющими в своем составе оборудование с избыточным давлением

ятность отказа сварного соединения участка трубопровода и угла поворота  $0,008602782 \text{ год}^{-1}$ , отказ участка трубопровода аварийного слива  $0,00959 \text{ год}^{-1}$  и т.д. Исследуем зависимость территориального риска от вероятности отказа предохранительного клапана (т.е. проясним устойчивость территориального риска к этой характеристике). Для этого выясним зависимость территориального риска от вероятности отказа предохранительного клапана. Будем менять вероятность отказа предохранительного клапана вблизи ожидаемого значения ( $0,037$ ), т.е в пределах от  $0.029$  до  $0.045$ . Для простоты рассмотрения, в результате отказа будет происходить каскадная авария, приводящая к полному выходу опасных веществ. Используем имитационные модели производства и химического заражения, сделанные в [2], со всеми указанными там числовыми значениями. Так же используем модели защитных устройств (предохранительный клапан, элементы отводного трубопровода) из [4-6]. Результаты проведенных имитационных экспериментов дают зависимость территориального риска от вероятности отказа предохранительного клапана показанную на рисунке.



**Рис. – Зависимость территориального риска ( $R$ ) от вероятности отказа предохранительного клапана ( $P$ )**

Тесленко А.А., Бугаев А.Ю., Олейник В.В.

**Выводы.** Корректное проведение таких исследований, покажет вклад отдельных элементов разных устройств и их параметров в важнейшие показатели безопасности. Можно говорить о понятии значимости устройств и параметров устройств для безопасности, ориентируясь прямо на территориальный социальный и индивидуальный риски. Изменяя наиболее значимые параметры, можно уменьшить значение территориального риска. Применяя средства разработанные в работах [7-10], можно эффективно проводить частичную оптимизацию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О возможности создания обобщенного языка моделирования чрезвычайной ситуации для планирования профилактической деятельности: матеріали науково-техничної конференції ["Актуальні проблеми наглядно-профілактичної діяльності МНС України"], (Харків, 19 грудня 2007р.) - Х. : М-во України НС та справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи УЦЗУ, 2007. – С. 60-62
2. Тесленко А.А. К вопросу использования имитационного моделирования прогнозирования последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах. /В.В.Олійник, О.П.Михайлюк //Проблеми надзвичайних ситуацій. -2008. – №8. – С.194-198.
3. Тесленко О.О. Досвід застосування імітаційного моделювання до ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки [текст]./ О.О. Тесленко, В.В.Олійник, О.П.Михайлюк // Проблеми надзвичайних ситуацій. Сб. науч. тр. УЦЗУ. – Харьков 2008. – № 7. – С.139-144.
4. Тесленко А.А. К вопросу использования имитационного моделирования прогнозирования последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах[текст]. /В.В.Олійник, О.П.Михайлюк //Проблеми надзвичайних ситуацій. Сб. науч. тр. УЦЗУ. Харьков. -2008. – №8. – С.194-198.
5. Тесленко А.А. Защита производственных коммуникаций[текст]./ А.Ю. Бугаёв, Б.И. Погребняк// Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". ХНАГХ ,Харьков.-2011.- № 99.- С.157-160.

6. Тесленко А.А. Защита производственных коммуникаций. ["Безпека життєдіяльності в навколишньому та виробничому середовищі"], (Харків, 20 лютого 2011р.) / А.А. Тесленко, Б.И. Погребняк - Х. : ХНАМГ, 2011.- С.81-82.
7. Тесленко А.А. Метод мультистарта при поиске экстремума в задаче взрывобезопасности: матеріали науково-технічної конференції ["Актуальні проблеми наглядно-профілактичної діяльності МНС України"], (Харків 16 грудня 2009 р.) / А.А. Тесленко Х. : УЦЗУ, 2009. - С.131-132.
8. Тесленко А.А. К вопросу об оптимизации параметров и структуры объектов повышенной опасности методами специализированного языка моделирования[текст]./ А.А. Тесленко, С.А. Дудак // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. К. Техника. -2009.- № 90. - С.487-491.
9. Тесленко А.А. Оптимизация технологического процесса с точки зрения его взрывобезопасности: международная научно-практическая конференция ["Пожарная безопасность: проблемы и перспективы"], (Воронеж, 20 вересня 2010) / А.А. Тесленко, С.А. Дудак. - В. : Воронежский институт Государственной противопожарной службы. 2010. – 547с.
10. Тесленко А.А. Методы имитационного моделирования при оценке опасности техногенных объектов: международная научно-практическая конференция ["Пожарная безопасность: проблемы и перспективы"], (Воронеж, 20 сентября 2010) / А.А. Тесленко, В.В.Олійник.- В. : Воронежский институт Государственной противопожарной службы г.Воронеж. 2010. – 547с.
11. Тесленко А.А. Четырехшаговый подход к оценке опасности объектов[текст]. / А.А. Тесленко, А.Ю. Бугаёв, А.Б. Костенко // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". Харьков. ХНАГХ. - 2011.- № 99.- С.135-140.
12. Тесленко А.А. Modeling for emergency – Создание и исследование модели производства [электронный ресурс] - режим доступа //<http://www.emergencemodeling.narod.ru/> - Modeling for emergency.



Тесленко О.О., Бугайов А. Ю., Олейник В.В.

**Зниження територіального ризику, пов'язаного з об'єктами підвищеної небезпеки, що мають в своєму складі устаткування з надлишковим тиском**

Розглянуті способи визначення шляхів зниження територіального ризику за допомогою оптимізації параметрів, що визначають надійність захисних пристроїв устаткування, що знаходиться під надлишковим тиском. Параметри надійності захисних пристроїв пропонується оптимізувати в ході імітаційних експериментів. Знайдені рішення дозволяють звести проблему зниження ризику і впевненості в правильності знайдених рішень к рівню деталістості і точності розробки імітаційних моделей об'єктів підвищеної небезпеки.

**Ключові слова:** територіальний ризик, модель, оптимізація, безпека, об'єкт підвищеної небезпеки

Teslenko A.A., Bugaev A.U., Oleynik V.V

**Decline of territorial risk, related to the objects of enhanceable danger, which have in the composition an equipment with surplus pressure**

The methods of determination of ways of decline of territorial risk are considered by means of optimization of parameters, determining reliability of protective devices of equipment, being under surplus pressure. It is suggested to optimize the parameters of reliability of protective devices during imitation experiments. The found decisions allow to take the problem of decline of risks and confidence in the rightness of the found decisions to the level of detailed and exactness of development of simulation models of objects of enhanceable.

**Key words:** territorial risk, model, optimization, fire, emergency drain, drain options

УДК 621.395

*Фещенко А.Б., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,  
Загора О.В., канд. техн. наук, ст. викл., НУЦЗУ,  
Селеєнко Е.Е., ст. викл., НУЦЗУ*

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ЧАСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРИ ОЦІНЦІ ДІЙ ДИСПЕТЧЕРА**

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

Запропоновано використання часткового випадку бета-розподілу для оцінки часового інтервалу виконання функціональних задач особовим складом оперативно-диспетчерської служби МНС по оцінюванню обстановки в осередку надзвичайної ситуації. Отримано аналітичні вирази та визначено переваги запропонованого розподілу.

**Ключові слова:** диспетчер, оперативна обстановка, ймовірнісна оцінка часу прийняття управлінських рішень

**Постановка проблеми.** Результати досліджень діяльності операторів Служби порятунку населення – оперативно-диспетчерської служби (ОДС) МНС України по оцінці оперативної обстановки (ОО) надзвичайних ситуацій (НС), і прийняття управлінських розв'язків по їхній ліквідації, свідчать про необхідність удосконалення інформаційних моделей (ІМ) ОО індивідуальних і колективних засобів відображення інформації. При цьому час на інформаційний пошук і сприйняття основних і допоміжних ознак ІМ ОО являє собою випадкову функцію, яка залежить від складності ОО, особистих психофізіологічних якостей операторів ОДС і якості інформаційного забезпечення діяльності ОДС. Тому вибір законів розподілу інтервалів часу ухвалення рішення диспетчерами ОДС є актуальним завданням для моделювання й оцінки якості виконання функціональних завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Діяльність операторів у складних інформаційних системах, досить повно досліджена в ряді робіт, присвячених проблематиці ергономіки й інженерної психології [1-4]. Згадані роботи дозволяють одержати формалізовані описи вирішення функціональних завдань операторами ОДС. Крім того, у роботі [4] запропоновано виділити основні й допоміжні дії операторів ОДС у процесі сприйняття й оцінки інформації, а також отримані аналітичні вираження для оцінок

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

тимчасових характеристик процесу інформаційного пошуку. Відкритими й недостатньо розглянутими є питання по обґрунтуванню вибору закону розподілу часу виконання основних функціональних операцій оцінки ОО диспетчерами ОДС.

**Постановка завдання та його вирішення.** Розглядається процес діяльності оператора ОДС щодо оцінки ОО НС у часі. Складові даного процесу, а саме сприйняття інформації про НС, її ототожнення з апіорними даними, узагальнення ОО, підготовка й прийняття управлінських рішень, а також постановка завдань підлеглим підрозділам МНС обмежуються часовим інтервалом  $[t_{\min}, t_{\max}]$ . Нижня границя –  $t_{\min}$  обумовлена часом одержання вхідної інформації про НС від джерел (заявників, рятувальників і т.п.), верхня границя –  $t_{\max}$  визначається часом доведення розпоряджень і усвідомлення отриманих завдань підлеглими підрозділами МНС. Необхідно визначити вид закону розподілу часу виконання операцій оцінки ОО, який дозволяє із припустимою точністю одержувати оцінки для аналізу діяльності ОДС.

