

# ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

---

**Випуск 6**



**Харків – 2007**

МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ З ПИТАНЬ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
ТА У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ВІД НАСЛІДКІВ  
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

---

# ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Випуск 6

Зареєстрований Державним комітетом  
телебачення і радіомовлення України

28 лютого 2006 року

Серія КВ № 11041

Затверджено до друку Вченою радою  
УЦЗ України  
(протокол № 2 від 25.10.2007 р.)

Харків 2007

УДК 331.101+331.4:504+351.861+355.77+502.5:504.062+504.056:331.461.2+  
504.064.36:550.4+519.2.003.12:331.461.2+614.355+614.8+614.84+614.841+  
621.039.58+621.175.3+621.373:772 +628.1.033+693.52

Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України.  
Вип. 6. – Харків: УЦЗУ, 2007. – 175 с.

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

Наведені результати наукових досліджень у галузі забезпечення цивільного захисту. Розглядаються організаційно-технічні аспекти вдосконалення системи цивільної оборони, що відображають сучасні методи підвищення ефективності цивільного захисту та тенденції розвитку наукових досліджень в даній галузі.

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

Іл. – 51, табл. – 13

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:** д-р техн. наук, проф. *Ю.О. Абрамов* (відп. ред.), 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 фіз.-мат. наук, проф. *О.П. Созник*, д-р техн. наук, проф. *І.Б. Туркін*, д-р фіз.-мат. наук, проф. *С.В. Яковлєв*, д-р техн. наук, проф. *Р.А. Яковлєва*

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

Издание основано в 2005 г. и включено в перечень изданий ВАК Украины (постановление Президиума № 1-05/7 от 04.07.2006 г.)

Представлены результаты научных исследований в области обеспечения гражданской защиты. Рассматриваются организационно-технические аспекты совершенствования системы гражданской обороны, отражающие современные методы повышения эффективности гражданской защиты и тенденции развития научных исследований в данной области.

Материалы предназначены для инженерно-технических работников гражданской защиты, профессорско-преподавательского состава, докторантов, адъюнктов, слушателей, курсантов и студентов высших учебных заведений.

*Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., УГЗУ,  
Киреев А.А., канд. хим. наук, доц., УГЗУ,  
Шаршанов А.Я., канд. физ.-мат. наук, доц., УГЗУ*

## **ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ (НА ПРИМЕРЕ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ)**

Рассмотрена локализация чрезвычайной ситуации – крупного пожара с помощью гелеобразующих составов. На основании оценки лучистого теплового потока определена ширина огнезащитной полосы, предотвращающей распространение пожара. Оценены расходы воды и огнетушащих гелеобразующих составов на локализацию линейного участка пожара

**Постановка проблемы.** Одной из наиболее распространённых чрезвычайных ситуаций являются крупные пожары. Они характеризуются большими площадями и периметрами горения. На ликвидацию крупных пожаров привлекается большое количество сил и средств. Время, затрачиваемое на их ликвидацию, составляет от десятков до сотен часов. При тушении крупных пожаров особо остро стоит вопрос о защите смежных объектов и предотвращении дальнейшего их распространения.

Одним из важнейших этапов пожаротушения является локализация пожара. Её задачей является предотвращение дальнейшего распространения пожара и создание условий для последующего тушения. В большинстве случаев для локализации пожаров используется вода. С помощью неё обрабатывают горючие материалы вдоль фронта пожара и тем самым останавливают продвижение пламени.

Одним из недостатков воды как огнетушащего и огнезащитного средства являются большие потери её за счёт стекания с защищаемых поверхностей. Большинство твёрдых горючих материалов удерживают на своей поверхности лишь малые количества воды. Так для гладких не пропитываемых материалов удерживается лишь  $\sim 0,1$  кг/м<sup>2</sup> воды [1]. Для материалов способных пропитываться водою этот показатель в несколько раз выше. Но даже в присутствии смачивателей при 10 секундном набрызге этот показатель не превышает  $\sim 0,5$  кг/м<sup>2</sup> воды.