Спостереження за діяльністю операторів ОДС свідчать, що розподілу випадкових значень часу вирішення ними завдань при роботі з НИХ, як правило, є обмеженими, унімодальними й несиметричними.

Обмеження розподілу часу знизу ( $t_1$ ) обумовлене тим, що складові часу виконання окремих функціональних операцій оцінки ОО обов'язково мають кінцеві значення. Внаслідок чого величина проміжку  $\tau$ , який характеризує інтервал часу виконання функціональної операції, не може бути менше деякого мінімального гранично можливого значення. Обмеження розподілу часу понад ( $t_2$ ) впливає з того, що ОО оцінюється досвідченим, спеціально підготовленим фахівцем предметної області, який володіє апіорними знаннями й має достатній рівень підготовки.

Практика ергономічних досліджень свідчить, що одні й ті самі дослідницькі розподіли часу розв'язку завдань можуть бути апроксимовані різними законами розподілу ймовірностей.

Найпоширенішим є використання усіченого нормального розподілу ймовірностей часу виконання робіт виду ( $t_n$  й  $\sigma_n^2$  математичне очікування й дисперсія вихідного (не усіченого) нормального розподілу;  $t_1$  – мінімальний час розв'язку завдання;  $C$  – множник, що нормує)

$$f(\tau) = \begin{cases} \frac{C}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2}} \exp\left\{-\frac{(\tau-t_n)^2}{2\sigma_n^2}\right\} & , \text{при } \tau \geq t_1; \\ 0 & , \text{при } \tau < t_1. \end{cases} \quad (1)$$

Також існує точка зору, згідно з якою час розв'язку завдання підкоряється закону Пірсона (типу  $\chi^2$ ), а також – закону Ерланга.

Ці закони є частковими випадками гама-розподілу, який має вигляд

$$f(\tau) = \begin{cases} \frac{\alpha^\nu}{\Gamma(\nu)} (\tau-t_1)^{\nu-1} \exp\{-\alpha(\tau-t_1)\} & , \text{при } \tau \geq t_1; \\ 0 & , \text{при } \tau < t_1, \end{cases} \quad (2)$$

де  $\nu$  – параметр форми;  $\alpha$  – параметр масштабу;  $t_1$  – параметр зрушення;  $M(\tau) = \frac{\nu}{\alpha}$  – математичне очікування;  $D(\tau) = \frac{\nu}{\alpha^2}$  – дисперсія; ( $\alpha > 0$ ), ( $\tau > 0$ );  $\Gamma(\nu) = \int_0^\infty Z^{\nu-1} e^{-z} dz$  – гама-функція Ейлера.

Із практичної точки зору, малоімовірним є припущення, що вирішення завдання відбудеться за час, який наближається до значення  $t_1$ . Опіраючись на це, більш доцільний вибір розподілу (2).

Крім розподілів ймовірностей (1) і (2) у ході проведення досліджень були висунуті й перевірені ще дві гіпотези. Відповідно першої - розподіл підкоряється логарифмічно - нормальному закону й має такий вигляд

$$f(\tau) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(\tau-t_1)}} \exp\left\{-\ln(\tau-t_1) - m^2 \frac{1}{2\sigma^2}\right\} & , \text{при } \tau \geq t_1; \\ 0 & , \text{при } \tau < t_1, \end{cases} \quad (3)$$

де  $m = m_x^2 \sqrt{\frac{1}{\sigma_x^2 + m_x^2}}$ ,  $\sigma = \sqrt{2 \ln \frac{m_x}{m}}$ ,  $m_x$  і  $\sigma_x$  – параметри нормального розподілу.

Для такого випадку, крім значень  $t_1$  і  $t_2$  необхідно мати в наявності апріорну інформацію про інших параметрах, які складно оцінити.

Друга гіпотеза – бета-розподіл, щільність імовірності якого задається вираженням

$$f(\tau) = \begin{cases} (\tau - t_1)^m (t_2 - \tau)^n C & , \text{при } \tau > t_1, \tau < t_2; \\ 0 & , \text{при } \tau \leq t_1, \tau \geq t_2, \end{cases} \quad (4)$$

де  $t_1$  й  $t_2$  – границі області розподілу випадкової величини;  $m$  і  $n$  – показники ступеня ( $m > -1$ ,  $n > -1$ );  $C$  – множник, що нормує.

Для завдання, яке розглядається найбільш доцільне використання часткового випадку розподілу ймовірностей (4), при яким зниження точності оцінок несуттєво

$$f(\tau) = \begin{cases} \frac{12}{(t_2 - t_1)^4} (\tau - t_1)(t_2 - \tau)^2 & , \text{при } \tau > t_1, \tau < t_2; \\ 0 & , \text{при } \tau \leq t_1, \tau \geq t_2. \end{cases} \quad (5)$$

Математичне очікування часу розв'язку завдань оператором  $M(\tau)$  і дисперсія  $D(\tau)$  при цьому становлять

$$M(\tau) = \frac{3t_1 + 2t_2}{5}, \quad D(\tau) = 0,04(t_2 - t_1)^2. \quad (6)$$

Істотною перевагою даного розподілу ймовірностей є те, що для оцінки параметрів розподілу досить мати в наявності лише інформацію про  $t_1$  й  $t_2$ .

Правомірність використання даного розподілу ймовірностей підтверджують результати моделювання. Розрахунки вибраного розподілу часу розв'язку оператором ОДС інформаційних завдань

рівнялися з теоретичними розподілами (1-4). Узгодження розподілів з емпіричними оцінювалося за критерієм Пірсона –  $\chi^2$ . Імовірності узгодження теоретичних розподілів з вибраними дуже близькі й мають відповідно наступні значення: для усіченого нормального - 0,4; для логарифмічно нормального - 0,3; для бета розподілу - 0,35; для гама розподілу - 0,4.

Такий результат дозволяє використовувати при дослідженні діяльності оператора ОДС при оцінці ОО розподіл ймовірностей (5), а для орієнтовної оцінки математичного очікування часу розв'язку інформаційних завдань – вираження (6). На користь запропонованого розв'язку також свідчить наступний результат. Порівняння оцінок часу розв'язку інформаційних завдань показує, що при рівні 0,9 максимальна погрішність у визначенні  $t_{0,9}$  для проаналізованих теоретичних розподілів у середньому становить не більш ніж  $\Delta t_{0,9} = 0,04t_{0,9}$ .

У практичному аспекті, використання запропонованих виражень дозволяє одержати оцінки середнього часу розв'язку основних і допоміжних завдань операторами ОДС у процесі оцінки ОО при виникненні НС.

**Висновки.** У результаті, для одержання значень математичного очікування часу вирішення завдань по оцінці ОО диспетчером ОДС при виникненні НС і часу розв'язку допоміжних завдань достатньо встановлення мінімального й максимального їх значень. з використанням запропонованого часткового випадку бета – розподілу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Душков Б.А., Инженерно-психологические основы конструкторской деятельности. / Душков Б.А., Смирнов Б.А., Терехов В.А. – Москва: Высшая школа, 1990. – 270 с.
2. Організація управління у військово-технічних системах. / [Пятков Ю.П., Борозенець І.О., Войтович С.А., Романенко І.О.] – Харків: Харківський університет повітряних сил, 2009. – 239 с.
3. Дж. О'Брайен Человеческий фактор. В 6-ти тт. Т. 4. Эргономическое проектирование деятельности и систем. / Дж. О'Брайен, Х. Ван Котт, Дж. Векер., пер. с англ. – Москва : Мир, 1991. – 495 с.
4. Шило С.Г., Модель оцінки оперативної обстановки надзвичайної ситуації оперативно-диспетчерською службою МНС. /

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

Шило С.Г., Борозенець І.О., Фещенко А.Б. // Збірник наукових праць.. Вип. 9. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2009. с.170 - 176.

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

**Обоснование выбора закона распределения времени принятия решения при оценке действий диспетчера**

Предложено использование частного случая бета - распределения для оценки временного интервала выполнения функциональных задач личным составом оперативно-диспетчерской службы МЧС по оцениванию обстановки в районе чрезвычайной ситуации. Получены аналитические выражения и определены преимущества предложенного распределения.

**Ключевые слова:** диспетчер, оперативная обстановка, вероятностная оценка времени принятия управленческих решений

Feshchenko A.B., Zakora A.V., Selyenko A.A.

**Ground of choice of law of distribution of time of decision-making at the estimation of actions of controller**

The use of the special case offers beta - distribution for the estimation of temporal interval of implementation of functional tasks the personnel of operatively-controller's serving of Ministry of emergencies on the evaluation of situation in the district of emergency. Analytical expressions are got and advantages of an offer distribution are certain.

**Key words:** controller, operative situation, probabilistic estimation of time of acceptance of administrative decisions

УДК 621.397:681.32

*Фещенко А.Б., канд. техн. наук, ст. преп., НУГЗУ,  
Селеенко Е.Е., ст. преп., НУГЗУ,  
Загора А.В., канд. техн. наук, ст. преп., НУГЗУ*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ОТКЛИКОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРЕДМЕТОВ**

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

Показано, что для наиболее полной реализации возможностей радиолокационного метода при решении задач гуманитарного разминирования необходимо создание базы радиолокационных «портретов» взрывоопасных предметов. Приведены результаты математического моделирования частотных откликов (радиолокационных «портретов») диэлектрических взрывоопасных предметов.

**Ключевые слова:** радиолокационный «портрет», взрывоопасные предметы

**Постановка проблемы.** Анализ основных существующих электромагнитных методов зондирования взрывоопасных предметов (ВП) в укрывающих средах показал, что для решения задач гуманитарного разминирования, в первую очередь присущих спецподразделениям МЧС, наиболее перспективным является радиолокационный метод. Данное утверждение базируется на способности метода к обнаружению любых ВП (металлы, пластмассы и др.) в грунте и на его поверхности, а также принципиальной возможности распознавания (формы, размеров, материала и др.) обнаруженных объектов.

Процессы обнаружения и, особенно, распознавания ВП заключаются в сравнении электромагнитных откликов от объектов, расположенных в укрывающих средах, с радиолокационным «портретом» ВП, полученным априорно [1]. Чем больше таких «портретов», тем выше вероятность правильного обнаружения. Отсюда следует необходимость формирования базы радиолокационных «портретов» ВП.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Обнаружение и идентификация ВП, в частности, мин различных типов, устанавливаемых в почву, сопряжены с рядом трудностей



[2,3]. Во-первых, сигнал, отраженный миной, принимается на фоне мощного отклика от границы раздела «воздух-почва». Во-вторых, задача усложняется непостоянством физических характеристик различных грунтов. Наиболее важными из них являются влажность, плотность, диэлектрическая проницаемость и удельная проводимость почвы. В-третьих, почва является неоднородной дисперсионной средой со значительным затуханием. В-четвертых, наличие в почве посторонних предметов, таких как камни, кирпичи, остатки труб и других искусственных объектов, приводит к повышению условных вероятностей принятия ложных решений. В-пятых, ввиду того, что различие диэлектрических проницаемостей диэлектрического корпуса мины и окружающего грунта мало, амплитуда сигнала, отраженного от такой мины будет весьма мала. Обнаружить пластиковую мину гораздо сложнее, чем металлическую.

В этой связи первоочередное значение приобретает получение максимально полной информации о рассеивающих свойствах ВП, о том, как эти свойства зависят от параметров грунта, глубины залегания в грунте, от типа и расположения ВП. Для получения априорной информации о рассеивающих свойствах ВП (радиолокационных «портретов») целесообразно применение математического моделирования.

При математическом моделировании электромагнитных откликов от объектов расположенных в почве, в том числе ВП, нашли применение различные методы: метод интегральных уравнений (ИУ); метод дискретных источников; метод конечных разностей во временной области [4,5,6].

Из анализа указанных работ следует, что при решении задачи математического моделирования электромагнитных полей, рассеянных ВП, предпочтительным является метод ИУ. Метод ИУ позволяет моделировать отклики от ВП произвольной формы и изготовленных из различных материалов в достаточно широком диапазоне частот. Метод позволяет учесть дисперсионные свойства различных типов почв, а также влажность и плотность почвы.

**Постановка задачи и ее решение.** На основе математических моделей для расчета электромагнитных откликов от идеально проводящих и диэлектрических объектов произвольной формы и ориентации, рассмотренных в работах [5-6], проведем исследование частотных откликов пластиковой противопехотной мины DM11.

Моделирование амплитуды напряженности магнитного поля  $H(t)$  [А/м], рассеянного ВП, проводилось при следующих исходных данных:

- расстояние между излучающим и приемным элементами бистатического радиолокационного миноискателя в горизонтальной плоскости и их высота над поверхностью земли принимались равными 0,5 м;
- в качестве зондирующего моделировался сверхширокополосный сигнал с равномерным дискретным спектром от 100 до 1000 МГц, разнос между спектральными составляющими — 50 МГц;
- рассматривались два типа почв с различными плотностью  $\rho$  и влажностью  $W$ : серый суглинок, каштановый суглинок [7];
- при моделировании использовались данные о частотных зависимостях электрических параметров используемых типов почв, приведенные в работе;
- расстояние между поверхностью почвы и ВП предполагалось равным 6 см.

Результаты математического моделирования представлены на рис. 1.

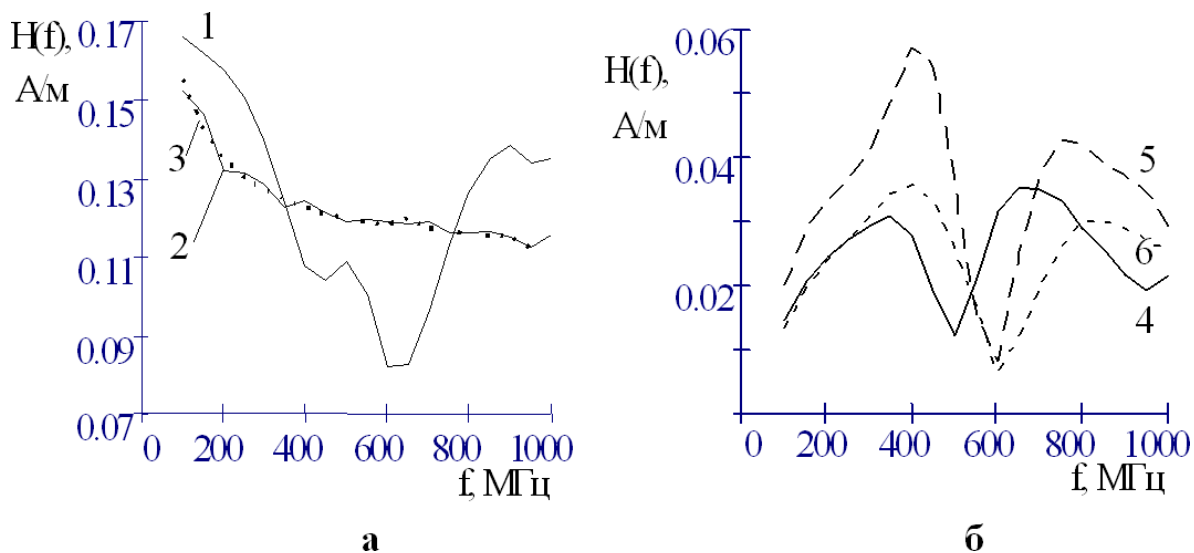


Рис. 1 – Частотные отклики пластиковой противопехотной мины DM11: а) в сером суглинке; б) в каштановом суглинке

На рис. 1а показан частотный отклик мины DM11 в сером суглинке с параметрами  $\rho = 1,2$  г/см<sup>3</sup>,  $W = 10\%$  (линия 1) и  $\rho = 1,4$  г/см<sup>3</sup>,  $W = 20\%$  (линия 2), линия 3 – отражение от поверхно-

сти почвы. На рис. 1б изображены частотные отклики от DM11 в каштановом суглинке с параметрами  $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$ ,  $W = 10\%$  (линия 4) и  $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$ ,  $W = 20\%$  (линия 5), линия 6 – отражение от поверхности почвы.

**Выводы.** Проведенное моделирование частотных откликов пластиковой противопехотной мины DM11 является очередным шагом на пути создания базы радиолокационных «портретов» ВП. Результаты, полученные в ходе моделирования, целесообразно использовать при создании алгоритмов обнаружения и идентификации ВП. Это, в свою очередь, позволит наиболее полно реализовать возможности радиолокационного метода при создании дистанционных систем поиска ВП, находящихся в толще укрывающих сред. Учет полученных результатов позволит повысить условную вероятность правильного обнаружения, что особенно актуально при разведке неметаллических ВП (пластиковых или бескорпусных мин) и, как следствие, повысит эффективность предотвращения чрезвычайных ситуаций военного характера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Теория и техника генерирования, излучения и приема радиолокационных сигналов. / Под ред. Ю.Н. Седышева. – ВирТА, 1986. — 650 с.
2. Сугак В. Г. Оценка разрешения по глубине при подповерхностном зондировании // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т.3, №2. – С.130-136.
3. Васильев И.А., Геннадиева Е.Г., Ивашов С.И., Макаренков В.И., Метальников В.М., Разевиг В.В., Саблин В.Н., Шейко А.П. Многочастотный СВЧ-датчик для обнаружения мин // Радиотехника (г. Москва). – 1999. – № 2. – С. 49-52.
4. Колтон Д., Кресс Р. Методы интегральных уравнений в теории рассеяния: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 311 с.
5. Еремин Ю. А., Свешников А. Г. Метод дискретных источников в задачах электромагнитной дифракции. – М.: МГУ, 1992. – 182 с.
6. Сухаревский О. И., Залевский Г. С. Рассеяние электромагнитных волн подповерхностными объектами резонансных размеров // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т. 3, № 1. – С. 37-42.

7. Хипп Дж. Зависимость электромагнитных характеристик почвы от влажности, плотности почвы и частоты // ТИИЭР. – 1974. – Т. 62., № 1. С. 122–127.

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

**Математичне моделювання електромагнітних відгуків діелектричних вибухонебезпечних предметів**

Показано, що для найбільш повної реалізації можливостей радіолокаційного методу при вирішенні завдань гуманітарного розмінування необхідно створення бази радіолокаційних «портретів» вибухонебезпечних предметів. Наведено результати математичного моделювання частотних відгуків (радіолокаційних «портретів») діелектричних вибухонебезпечних предметів.

**Ключові слова:** радіолокаційний «портрет», вибухонебезпечні предмети

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

**Mathematical modeling of electromagnetic response of dielectric explosive objects**

It is shown that to achieve the full realization of the potential of the radar method when solving the tasks of humanitarian demining is necessary to create a base of radar «portraits» of explosive objects. Results are given of mathematical modeling of frequency response (radar «portraits») dielectric explosive objects.

**Key words:** radar «portrait», explosive the subjects

*Чапля Ю.С., ад'юнкт, НУГЗУ,  
Соболь А.Н., д-р техн. наук, нач. каф., НУГЗУ,  
Волков С.В., канд. психол. наук, зам. нач. фак., НУГЗУ*

## **МОДЕЛЬ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПОСТОВ МОНИТОРИНГА ДЛЯ СВОЕВРЕМЕННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НАВОДНЕНИЙ**

(представлено д-ром техн. наук Лариным А.Н.)