---

Локализация чрезвычайных ситуаций с помощью гелеобразующих составов (на примере крупных пожаров)

После испарения воды из поверхностного слоя прекращается и её огнезащитное действие. Из-за больших потерь воды и низких огнезащитных свойств её приходится подавать многократно на одни и те же защищаемые поверхности. Это существенно увеличивает расход огнетушащего вещества на огнезащиту смежных с пожаром участков, увеличивает расход сил и средств на эти цели.

Несколько выше огнезащитное действие водных растворов неорганических веществ и водо-пенных огнетушащих средств. Однако они также плохо удерживаются на вертикальных и наклонных поверхностях.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ранее для повышения эффективности пожаротушения и целей оперативной огнезащиты были предложены огнетушащие и огнезащитные гелеобразующие составы [2-4]. Один из составов представляет собой раствор гелеобразующего компонента – силиката щелочного металла. Второй состав – раствор веществ вызывающих быстрое гелеобразование силикатной составляющей. При подаче таких растворов они смешиваются на горящих или защищаемых поверхностях. Между компонентами растворов происходит взаимодействие, приводящее к образованию геля. Гель образует на поверхности нетекущий огнезащитный слой. Этот слой прочно закрепляется на вертикальных и наклонных поверхностях.

По сравнению с водой гелеобразующие составы имеют преимущество, заключающееся в существенном уменьшении потерь огнетушащего вещества за счет стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Другим преимуществом гелеобразующих огнетушащих составов является их высокое огнезащитное действие. Огнезащитное действие гелеобразных слоёв на первом этапе обусловлено охлаждающим действием воды, содержащейся в геле. После испарения всей воды из гелевого слоя образуется пористый слой высушенного геля (ксерогеля) который затрудняет воспламенение защищаемого горючего материала за счёт своей низкой теплопроводности.

В работах [5-6] были изучены огнезащитные свойства ряда таких систем. В частности установлено, что гелеобразные слои толщиной 1-2 мм защищают образцы древесины от прямого действия пламени в течение 3-20 минут. Также установлено, что при толщине гелеобразного слоя более 3,5 мм большинство ТГМ становятся неспособными к пламенному горению. Это делает гелеобразующие составы перспективным средством оперативной огне-

защиты и позволяет применять их для целей локализации пожаров.

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является создание модели локализации пожара с помощью гелеобразующих составов и количественное сопоставление возможностей таких составов с возможностями воды. На первом этапе рассмотрим крупный развитый пожар с большим периметром горения. Типичная задача пожарного расчета заключается в остановке продвижения фронта пожара на определённом участке. Нормативная длина защищаемого участка ( $l$ ) определяется расходом огнетушащего вещества на средстве подачи ( $P$ ). Теоретическая ширина защищаемого участка будет определяться интенсивностью теплового излучения от фронта пожара.

Передача тепла при пожаре может осуществляться излучением, конвекцией, теплопроводностью. В большинстве случаев теплопередача от фронта пожара осуществляется излучением [7]. Теплопередача конвекцией может быть существенной при наличии сильного ветра, наклоняющего пламя в сторону защищаемого объекта.

Результирующий удельный лучистый тепловой поток у поверхности тела, облучаемого факелом, оценивается соотношением

$$q = q_0 \cdot \psi, \quad (1)$$

где параметр  $q_0$  (Вт/м<sup>2</sup>) представляет собой характерную величину удельного потока на поверхности тел, находящихся в непосредственной близости от пламени

$$q_0 = \varepsilon_{\phi} \cdot \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot (T_{\phi}^4 - T^4), \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{\phi}$  и  $\varepsilon$  – степени черноты поверхностей факела пламени и облучаемого тела, соответственно;  $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> К<sup>4</sup>) – константа излучения абсолютно черного тела;  $T_{\phi}$  – средняя абсолютная температура поверхности факела, К;  $T$  – абсолютная температура обращенной к факелу поверхности нагреваемого тела, К.

Сразу отметим, что в подавляющем числе случаев, в частности в этой работе, вторым слагаемым в скобках выражения (2) можно пренебречь по сравнению с первым слагаемым. Тогда последнее соотношение запишется в виде

$$q = \varepsilon_{\phi} \cdot \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T_{\phi}^4 \cdot \psi.$$

Представим факел пламени по фронту пожара в виде вертикальной плоскости бесконечной длины высотой  $h$  (рис.1).

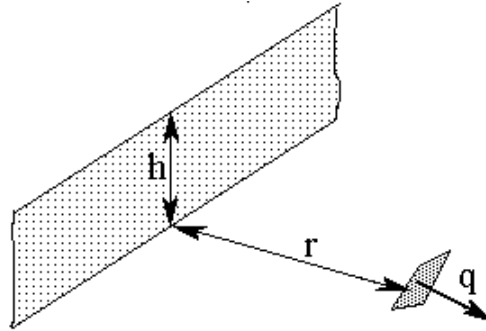


Рис. 1 - Схема лучистого теплообмена

Безразмерный множитель  $\psi$  соотношения (1) является средним угловым коэффициентом излучения облучаемого участка на поверхность факела [8]. Этот безразмерный параметр зависит только от геометрических факторов. В случае, когда факел пламени по фронту пожара представляет собой бесконечно длинную вертикальную полосу, а облучаемая поверхность находится на уровне основания этой полосы (смотри рисунок),  $\psi$ , кроме высоты полосы  $h$ , зависит от расстояния  $r$  и ориентации облучаемой поверхности. Меняя ориентацию, можно реализовать максимально возможное значение  $\psi$  на данном расстоянии

$$\psi_{\max}(r) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2}}. \quad (3)$$

При такой ориентации облучаемая поверхность получает максимальную величину результирующего удельного теплового потока, равную, согласно (1)

$$q_{\max}(r) = q_0 \cdot \psi_{\max}(r). \quad (4)$$

Условием нераспространения пламени через защищаемую полосу является невозможность воспламенения горючих материа-

лов, находящихся как в пределах защищаемой полосы, так и за ее границами. Последнее условие достигается в случае, если величина удельного результирующего теплового потока  $q$  за границами полосы будет ниже критического значения  $q_{кр}$  для любого находящегося там материала. Для большинства твердых горючих материалов нижний предел интенсивности теплового излучения достаточный для воспламенения при длительном воздействии источника излучения превышает  $7,5 \text{ кВт/м}^2$  [9]. Это значение мы примем за критическое значение удельного теплового потока  $q_{кр}$ .

Решив уравнение

$$q_{\max}(r_б) = q_{кр},$$

можно найти минимальную ширину  $r_б$  огнезащитной полосы, обеспечивающую невозможность воспламенения объектов за границами этой полосы при заданных параметрах пожара. В соответствии с зависимостями (3), (4) она равна

$$r_б = \frac{h}{2} \cdot \frac{1 - 2 \cdot \psi_{кр}^2}{\psi_{кр} \cdot \sqrt{1 - \psi_{кр}^2}} = \frac{h}{2 \cdot \psi_{кр}} \cdot [1 + O(\psi_{кр}^2)]. \quad (5)$$

Здесь введен параметр

$$\psi_{кр} = \frac{q_{кр}}{q_0}, \quad (6)$$

который, как будет видно из дальнейших оценок, практически во всех значимых случаях удовлетворяет неравенству  $\psi_{кр} \ll 1$ . Запись  $O(x)$  означает величину порядка  $x$ .

Используя соотношения (5)-(6) можно рассчитать минимальную ширину огнезащитной полосы, обеспечивающую невозможность воспламенения за границами этой полосы при заданных параметрах пожара. Будем полагать, что факел имеет форму плоскости высотой  $h = 5 \text{ м}$ , чернотой  $\varepsilon_1 = 0,8$  и средней температурой  $T_ф = 1400 \text{ К}$ , степень черноты элементарной площадки примем  $\varepsilon_2 = 0,8$ .

Подстановка соответствующих значений в уравнение (5) даст искомое значение безопасного расстояния  $r$  равное  $46,5 \text{ м}$ . Это



значение безопасного расстояния можно рассматривать как максимальное, так как при его расчёте был выбран нижний предел интенсивности излучения достаточный для воспламенения при длительном воздействии источника излучения равный  $7,5 \text{ кВт/м}^2$ . Такое значение соответствует критической интенсивности для сильно высушенной травы. Если в качестве горючего материала выбрать древесину  $q_{кр}=12,6 \text{ кДж/м}^2$ , то соответствующее безопасное расстояние составит  $27,7 \text{ м}$ . В случае, если одновременно с последним допущением принять, что высота пламени составит  $3 \text{ м}$ , то безопасное расстояние сократится до  $16,6 \text{ м}$ .