В работе приведена модель рационального размещения постов мониторинга для своевременного обнаружения наводнений, а также рассмотрен подход к построению поверхности, которая описывает уровень подъема воды в пределах заданной области

**Ключевые слова:** наводнение, рациональное размещение постов мониторинга, модель

**Постановка проблемы.** На сегодняшний день по повторяемости, площади распространения и убыткам наводнения занимают одно из первых мест среди стихийных бедствий. Особенностью наводнений, как и некоторых других чрезвычайных ситуаций природного характера, является то, что предупредить их практически невозможно. Вместе с тем, своевременное обнаружение развития данных опасных явлений, 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. Таким образом, существует актуальная научно-прикладная проблема своевременного обнаружения наводнений с целью снижения негативных последствий данных явлений. Одной из задач, направленных на решение указанной проблемы, является рациональное размещение постов мониторинга для обнаружения наводнений.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ современных публикаций по рассматриваемой проблематике [1-9] 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 ме-

---

Модель рационального размещения постов мониторинга  
для своевременного обнаружения наводнений

роприятий, 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 наводнений, что подтверждает актуальность сформулированной проблемы. Также следует отметить, что анализ литературных источников не выявил разработанных моделей рационального размещения постов мониторинга для своевременного обнаружения наводнений. Постановка задачи предупреждения и ликвидации последствий наводнений гидродинамической чрезвычайной ситуации ландшафтного типа приведена в работе [10].

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является разработка модели рационального размещения постов мониторинга для своевременного обнаружения наводнений.

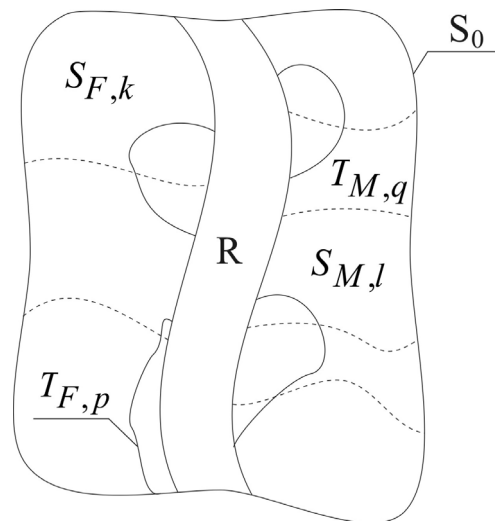


Рис. 1 – Область размещения постов мониторинга

Рассмотрим участок реки  $R$ . Обнаружение наводнений на территории  $S_0$ , прилегающей к  $R$  (рис. 1), будет проводиться при помощи стационарных автоматических постов мониторинга  $F_{R,i}$ ,  $i = 1, \dots, N'$ , а также при помощи передвижных постов мониторинга  $M_{R,j}$ ,  $j = 1, \dots, N''$ . Следует отметить, что территория  $S_0$  состоит из областей допустимых размещений постов мониторинга  $S_{F,k}$ ,  $k = 1, \dots, N_F$ ,  $S_{M,l}$ ,  $l = 1, \dots, N_M$ , а также из областей запрета на размещение  $T_{F,p}$ ,  $p = 1, \dots, N'_F$ ,  $T_{M,q}$ ,  $q = 1, \dots, N'_M$ . Иначе говоря

$$\left( \bigcup_{k=1}^{N_F} S_{F,k} \right) \cup \left( \bigcup_{p=1}^{N'_F} T_{F,p} \right) = S_0; \quad (1)$$

$$\left( \bigcup_{l=1}^{N_M} S_{M,l} \right) \cup \left( \bigcup_{q=1}^{N'_M} T_{M,q} \right) = S_0. \quad (2)$$

Также необходимо учитывать, что в общем случае

$$\left( \bigcup_{k=1}^{N_F} S_{F,k} \right) \cap \left( \bigcup_{l=1}^{N_M} S_{M,l} \right) \neq \emptyset; \quad (3)$$

$$\left( \bigcup_{k=1}^{N_F} S_{F,k} \right) \cup \left( \bigcup_{l=1}^{N_M} S_{M,l} \right) \neq S_0; \quad (4)$$

$$\left( \bigcup_{p=1}^{N'_F} T_{F,p} \right) \cap \left( \bigcup_{q=1}^{N'_M} T_{M,q} \right) \neq \emptyset; \quad (5)$$

$$\left( \bigcup_{p=1}^{N'_F} T_{F,p} \right) \cup \left( \bigcup_{q=1}^{N'_M} T_{M,q} \right) \neq S_0. \quad (6)$$

Пусть задано множество «сценариев» развития наводнений (имеющаяся статистическая информация), которые представим в виде функций, которые описывают уровень подъема воды в пределах  $S_0$

$$W_r = W_r(x, y); \quad r = 1, \dots, N_r; \quad (7)$$

где  $N_r$  - количество «сценариев».

Таким образом, необходимо определить минимальное количество постов мониторинга  $N = N' + N''$ , которые обеспечат адекватное описание «сценариев» развития наводнений. Следовательно, модель рационального размещения постов мониторинга будет иметь следующий вид

$$\min_Z N, \quad (8)$$

где  $Z$

$$F_{R,i}(x_i, y_i) \in S_{F,k}; F_{R,i}(x_i, y_i) \notin T_{F,p}; \quad (9)$$

$$i = 1, \dots, N'; k = 1, \dots, N_F; p = 1, \dots, N'_F;$$

$$M_{R,j}(x_j, y_j) \in S_{M,l}; M_{R,j}(x_j, y_j) \in T_{M,q}; \quad (10)$$

$$j = 1, \dots, N''; l = 1, \dots, N_M; q = 1, \dots, N'_M;$$

$$\forall (x, y) \in S_0: |W'_r(x, y) - W_r(x, y)| \rightarrow \min; r = 1, \dots, N_r; \quad (11)$$

$$Q \left( \sum_{i=1}^{N'} F_{R,i} + \sum_{i=1}^{N''} M_{R,j} \right) \leq Q^*. \quad (12)$$

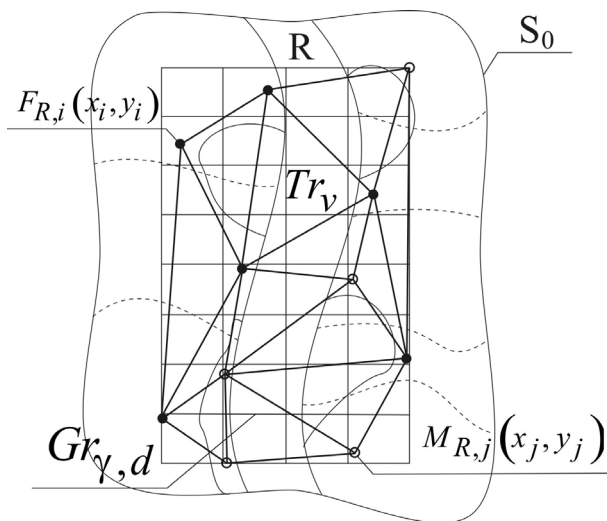


Рис. 2 – Формирование регулярной сети для построения поверхности  $W'_r(x, y)$

Следует отметить, что в модели (8-12)  $W'_r(x, y)$  - функции, которые описывают уровень подъема воды и построенные по информации от постов мониторинга;  $Q(\cdot)$  - функция, позволяющая определить стоимость содержания автоматических и передвижных постов мониторинга;  $Q^*$  - выделяемые ресурсы на содержание постов мониторинга.



Очевидно, что в результате решения задачи сеть постов мониторинга, в общем случае, будет нерегулярной. В связи с этим, предлагается следующий подход к построению поверхности  $W'_r(x, y)$ , описывающей уровень подъема воды в пределах  $S_0$  и удовлетворяющей условию (11).

Прежде всего, используя триангуляцию Делоне [11], формируется треугольная сеть постов мониторинга (рис. 2).

Затем, через вершины треугольников  $Tr_v$ ,  $v = 1, 2, \dots$ , проводятся плоскости  $A_v x + B_v y + C_v z + D_v = 0$ . Для формирования гладкой поверхности  $W'_r(x, y)$  необходимо преобразовать нерегулярную треугольную сеть в регулярную прямоугольную  $Gr_\gamma$ . Значения в узлах данной сети определяются из вышеприведенных уравнений плоскостей. Уменьшение габаритов ячеек регулярной сети  $Gr_{\gamma, d}$ ,  $d = 1, 2, \dots$ , осуществляется до тех пор, пока не будет выполнено условие

$$\forall (x, y) \in Gr_\gamma: \Delta = \frac{|W'_{r, \gamma}(x, y) - W'_{r, \gamma-1}(x, y)|}{W'_{r, \gamma-1}(x, y)} \leq \varepsilon, \quad (13)$$

где  $Gr_\gamma$  - текущая сеть;  $W'_{r, \gamma}(x, y)$  - поверхность, построенная при помощи сети  $Gr_\gamma$ ;  $W'_{r, \gamma-1}(x, y)$  - поверхность, построенная при помощи сети  $Gr_{\gamma-1}$ ;  $\varepsilon$  - заданная погрешность.

Таким образом, если построенная поверхность  $W'_r(x, y)$  удовлетворяет условию (11), то данное размещение постов мониторинга является допустимым. В противном случае, выполняется перестроение сети постов мониторинга с учетом ограничений (9-12).

**Выводы.** В данной работе приведена модель рационального размещения автоматических и передвижных постов мониторинга для своевременного обнаружения наводнений, а также разработан подход к построению поверхности, которая описывает уровень подъема воды в пределах заданной области. Дальнейшие исследования будут направлены на создание метода решения задачи своевременного обнаружения наводнений.

---

**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. - 2001. - № 4. - С. 291-302.
3. Авакян А.Б. Природные и антропогенные причины наводнений. / Авакян А.Б. // Основы Безопасности Жизнедеятельности. - 2001. - № 9. - С. 22-27.
4. Коронкевич Н.И. Катастрофические затопления / Н.И. Коронкевич, Л.К. Малик, Е.А. Барабанова // Военные знания (библиотечка «ВЗ»). – 1998. - №10. – С. 34-42.
5. Субботин А.С. Основы гидротехники / А.С. Субботин. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 368 с.
6. Инженерное обеспечение предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при наводнениях (Учебное пособие) / [Тарабаев Ю.Н., Зотов Ю.М., Чагаев В.П., Шульгин В.Н.]. – Новогорск: Академия гражданской защиты МЧС России, 2000. – 242 с.
7. Кочетков К.Е. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 1. / К.Е. Кочетков, В.А. Котляревский, А.В. Забегаев. М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 1995. – 168 с.
8. Калустян Э.С. Статистика и причины аварий плотин / Э.С. Калустян // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - №3. – 1997. – С. 12-18.
9. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах / Р.А. Нежиховский. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 184 с.
10. Чапля Ю.С. Постановка задачи предупреждения и ликвидации последствий гидродинамической чрезвычайной ситуации ландшафтного типа / Ю.С. Чапля, А.Н. Соболев // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. Вип. 15 – Харків: НУЦЗУ, 2012. – С. 213-224.
11. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение / А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.

Чапля Ю.С., Соболев О.М., Волков С.В.

**Модель рационального размещения постів моніторингу для своєчасного виявлення повеней**

В роботі наведена модель раціонального розміщення постів моніторингу для своєчасного виявлення повеней, а також розглянуто підхід до побудови поверхні, що описує рівень підйому води в межах заданої області

**Ключові слова:** повинь, раціональне розміщення постів моніторингу, модель

Chaplya Yu.S., Sobol A.N., Volkov S.V.

**The model of rational placement of monitoring posts for timely discovering the floods**

In this paper the model of rational placement of monitoring posts for timely discovering the floods is given. Also, the method of construction surface for describing level of growth water in frontiers of area is shown.

**Key words:** flood, rational placement of monitoring posts, model

**УДК 504.5:665.6**

*Чуб И.А., д-р техн. наук, нач. каф., НУГЗУ,  
Неронов А.А., нач. отделения, НУГЗУ*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ НЕФТИ ПРИ АВАРИЯХ  
НА ТРУБОПРОВОДАХ**

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

Определяется зависимость потерь на фильтрацию в грунт при аварийном разливе нефти с различными значениями ее вязкости

**Ключевые слова:** аварийный разлив нефти, потери нефти на фильтрацию в грунт, вязкость нефти

**Постановка проблемы.** Чрезвычайные ситуации (ЧС), связанных с аварийными разливами нефти (АРН), приводят, как правило, к тяжелым экологическим последствиям и значительным экономическим потерям. Успешной ликвидации таких ЧС препятствует недостаточная разработка эффективных методов оценки параметров АРН и расчета ущерба от них. 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 особенностей подстилающей поверхности, а также потерь нефти в зависимости от ее вязкости и свойств грунтов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известен ряд публикаций [1–4], в которых рассматриваются различные вопросы анализа и моделирования ЧС с аварийными разливами нефти (АРН) на суше. Недостатками указанных подходов является общий характер рекомендаций, не учитывающих физические характеристики нефти, свойства подстилающих поверхностей, влияющие на особенности формирования и динамики нефтяного пятна и уровень потерь нефти при авариях.

**Постановка задачи и ее решение.** В соответствии с вышесказанным, *целью статьи* является моделирование величины потерь при АРН с учетом процессов фильтрации нефти в грунт и сбора разлившейся нефти в зависимости от характеристик нефти и свойств грунта. 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 и характеристиками подстилающей поверхности. Способы определения объемов аварийного истечения нефти из трубопровода при различных режимах были проанализированы в работе [5]

Необходимо оценить суммарные потери нефти с учетом инфильтрации в грунт и сбора разлившейся нефти при различных значениях ее вязкости. Моделировалось истечение нефти из отверстия с постоянным объемным расходом  $Q = \text{const}$ , однако результаты моделирования допускают распространение на случай  $Q = Q(t)$ .

Как показано в [6], при разливе нефти по горизонтальной твердой подстилающей поверхности зона загрязнения имеет форму, близкую к круговой. Формула для вычисления радиуса  $R$  нефтяного пятна на момент времени  $t$  после аварии при непрерывном истечении с объемным расходом  $Q = \text{const}$  имеет вид

$$R = 2.358 K_{II} Q^{0.333} \nu^{-0.155} t^{0.519}. \quad (1)$$

где  $Q$  – объемная скорость истечения нефтепродукта, м<sup>3</sup>/с;  $K_{II}$  – коэффициент поверхности растекания, определяющий соотношение фактического радиуса растекания по реальной поверхности и ра-

диуса растекания по идеальной поверхности;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости нефти, Ст;  $t$  – время растекания нефтяного пятна, с. Здесь время растекания равно промежутку времени с момента прорыва до ликвидации течи в трубопроводе.

Площадь разлива  $S_{РАЗЛ}$  в этом случае равна площади круга с радиусом  $R$

$$S_{РАЗЛ} = \pi R^2. \quad (2)$$

В статье [4] были определены потери нефти на инфильтрацию в грунт. Объем нефти  $V_G$ , которая впиталась в грунт, определяется свойствами грунта, размерами пятна, временем фильтрации и вычисляется по формуле

$$V_G = \frac{k_H h k \nu}{l \rho} S_{РАЗЛ} t_\phi. \quad (3)$$

где  $k_H$  – нефтеемкость грунта, %;  $h$  – высота слоя нефти на поверхности грунта, м;  $l$  – толщина пропитки грунта нефтью в направлении фильтрации ( $l = 0.4$  м [3]);  $k$  – коэффициент фильтрации грунта, м/с;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости нефти, м<sup>2</sup>/с;  $\rho$  – плотность нефти;  $t_\phi$  – время фильтрации, с.

Для различных участков пятна разлива время фильтрации различно и определяется общим временем растекания  $t$  и временем достижения и покрытия  $t_{ДОСТ}$  нефтяным потоком данного участка

$$t_\phi = t - t_{ДОСТ}, \quad (4)$$

Для определения величины  $t_{ДОСТ}$  разобьем нефтяное пятно на элементарные площадки  $S_i$  (рис. 1), соответствующие дискретным моментам времени  $\Delta t$ .

В этом случае времен фильтрации  $t_{i\phi}$  для  $i$ -ой элементарной площадки равно

$$t_{i\phi} = t - i\Delta t. \quad (5)$$

Площадь  $S_i$   $i$ -ой элементарной площадки определяется по формуле

$$S_i = \pi R_i^2 - \pi R_{i-1}^2 = \pi(R_i^2 - R_{i-1}^2). \quad (6)$$

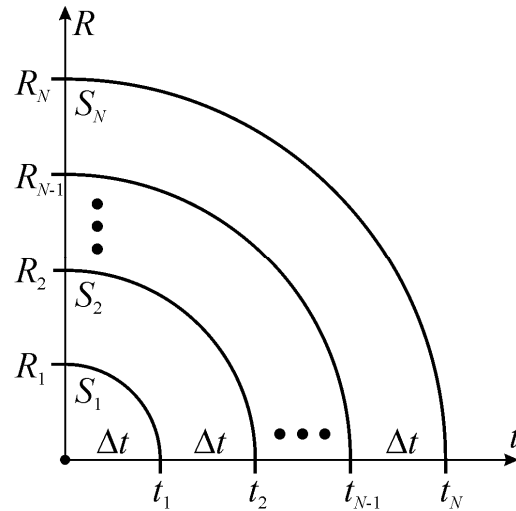


Рис. 1 – Разбиение нефтяного пятна на элементарные площадки

Толщина слоя нефти на поверхности грунта может быть оценена, исходя из соотношения

$$h = \frac{V}{S_{\text{РАЗЛ}}} = \frac{Q}{S_{\text{РАЗЛ}}} t, \quad (7)$$

где  $V$  – общий объем нефти, вытекшей из аварийного трубопровода,  $\text{м}^3$ .

Исходя из формул (1)–(7), определим объем нефти  $V_i$ , впитавшейся в грунт на каждой из элементарных площадок

$$V_{i\Gamma} = \frac{k_H h k v}{l \rho} S_i t_{i\phi}. \quad (8)$$

Тогда оценка общего объема  $V_\Gamma$  впитавшейся в грунт нефти имеет вид

$$V_\Gamma = \sum_{i=1}^N V_{i\Gamma}, \quad (9)$$

Как видно из формул (8), (9), величина  $V_\Gamma$  зависит от времени растекания  $t$ , характеристик нефти (кинематический коэффициент

ент вязкости  $\nu$ ), свойств грунта (нефтеёмкость  $k_H$  и коэффициент фильтрации  $k$ ).

После обнаружения утечки нефти из трубопровода и прибытия к месту АРН аварийно-ремонтной бригады выполняются работы по устранению течи (конкретизация времени разлива  $t$ ) и локализации разлива (конкретизация  $S_{РАЗЛ}$ ). В результате локализации реальная площадь нефтяного пятна может быть меньше, чем  $S_{РАЗЛ}$ , определенная по формуле (2).

Одновременно с устранением течи и локализацией разлива осуществляется сбор нефти с грунта, что уменьшает ее потери. Эффективность этого процесса характеризуется коэффициентом сбора нефти [3]

$$K_{CB} = \frac{V - V_{ПОТ}}{V}, \quad (9)$$

где  $V_{ПОТ}$  – общий объем потерь нефти.