Как видно из соотношения (2) в наибольшей степени на результирующий удельный тепловой поток влияет температура факела пламени. При выборе температуры пламени равной  $1000 \text{ К}$  соответствующее значение теплового потока снизится в  $3,8$  раза по сравнению с тепловым потоком при температуре  $1400 \text{ К}$ . При этом безопасное расстояние сократится с  $46,5 \text{ м}$  до  $12,1 \text{ м}$ .

Для расчета количества огнезащитного вещества, необходимого для обеспечения невозможности воспламенения локализуемой полосы, рассчитаем максимально возможный избыточный тепловой поток, падающий на защищаемую поверхность. Расстояние от фронта пожара (глубина огнезащиты) была определена равной  $46,5 \text{ м}$ . Тепловой поток будет варьироваться от максимального значения вблизи фронта пожара ( $r = 0$ ) равному

$$q_{\max}(0) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot T^4 = 98,6 \text{ кВт/м}^2, \quad (7)$$

до критического значения  $7,5 \text{ кВт/м}^2$  на расстоянии  $46,5 \text{ м}$ .

Согласно соотношениям (3) - (5), такой поток  $Q_L$  в расчете на единицу длины фронта локализуемой полосы равен

$$Q_L = \int_0^{r_0} dr [q_{\max}(r) - q_{кр}] = \frac{q_0 \cdot h}{2} \cdot \left[ \ln\left(\frac{1}{2\psi_{кр}}\right) + C - 1 + O(\psi_{кр}^2) \right], \quad (8)$$

где

$$C \equiv \lim_{Z \rightarrow \infty} \left[ \sqrt{2} \cdot \int_0^Z \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{x^2}}} dx - \ln(Z) \right] \approx 0.9194. \quad (9)$$

Подстановка выбранных данных даёт значение  $Q_L=749$  кВт/м.

На основании полученного значения мощности теплового излучения можно рассчитать общее количество энергии, падающей на локализирующую полосу за определённое время. Время выгорания пожарной нагрузки обычно составляет от 15 до 30 мин. С учётом того, что интенсивность горения вначале возрастает, достигает максимума и затем постепенно убывает, примем за время горения значение 15 мин. За это время на единицу длины локализирующей полосы придётся суммарная энергия  $E=749 \cdot 15 \cdot 60 = 6,74 \cdot 10^5$  кДж/м.

Для того чтобы защитить локализирующую полосу с помощью подачи воды, необходимо подать на неё такое количество воды, которое при нагревании и испарении могло поглотить всю энергию падающего теплового излучения. Причём примем, что вода подаётся на участки полосы с разными интенсивностями излучения в количествах точно равными необходимым для этих участков. Начальную температуру воды примем равной  $20^\circ\text{C}$ . Также предположим, что после испарения пары воды не участвуют в охлаждении защищаемых поверхностей. Тогда теоретически охлаждающее действие 1 кг воды составит

$$Q_{\text{воды}} = C_{p \text{ воды}} \cdot (T_{\text{кип}} - T_{\text{нач}}) + \Delta H_{\text{кип}} = 4,18 \cdot 80 + 2254 = 2588 \text{ кДж/кг},$$

где  $C_p$  – удельная изобарная теплоёмкость, кДж/(кг·К),  $\Delta H_{\text{кип}}$  – удельная теплота парообразования кДж/кг, воды.

Практически большая часть воды при пожаротушении и огнезащите теряется за счёт стекания. Коэффициент использования воды редко превышает 10% [10]. Поэтому практическое охлаждающее действие 1 кг воды будет составлять  $Q_{\text{воды(практич)}} \sim 260$  кДж/кг.