Очевидно, что впитавшаяся в грунт нефть является безвозвратно потерянной, поэтому верхней оценкой  $K_{CB}$  (без учета потерь нефти на испарение) является величина

$$K_{CB}^* = \frac{V - V_{Г}}{V},$$

полученная в предположении, что вся не впитавшаяся нефть будет собрана. Величина  $K_{CB}^*$  зависит от вязкости нефти (табл. 1) и свойств грунта (табл. 2) и колеблется от 0.1 до 0.8.

Таблица 1 – Физические характеристики различных грунтов [7]

Грунт	Коэффициент фильтрации, м/с	Нефтеёмкость грунтов при влажности, %		
		20	40	60
Гравий	$2.75 \cdot 10^{-3}$	0.24	0.20	0.40
Песок	$1.10 \cdot 10^{-4}$	0.28	0.38	0.16
Торф	$1.20 \cdot 10^{-5}$	0.18	0.15	0.30
Супесь	$1.30 \cdot 10^{-5}$	0.21	0.28	0.12
Суглинок	$6.00 \cdot 10^{-6}$	0.12	0.10	0.20
Глина	$3.00 \cdot 10^{-6}$	0.14	0.18	0.08

Таблица 2 – Физические характеристики различных нефтей [8]

Нефть	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Кинематическая вязкость, (м <sup>2</sup> /с)·10 <sup>-4</sup> , при температуре, К			
		293	303	313	323
Мухановская	840	0,0765	0,0565	0,0443	0,0346
Приволжская	823	0,0835	0,0509	0,0346	0,0269
Яринская	824	0,0514	0,0428	0,0352	0,0287
Боткинская	921	1,633	0,8167	0,5227	0,2821
Арланская	892	0,397	0,26	0,176	0,135
Ромашкинская	862	0,1422	0,12	0,09	0,059

Тогда общие потери нефти при аварии равны

$$V_{\text{пот}} = V(1 - K_{\text{св}}). \quad (10)$$

Для нахождения зависимости  $V_{\text{пот}}$  от вязкости нефти и типа грунта по формулам (7)–(10) определим потери нефти на глине и супеси для различных значений кинематического коэффициента вязкости:  $\nu = (0.1; 0.3; 0.5; 0.7; 0.9)$ , см<sup>2</sup>/с.

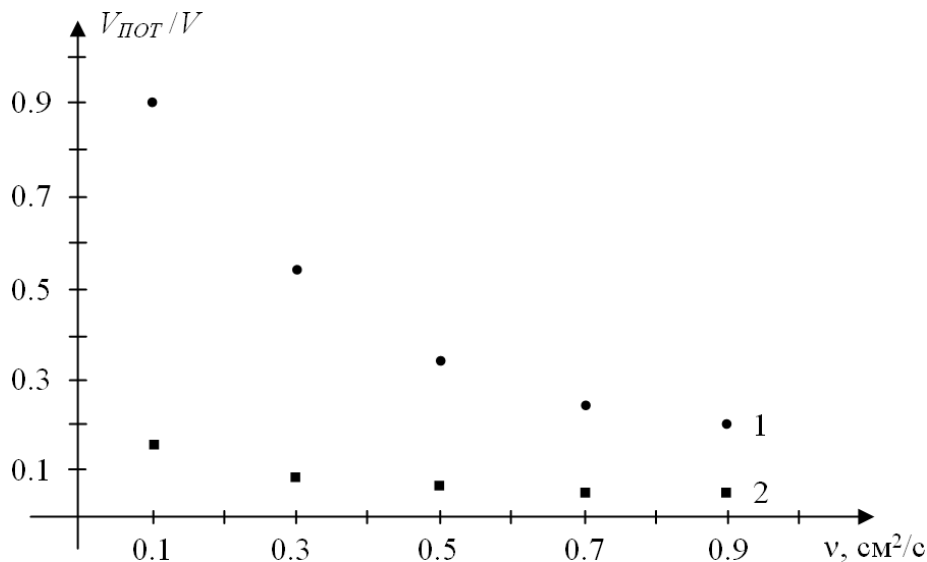


Рис. 2 – Зависимость  $V_{\text{пот}}$  от вязкости нефти для различных грунтов: кривая 1 – супесь; кривая 2 – глина

Расчеты выполнялись со следующими исходными данными:

- расход нефти через дефектное отверстие 0.01 м<sup>3</sup>/с;
- время истечения нефти 1200 с;



• плотность нефти	840 кг/м <sup>3</sup> ;
• коэффициент фильтрации грунта	
глина	3.0·10 <sup>-6</sup> м/с
супесь	1.3·10 <sup>-5</sup> м/с
• нефтеемкость грунта	
глина	0.14
супесь	0.21
• часть собранной нефти	50%

Результаты расчетов представлены на рис. 2.

**Выводы.** Таким образом, в статье определены величины потерь при аварийном разливе нефти с учетом инфильтрации в грунт и сбора разлившейся нефти.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
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. 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.
4. Неронов А.А. Моделирование влияния времени локализации и ликвидации аварийного разлива нефти на характеристики зоны загрязнения / А.А. Неронов, И.А. Чуб // Проблемы чрезвычайных ситуаций. – 2012. – Вып. 15. – С. 98-103.
5. 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.
6. 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.
7. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. — М. : Изд. МГУ, 1998. — 369 с. таблица

8. Поляков Л.П. Химический состав и свойства нефтей различных горизонтов / Л.П.Поляков, СИ. Джафаров. – Уфа: Реактив, 2001. – 124 с.

Чуб І.А., Неронов О.А.

**Моделювання втрат нафти при аваріях на трубопроводах**

Визначається залежність втрат на фільтрацію в ґрунт при аварійному розливі нафти з різними значеннями її в'язкості

**Ключові слова:** аварійний розлив нафти, втрати нафти на фільтрацію в ґрунт, в'язкість нафти

Chub I.A., Neronov O.A.

**Modelling of losses of oil at crash on pipelines**

Dependence of losses on a filtration in soil is considered at a crash oil spill with various values of its viscosity

**Key words:** an crash oil spill, oil losses on a filtration in soil, viscosity of oil

**УДК 351.861**

*Шевченко Р.І., канд. техн. наук, нач. лаб., НУЦЗУ,  
Тарадуда Д.В., наук. співр., НУЦЗУ,  
Палюх В.В., магістр, НУЦЗУ*

**АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЧНОЇ БАЗИ З ОЦІНКИ РИЗИКУ  
ВИНИКНЕННЯ АВАРІЇ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ  
ОБ'ЄКТАХ**

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

Запропоновано алгоритм побудови методики оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах та у відповідності до нього проведено аналіз існуючої методологічної бази у сфері оцінки потенційної небезпеки об'єктів. За результатами аналізу виділено основну базу для створення ефективної методики оцінки ризику виникнення аварій.

**Ключові слова:** аміак, холодильна установка, оцінка ризику, потенційно небезпечний об'єкт

**Постановка проблеми.** Згідно останніх досліджень гостро стоїть питання забезпечення безпеки хімічно-небезпечних об'єктів в цілому та об'єктів, до складу яких входять аміачні холодильні

установки (АХУ) зокрема у зв'язку із значною зношеністю виробничих фондів. Існуюча економічна ситуація не дозволяє принципово змінити стан справ (замінити аміаковмісні установки на установки з іншими хладогенами). Саме тому доцільним є вирішення даної проблеми шляхом підвищення ефективності роботи існуючого прогностичного апарату, а в окремих випадках – його створення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Враховуючи сучасні світові тенденції, можна із впевненістю сказати, що дана проблематика являється актуальною для країн із слаборозвинутою економікою, або країн, що перебувають в економічній кризі. Це підтверджується проведенням аналізом літератури у даній сфері (авторство понад 90% розробок [2-7, 9-18] належить спеціалістам України та країн СНД).

Частково, з погляду на безпеку технологічного процесу, аналіз холодильних установок проведено у роботах [3, 6, 8], де пропонується особливу увагу приділяти конструкціям, які знаходяться під тиском і в зонах з високою температурою. Втім, єдиної ефективної комплексної оцінки безпеки об'єктів даного класу не існує.

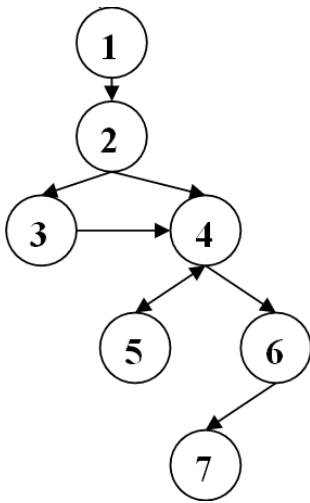
**Постановка завдання та його вирішення.** Для ефективної роботи методики оцінки ризику виникнення аварії на хімічно-небезпечних об'єктах в цілому та об'єктах, до склад яких входять аміачні холодильні установки зокрема необхідно визначити основну базу для її створення.

Вирішення поставленого завдання планується за допомогою аналізу існуючого прогностичного апарату у даній сфері на відповідність з алгоритмом побудови методики оцінки ризику виникнення аварії на хімічно-небезпечних об'єктах, який представлений на рис.1.

Переваги даного алгоритму наступні:

- величина прийнятного ризику не визначається, а задається;
- кількість параметрів, що контролюються є функцією заданої величини ризику, що дозволяє підвищити інформованість про стан об'єкта контролю;
- чітко зазначений діапазон зміни величини ризику виникнення аварії  $\Delta P$  від кількості та якості параметрів, що контролюються;

- високий рівень автоматизації методики, що передбачається (зменшення загального часу на обробку контрольних точок в результаті виконання п.2).