Рассчитаем общее количество воды необходимое для предотвращения воспламенения локализирующего участка шириной 1 м (площадью 46,5 м) в течение времени 15 мин. При этом пренебрежём возможным отражением теплового излучения смоченными поверхностями

$$m_{\text{воды}} = E / Q_{\text{воды (практич)}} = 6,74 \cdot 10^5 / 260 = 2600 \text{ кг/м}.$$

Для защиты этой же площади гелевым огнезащитным покрытием необходимо нанести на поверхность слой геля толщиной 3,5 мм. С учётом того, что реальная поверхность имеет неровности, примем толщину огнезащитного гелевого слоя  $l=5$  мм. Тогда объём геля, необходимый для защиты локализуемого участка шириной в 1 м составит

$$V = l \cdot S = 0,005 \cdot 46,5 = 0,23 \text{ м}^3/\text{м}.$$

Это соответствует массе  $\sim 250$  кг. Отметим, что толщина слоя геля на расстояниях с небольшими тепловыми потоками может быть уменьшена. Поэтому реальное количество необходимого для огнезащиты геля может быть ещё уменьшено.

**Выводы.** На основании оценки лучистого теплового потока определена ширина огнезащитной полосы, предотвращающей распространение пожара. Она может варьироваться в зависимости от характера горючих материалов и параметров пламени от 10 до 50 м. Показано, что масса гелеобразующего состава, необходимая для локализации линейного участка пожара, на порядок меньше массы воды, необходимой для этих целей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ross R.H., Honkonen D/L., Salaymeh S.R. // Trans. Amer. Nucl. Soc. 1991. V. 63. – p. 218-220.
2. Патент 2264242 Российская федерация. МПК7 А62 С 5/033, Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В. Заявка №2003237256/12. Заявл. 23.12.2003, Опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32.
3. Киреев О.О., Бабенко О.В. Обґрунтування вибору систем для дослідження явища гелеутворення при розробці нових рідинних засобів пожежогасіння. “Проблеми пожарной безопасности”, 2002, вып.12, –С.107-110.
4. Пат. 60882 Україна, МКІ 7А62С1/00. Способ гасіння пожежі та склад для його здійснення / Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Киреев О.О., Бабенко О.В. (Україна).-№ 2003032600. Заявл. 25.03.2003; опубл. 15.10.2003, бюл. № 10, 2003.
5. Киреев А.А., Тарасова Г.В., Жерноклёв К.В. // Вісник Національного технічного університету «Харківський

- політехнічний інститут». Хімія, хімічна технологія та екологія. 2006.– 43. – С. 65-70
6. Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Щербина О.М. Дослідження впливу товщини шару гелю на його вогнегасні властивості. „Пожежна безпека” 2006, № 8, с. 159-162.
  7. Романенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкиров М.П. Теплопередача в пожарном деле. – М.: Высшая школа МВД СССР.1978 – 425 с.
  8. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981.- 486 с.
  9. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М.:ВИПТШ МВД СССР. 1980.–256с.
  10. Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Фізико–хімічні основи використання води в пожежній справі. Харків, 2004. – С. 252.

## УДК 614. 84

*Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., УГЗУ,  
Тарасенко А.А., канд. техн. наук, докторант, УГЗУ*

### **ФОРМИРОВАНИЕ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Предложена аналитическая математическая модель поверхности, которая строится на основе повторной интерполяции на регулярной сетке по линиям уровня в виде бикубических сплайнов. Предложенная модель позволяет получать поверхности рельефа, концентрации химических и радиоактивных веществ в виде всюду гладкой функции двух переменных

**Постановка проблемы.** При планировании мероприятий по локализации и ликвидации ряда чрезвычайных ситуаций одним из основных источников информации являются карты изолиний. При загрязнении территории радиоактивными или химическими веществами это линии уровня радиации и концентрации. Возможность определения массы выброса загрязняющего вещества на основании карт изолиний позволяет повысить эффективность мероприятий, направленных на ликвидацию последствий

---

Формирование априорной информации для системы ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

данной ЧС. Решение этой задачи возможно в случае получения модели концентрации в виде функции двух переменных.