1. Визначення можливості прогнозу виникнення для типу аварій, що розглядається.
2. Визначення необхідного діапазону варіювання імовірності для забезпечення достатнього рівня безпеки.
3. Визначення показника довгостроковості прогнозу.
4. Визначення кількості необхідних параметрів для забезпечення ефективності прогнозу, яка закладена в п. 1 – 3.
5. Визначення фізики (природи) процесу виникнення аварії та її зв'язок з параметрами п. 4.
6. Визначення взаємозв'язків параметрів п. 4.
7. Визначення та обґрунтування ресурсної затратності для отримання заданої якості рівня прогнозу.

**Рис. 1 – Алгоритм побудови методики оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах**

Аналіз існуючої вітчизняної та закордонної методологічної бази в даній сфері на відповідність (схожість побудови) запропонованому алгоритму, дав наступні результати:

1. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки [15]. В даній методиці пропонується застосування окремих методів, таких як:

- дерево "відмов";
- аналіз видів і наслідків відмов;
- обробка статистичних даних про аварійність технологічної системи, що відповідають специфіці об'єктів підвищеної небезпеки чи виду діяльності;
- "що буде, якщо?";
- "перевірочний лист";
- аналіз експлуатаційної небезпеки (HAZOP-аналіз);
- експертні оцінки імовірності виникнення події.

Представлені методи кожен окремо дозволяє лише теоретично визначати деякі кількісні показники ризику, а не повну їх совокупність, необхідну для всебічної оцінки небезпеки. Також за допомогою запропонованих у даній Методиці методів не можливо зробити прогнозу щодо виникнення надзвичайної ситуації (НС) на об'єкті, що розглядається. Тобто алгоритм Методики не перекликається з жодним із запропонованих пунктів (див. рис. 1) і відпо-

відно не може бути прийнятий за основу побудови комплексної методи.

2. Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті [11] призначена лише для попереднього оперативного прогнозування обстановки вже при зараженні території отруйними речовинами. Тобто описує лише можливі наслідки при виникненні НС на об'єкті, імовірність виникнення відповідного типу аварій не розглядається.

Отже, застосування даної Методики унеможлиблює:

- визначення необхідного діапазону варіювання імовірності виникнення НС;
- розробку прогнозу виникнення аварій, що розглядається, а відповідно і виконання усіх решти пунктів запропонованого нами алгоритму;

3. У методологічних пропозиціях, які викладені у роботі Солов'я В.В, Давидюка О.В. та Буца Ю.В. «Анализ и оценка риска аварий – основа принятия решений при управлении промышленной безопасностью» [16] автори удосконалюють Методики [9, 11] шляхом впровадження додаткового критерію кількісної оцінки ризику (потенціал опастности гибели человека в результате аварии) та математичної моделі і алгоритму розрахунку потенційного територіального ризику, що суттєво підвищує ефективність застосування Методик [9, 11], втім лише на етапі проектування об'єкту. Поведінка об'єкту під час експлуатації не розглядається. Цей факт є суттєвим недоліком, адже, навіть при врахуванні вищеприписаних пропозицій, при застосуванні Методик [9, 11] все ж є неможливою розробка прогнозу виникнення НС на об'єкті при його експлуатації.

4. У роботі Михайлюк О.П. та Олійника В.В. «Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки як складова забезпечення рівня техногенної безпеки» [12] автори висловлюють занепокоєність існуючим станом безпеки об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) через майже 50% зношеність виробничих фондів і основним критерієм безпеки вважають наявність певної кількості небезпечних речовин. Тому для збільшення ефективності оцінки потенційної небезпеки об'єктів пропонують застосування методики ідентифікації ОПН шляхом визначення кількості небезпечних речовин, що знаходяться на об'єкті. Такий підхід до вирішення проблеми забезпечення безпеки на ОПН є малоінформативним, що не дає змо-

гу визначити можливість виникнення НС з причини інших існуючих небезпечних факторів.

5. Робота Мусаєва В.К. «Об оценке риска аварии на объектах хранения нефтепродуктов» [13] присвячена вдосконаленню методик оцінки ризику шляхом врахування специфіки роботи небезпечних об'єктів та проведення аналізу можливих сценаріїв розвитку НС при цьому. Втім за допомогою наведеного методу розробити прогноз виникнення НС та визначити необхідний діапазон варіювання імовірності для забезпечення достатнього рівня безпеки об'єкту не можливо.

6. Робота Ісакова С. Л. та Кондрашина А. В. «Об оценке риска пожарной опасности» [4] присвячена підвищенню ефективності кількісної оцінки ризику шляхом зменшення затрат часу на її проведення завдяки розробці моделюючого комплексу. Втім за основу прийнято існуючий математичний апарат з відповідними раніше переліченими недолікам.

7. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів [10] спрямована на визначення фактичного стану безпеки ПНО шляхом визначення кількості небезпечних речовин, які знаходяться на об'єкті та визначення можливих наслідків їх виходу в результаті НС за допомогою Методики [11], а отже її застосування, як і застосування Методики [11], унеможлиблює:

- визначення діапазону варіювання імовірності виникнення НС;
- розробку прогнозу виникнення аварій, що розглядається, а значить і виконання усіх решти пунктів запропонованого нами алгоритму;

8. У роботі Остапенка А.І. «Применение методов деревьев событий и деревьев отказов при анализе опасностей на опасных объектах по хранению и переработке зерна» [14] розроблена методика застосування окремих методів визначення імовірності виникнення НС для проведення аналізу ризику окремих груп ПНО. Застосування методики дає лише якісну оцінку ризику, втім з її допомогою визначити діапазон варіювання імовірності виникнення НС та розробити прогноз будь-якої довгостроковості не можливо.

9. «Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте» [15] визначає лише масштаби наслідків при НС, але не сам ризик її виникнення, тому застосування такої методики при оцінці потенційної не-

безпеки об'єктів є неефективним. Імовірність та розробка прогнозу виникнення НС взагалі не розглядається.

10. У роботі Фурта М.М., Кляйна А.Ж. та ін. «Кількісна оцінка ризику вибуху пилоповітряної суміші на промислових підприємствах» [1] пропонується удосконалити процедуру кількісної оцінки ризику шляхом поділу об'єктів на групи за їх розмірами, формою та структурними особливостями, а потім визначення сценарію виникнення та розвитку НС разом з їх частотою. Такий підхід є ефективним при визначенні імовірності виникнення НС, але при цьому не можливо обґрунтовано стверджувати, що при визначеній імовірності виникнення НС рівень небезпеки є прийнятним, тобто не визначається діапазон варіювання імовірності, необхідний для забезпечення достатнього рівня безпеки. При застосуванні даного методу розробити прогноз виникнення НС будь-якої довгостроковості не можливо.

11. У роботі Шматко О.В. та Паніної О.О. «Використання імовірнісних оцінок при аналізі безпеки» [18] автори звертають увагу на проблему визначення імовірності виникнення аварії (ІВА) на об'єкті при оцінці потенційної небезпеки (у більшості випадків використання на практиці середньостатистичного по галузі значення ІВА для даного типу об'єктів, в решті випадків – складність та трудомісткість проведення розрахунків через відсутність, неточності та невизначеності вихідних даних) та пропонують вирішення цієї проблеми шляхом імітаційного моделювання (ІМ) подій в системі «оператор-устаткування-робоче середовище». Втім застосування такого моделювання призводить до суттєвих неточностей отриманих оцінок, до того ж такий підхід дає лише якісну оцінку стану безпеки об'єкту та не дає можливості розробки прогнозу виникнення аварії.

12. У публікації Кірючка О.В., Муріна М.М. та ін. «Оцінка багатокритеріальної методик аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України» [5] автори звернули увагу на тенденцію зменшення хімічної небезпеки об'єктів через зменшення кількості населення, яке мешкає у зоні можливого хімічного зараження і пропонують здійснювати оцінку стану об'єктів за допомогою багатокритеріальної методи, яка базується на вивченні та аналізі динаміки негативних збитків, що прогножуються. Втім запропонована методика по-перше не враховує фізику процесу виникнення аварій, а саме можливості виникнення аварії на сусідніх об'єктах з подальшим каскадним розвитком аварії, імовірність відмови тех-

нологічного обладнання, систем контролю параметрів, та запобігання виникнення аварій, по-друге методика не визначає необхідного діапазону варіювання імовірності для забезпечення достатнього рівня безпеки, не визначається також і показник довгостроковості прогнозу виникнення аварії.

13. У роботі Абрамова Ю.О., Тютюника В.В. та Шевченка Р.І. «Моделювання процесу виникнення техногенної аварії на об'єктах підвищеної небезпеки нафтогазової промисловості» [2] автори за допомогою математичного апарату логіко-імовірнісної теорії безпеки проводять оцінку небезпеки експлуатації ОПН. Недоліками такого підходу є: по-перше, для спрощення аналізу розглядається лише два фактори впливу на безпеку об'єкту контролю, які лише частково відображають природу виникнення аварії, по-друге, дана методика не передбачає розробки прогнозу виникнення аварії на об'єкті контролю.

14. У роботі Лифара В.О. «Моделі надзвичайних ситуацій та метод оцінки техногенного ризику в автоматизованій системі забезпечення безпеки виробництва» [7] автор розглядає ризик травмування людини чи ушкодження обладнання в результаті дії небезпечних чинників при виникненні аварії на технологічному обладнанні. Фактори, які спричиняють виникнення аварії та сам ризик виникнення НС у даній роботі не розглядаються, а отже з допомогою даного методу не можливо розробити прогнозу виникнення НС на об'єкті контролю.

15. У роботі Шматко А.В. та Малезика А.В. «Применение вероятностно-детерминистической модели при прогнозировании техногенных аварий на объектах химической промышленности» [17] автори розглядають поведінку елементів складної технологічної системи при виникненні в ній аварійної ситуації. Причини виникнення аварії на об'єкті контролю, питання пов'язані з прогнозом виникнення НС у роботі не розглядається.

Результати аналізу відповідності існуючих методик запропонованому алгоритму (див. рис. 1) наведені у таблиці 1.