Математически идентичной данной задаче является задача восстановления поверхности рельефа по линиям уровня. В связи с этим, не теряя общности, можно говорить об искомой поверхности как о поверхности рельефа.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Получение вида поверхности рельефа на основании высотных отметок использовано в [1]. При этом вид поверхности чаще всего задается линейной аппроксимацией на нерегулярных треугольных областях (триангуляция Делоне [2], другие виды триангуляции [3]). Существенным недостатком этих методов есть сложность алгоритма, необходимость интерактивного вмешательства в процесс построения, негладкость получаемой поверхности. Эти факторы затрудняют описание процессов распространения, которые могут иметь место на моделируемой поверхности.

В работе [1] предложена аппроксимация поверхности гладкими биквадратными сплайнами [4]. Исходными данными при этом являются регулярные высотные отметки.

В то же время исходными данными о рельефе чаще всего являются карты линий уровня, не содержащие информации о регулярных высотных отметках. Задача получения модели поверхности на основании данных о линиях уровня не решена.

Поставленная задача является обратной к тривиальной задаче о построении линий уровня для известной поверхности, и, в отличие от последней, не имеет, в общем случае, точного решения.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является синтез аналитической модели поверхности на основании линий уровня.

$$A = \begin{bmatrix} z_1, \begin{bmatrix} [[x_{11}^1, y_{11}^1], [x_{12}^1, y_{12}^1]], \dots, [[x_{1N_1-1}^1, y_{1N_1-1}^1], [x_{1N_1}^1, y_{1N_1}^1]] \\ \dots \\ [[x_{11}^{J_1}, y_{11}^{J_1}], [x_{12}^{J_1}, y_{12}^{J_1}]], \dots, [[x_{1N_1-1}^{J_1}, y_{1N_1-1}^{J_1}], [x_{1N_1}^{J_1}, y_{1N_1}^{J_1}]] \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix} \\ z_I, \begin{bmatrix} [[x_{I1}^1, y_{I1}^1], [x_{I2}^1, y_{I2}^1]], \dots, [[x_{IN_I-1}^1, y_{IN_I-1}^1], [x_{IN_I}^1, y_{IN_I}^1]] \\ \dots \\ [[x_{I1}^{J_I}, y_{I1}^{J_I}], [x_{I2}^{J_I}, y_{I2}^{J_I}]], \dots, [[x_{IN_I-1}^{J_I}, y_{IN_I-1}^{J_I}], [x_{IN_I}^{J_I}, y_{IN_I}^{J_I}]] \end{bmatrix} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Пусть имеется информация о линиях уровня в виде векторизированной карты, заданной массивом  $A$  (1) на области  $\Omega$ , где  $[x_{in}^j, y_{in}^j]$ , ( $n = 1 \dots N_i^j, j = 1 \dots J_i, i = 1 \dots I$ ) - координата  $n$ -ой точки  $j$ -ой полилинии  $i$ -ой линии уровня;  $z_i$  - аппликата (высотная отметка) каждой из  $i$ -ой линии уровня;  $I$  - общее количество линий уровня;  $J_i$  - количество полилиний в  $i$ -ой линии уровня;  $N_i^j$  - количество точек в  $j$ -ой полилинии  $i$ -ой линии уровня. Необходимо на ее основании получить вид поверхности рельефа  $S(x, y)$ .

В векторизированных картах линии уровня задаются набором полилиний, чаще всего представляющих собой ломанные, длина которых зависит от локальной кривизны линии уровня, и звенья которой задаются координатами начала и конца. Каждая из линий уровня в общем случае, в силу ограниченности изображаемой области или наличия изолированных возвышенностей или впадин, может состоять из нескольких не связанных между собой полилиний. Полилинии могут быть замкнутыми (в этом случае их начало совпадает с концом), либо разомкнутыми (тогда они начинаются и заканчиваются на границах картографируемой области  $\Omega$ ).

Найдем уравнение прямых  $y(x)$  и  $x(y)$  для каждого  $n$ -ого звена каждой  $j$ -ой полилинии  $i$ -ой линии уровня, заданного в виде отрезка  $[x_{in-1}^j, y_{in-1}^j], [x_{in}^j, y_{in}^j]$ . Уравнения имеют вид

$$Y_{in}^j(x) = \frac{x(y_{in-1}^j - y_{in}^j) + x_{in-1}^j y_{in}^j - x_{in}^j y_{in-1}^j}{x_{in-1}^j - x_{in}^j}; \quad (2)$$

$$X_{in}^j(y) = \frac{y(x_{in-1}^j - x_{in}^j) + y_{in-1}^j x_{in}^j - y_{in}^j x_{in-1}^j}{y_{in-1}^j - y_{in}^j}. \quad (3)$$

Введем разбиение прямоугольной картографируемой области  $\Omega$ , определенной в декартовой системе координат как  $\Omega: X_{\min} \leq x \leq X_{\max}; Y_{\min} \leq y \leq Y_{\max}$ , где  $X_{\min} = \min\{x_{in}^j\}$ ;  $X_{\max} = \max\{x_{in}^j\}$ ;  $Y_{\min} = \min\{y_{in}^j\}$ ;  $Y_{\max} = \max\{y_{in}^j\}$  и  $n = 1 \dots N_i^j; j = 1 \dots J_i; i = 1 \dots I$  регулярной сеткой  $\{x = x_s; y = y_t\}$ ,  $s = 0 \dots S; t = 0 \dots T$ . Не теряя общности можно положить ячейки сетки квадратными и  $S = T$  для квадратной же области  $\Omega$  и сместить

саму область так, чтобы  $X_{\min} = Y_{\min} = 0$ , введя переобозначения  $X_{\max} - X_{\min} = X_{\max}$  и  $Y_{\max} - Y_{\min} = Y_{\max}$ .

Теперь найдем точки пересечения звеньев с линиями сетки. При этом учтем, что звенья линий уровня есть не прямые, а отрезки. Поэтому имеет смысл искать пересечения лишь с теми звеньями, для которых выполнены условия:

- - для пересечений с  $x_s$ :  $x_{in-1}^j \leq x_s \leq x_{in}^j$ , если  $x_{in-1}^j < x_{in}^j$  или  $x_{in}^j \leq x_s \leq x_{in-1}^j$ , если  $x_{in}^j < x_{in-1}^j$ ;

- - для пересечений с  $y_t$ :  $y_{in-1}^j \leq y_t \leq y_{in}^j$ , если  $y_{in-1}^j < y_{in}^j$  или  $y_{in}^j \leq y_t \leq y_{in-1}^j$ , если  $y_{in}^j < y_{in-1}^j$ , где  $n = 1 \dots N_i^j$ ;  $j = 1 \dots J_i$ ;  $i = 1 \dots I$ ;  $s = 0 \dots S$ ;  $t = 0 \dots T$ .

Ординату  $^k y_s$  пересечения отрезков, для которых выполнено первое условие, с прямыми  $x_s$  найдем, полагая в (2)  $x = x_s$ . Аналогично, подставляя в (3)  $y = y_t$ , найдем абсциссу  $^p x_t$  пересечения отрезков, для которых выполнено условие пересечения с этими прямыми. Очевидно, что не каждый отрезок и не каждая линия уровня пересекается с каждой из линий сетки. Количество таких пересечений будет равно  $K_s, s = 0 \dots S$  и  $P_t, t = 0 \dots T$ , соответственно для каждого из сечений  $x = x_s$  и  $y = y_t$ . Соответствующие аппликаты точек пересечения обозначим  $^k z_s$  и  $^p z_t$ .

Упорядочим точки пересечения по возрастанию в первом случае ординат, во втором - абсцисс. Тогда массивы

$$B_s = [x_s, ^k y_s, ^k z_s], k = 1 \dots K_s; \quad (4)$$

$$C_t = [^p x_t, y_t, ^p z_t], p = 1 \dots P_t \quad (5)$$

несут полную информацию о трехмерных координатах точек пересечения линий уровня с образующими сетки.