**Таблиця 1 – Аналіз відповідності існуючих методик запропонованому алгоритму побудови методики оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах**

№ п/п	Назва роботи, в якій розглядається методика (метод)	1. Визначення можливості прогнозу виникнення для типу аварій, що розглядається						
		3	4	5	6	7	8	9
1.	Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки	-	-	-	-	-	-	-
2.	Методики прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті	-	-	-	-	-	-	-
3.	Анализ и оценка риска аварий – основа принятия решений при управлении промышленной безопасностью	+	-	-	+	+	+	-
4.	Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки як складова забезпечення рівня техногенної безпеки	-	-	-	-	-	-	-
5.	Об оценке риска аварии на объектах хранения нефтепродуктов	-	-	-	+	+	+	-
6.	Об оценке риска пожарной опасности	-	-	-	-	-	-	-
7.	Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів	-	-	-	-	-	-	-
8.	Применение методов деревьев событий и деревьев отказов при анализе опасностей на опасных объектах по хранению и переработке зерна	-	-	-	-	+	-	-
9.	Методика прогнозування масштабів зараження сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте	-	-	-	-	-	-	-
10.	Кількісна оцінка ризику вибуху пилоповітряної суміші на промислових підприємствах	-	-	-	-	+	-	-
11.	Використання імовірнісних оцінок при аналізі безпеки	-	-	-	-	-	-	-

Аналіз методологічної бази з оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах

## Продовження таблиці 1

12.	Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України	-	-	-	-	-	-	-
13.	Моделювання процесу виникнення техногенної аварії на об'єктах підвищеної небезпеки нафтогазової промисловості	-	+	-	±	±	-	-
14.	Моделі надзвичайних ситуацій та метод оцінки техногенного ризику в автоматизованій системі забезпечення безпеки виробництва	-	-	-	-	-	-	-
15.	Применение вероятностно-детерминистической модели при прогнозировании техногенных аварий на объектах химической промышленности	-	-	-	-	-	-	-

+ - методика включає виконання зазначеного пункту;

- - методика не включає виконання зазначеного пункту;

± - методика частково чи лише на деяких етапах включає виконання зазначеного пункту.

**Висновки.** Запропоновано алгоритм побудови методики оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах та проведено аналіз існуючого досвіду у сфері оцінки потенційної небезпеки на відповідність даному алгоритму. Виходячи із результатів аналізу, визначено базу для створення ефективної методики оцінки ризику за запропонованим алгоритмом, а саме робота [2] в основному для розробки методики за п. 2, 4 - 6, робота [13] – п. 4 - 6 та робота [16] – п. 1, 4.

## ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. Абрамов Ю.О. Моделювання процесу виникнення техногенної аварії на об'єктах підвищеної небезпеки нафтогазової промисловості / Ю.О. Абрамов, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. № 3. С. 5-18.
3. Аверин Г.В. Анализ опасностей аммиачных компрессорных установок / Г.В. Аверин, В.М. Москалец // Вестник Донецкого университета. Серия А. Естественные науки. – 2008. – №3. – С. 32-40.

4. Ісаков С.Л. Об оценке риска пожарной опасности / С.Л. Исаков, А.В. Кондрашина // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2007. № 3-4. – С. 33-38.
5. Кірючкін О.Ю. Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України / О.Ю. Кірючкін, М.М. Мурін, В.В. Тютюнник, Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. № 6. С. 62 - 73.
6. Кунин П.П., Лапин В.Л. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. – Москва: Высшая школа, 2002. – 327 с.
7. 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.
8. Маршал В. Основные опасности химических производств. М.: Мир. – 1989. – 672 с.
9. 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.
10. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів // Офіційний вісник України від 05.04.2006. – 2006. – №12/№14. – С. 391-398.
11. 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.
12. 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.
13. Мусаев В.К. Об оценке риска аварии на объектах хранения нефтепродуктов / В.К. Мусаев // Безопасность и экология технологических процессов и производств: всероссийск. науч.-практ. конф., май, 2007 г.: тезисы докл. – Персиановский., 2007. – С. 176-178.
14. Остапенко А.І. Применение методов деревьев событий и деревьев отказов при анализе опасностей на опасных объектах по хранению и переработке зерна / А.І.Остапенко // Естественные и технические науки. – 2007. № 6. С. 259-263.

15. РД 52.04.253-90 «Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте».
16. Соловей В.В. Анализ и оценка риска аварий – основа принятия решений при управлении промышленной безопасностью / В.В. Соловей, О.В. Давидюк, Ю.В. Буц // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2006. – №4. – С. 219-231.
17. Шматко А.В. Применение вероятностно-детерминистической модели при прогнозировании техногенных аварий на объектах химической промышленности / А.В. Шматко, А.В. Малевич // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2007. №7. С. 160-166.
18. Шматко О.В. Використання імовірнісних оцінок при аналізі безпеки / О.В. Шматко, О.О. Паніна // Проблемы пожарной безопасности. – 2005. №18. С. 192 -196.

Шевченко Р.И., Тарадуда Д.В., Палюх В.В.

**Формирование основной базы для создания методики оценки риска возникновения аварии на потенциально опасных объектах**

Предложен алгоритм построения методики оценки риска возникновения аварии на потенциально опасных объектах и в соответствии с ним проведен анализ существующей методологической базы в сфере оценки потенциальной опасности объектов. По результатам анализа выделено основную базу для создания эффективной методики оценки риска возникновения аварий.

**Ключевые слова:** аммиак, холодильная установка, оценка риска, потенциально опасный объект

Taraduda D.V., Shevchenko R.I., Palyukh V.V.

**Formation of the main base to create a methodology for assessing the risk of an accident on potentially dangerous objects**

The algorithm of construction methodology for assessing the risk of accidents at hazardous installations and in accordance with this analysis of the existing methodological framework in assessing the potential risk of objects. According to the analysis highlighted the basic framework for an effective methodology for assessing the risk of accidents.

**Key words:** ammonia, a refrigerating machinery, risk assessment, potentially dangerous object

## ЗМІСТ

<b>Абрамов Ю.А., Гвоздь В.М.</b> Математическая модель объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций .....	3
<b>Басманов А.Е., Говаленков С.С.</b> Определение относительной погрешности оценки интенсивности непрерывно действующего источника техногенной опасности.....	9
<b>Беляев В.Ю., Тарасенко А.А.</b> Модель азимутальной скорости движения автосредства, осуществляющего эвакуацию населения в условиях бездорожья.....	16
<b>Горносталь С.А., Уваров Ю.В., Назаров О.А.</b> Повышение эффективности процесса биологической очистки сточных вод .....	28
<b>Альбоцкій О.В., Болотских М.В.</b> Шляхи підвищення ефективності роботи керівників органів управління цивільного захисту при виконанні завдань оперативного характеру .....	33
<b>Грінченко Є.М., Соколов Д.Л., Федоренко Р.М.</b> Оцінка аварійного ризику при перевезенні нафтопродуктів залізничним транспортом .....	40
<b>Кулешов М.М.</b> Щодо удосконалення організації діяльності наглядово-профілактичних органів у сфері пожежної та техногенної безпеки через оптимізацію їх чисельності .....	47
<b>Кустов М.В., Калугин В.Д.</b> Установка для моделирования процессов конденсации в атмосферных акваэрозолях.....	54
<b>Лыфарь В.А., Вамболь С.А., Угрюмов М.Л.</b> Метод и модель определения параметров воздействия осколков при взрывах .....	59
<b>Мищенко И.В.</b> Решение задачи надежности объектов повышенной опасности с учетом нестационарности внешнего воздействия.....	65
<b>Неклонський І.М., Єлізаров О.В.</b> Структурно-функціональна модель організації взаємодії організаційних систем при ліквідації надзвичайних ситуацій.....	69
<b>Панина Е.А., Гусева Л.В.</b> Использование R-функций для оценки вероятности рисков на объектах промышленности .....	81
<b>Поспелов Б.Б., Шевченко Р.И., Приходько А.Ю.</b> Синтез оптимального измерителя постоянного во времени случайного уровня опасных факторов чрезвычайных ситуаций .....	85
<b>Рогозін А.С., Хоменко В.С., Райз Ю.М.</b> Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру.....	95
<b>Тесленко А.А., Бугаев А.Ю., Олейник В.В.</b> Снижение территориального риска, связанного с объектами повышенной опасности, имеющими в своем составе оборудование с избыточным давлением .....	107
<b>Фещенко А.Б., Загора О.В., Селеенко Е.Е.</b> Обгрунтування вибору закону розподілу часу прийняття рішення при оцінці дій диспетчера .....	114
<b>Фещенко А.Б., Селеенко Е.Е., Загора А.В.</b> Математическое моделирование электромагнитных откликов диэлектрических взрывоопасных предметов.....	120
<b>Чапля Ю.С., Соболев А.Н., Волков С.В.</b> Модель рационального размещения постов мониторинга для своевременного обнаружения наводнений.....	125
<b>Чуб И.А., Неронов А.А.</b> Моделирование потерь нефти при авариях на трубопроводах.....	131
<b>Шевченко Р.І., Тарадуда Д.В., Палюх В.В.</b> Аналіз методологічної бази з оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах.....	138

*Наукове видання*

## **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 16

Відповідальний за випуск Ю.О. Абрамов

Технічний редактор О.Ю. Кірючкін

---

Підписано до друку 22.10.2012

Ум.-друк. арк. 8,63

Вид. арк. 8,56

Формат паперу 60x84/16

Тир. 300

Зам. 334 – 2012

Ціна договірна

---

61023, Харків, вул. Чернишевського, 94

Електронна адреса: <http://nuczu.edu.ua/ukr/>

Типографія Національного університету цивільного захисту України