Рассмотрим массив  $B_s$ . Дополним множество точек (4) еще двумя граничными точками на концах каждого из интерполируемых интервалов  $[0; Y_{\max}]$ , полагая (за неимением другой информации) их координаты равными  $(x_s; 0; ^1 z_s)$  и  $(x_s; Y_{\max}; ^{K_s} z_s)$ , т.е. присвоив им аппликаты соседних (по сечению  $x = x_s$ ) линий уровня. Кроме того, в этих же точках будем полагать значения вторых производных вдоль соответствующих сечений равными 0. Эти до-

пушення позволяют провести процедуры натуральных интерполяций на полученных  $K_s + 2$  ( $s = 0 \dots S$ ) узлах, лежащих на сечении  $x_s$ , с помощью  $K_s + 1$ -кусочных кубических сплайнов, заданных на интервалах  $[{}^k y_s; {}^{k+1} y_s]$

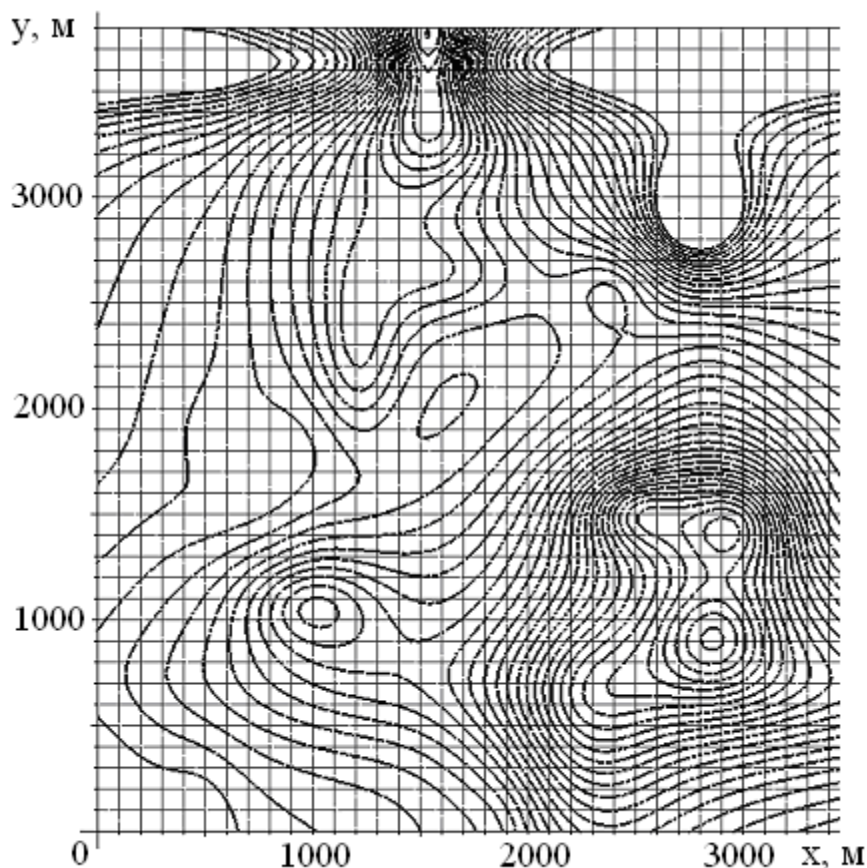


Рис. 1 – Разбиение области  $\Omega$  регулярной сеткой  $\{x = x_s; y = y_t\}$ ,  $s = 0 \dots S; t = 0 \dots T$

$${}^k D_s(y) = {}^k z_s + \sum_{j=1}^3 {}^k c_s (y - {}^k y_s)^j, \quad (6)$$

где  $k = 0 \dots K_s + 1$ .

Для нахождения неизвестных коэффициентов  ${}^k c_s$  необходимо решить [5]  $S$  систем уравнений (7)



$$\left. \begin{aligned} {}^{k+1}z_s &= {}^kz_s + {}_1^k c_s ({}^{k+1}y_s - {}^k y_s) + {}_2^k c_s ({}^{k+1}y_s - {}^k y_s)^2 + {}_3^k c_s ({}^{k+1}y_s - {}^k y_s)^3; \\ {}_1^{k+1} c_s &= {}_1^k c_s + 2 {}_2^k c_s ({}^{k+1}y_s - {}^k y_s) + 3 {}_3^k c_s ({}^{k+1}y_s - {}^k y_s)^2; \\ {}_2^{k+1} c_s &= {}_2^k c_s + 3 {}_3^k c_s ({}^{k+1}y_s - {}^k y_s); \\ 2 {}_2^1 c_s + {}_2^2 c_s &= 3 ({}^2 z_s - {}^1 z_s) / ({}^2 y_s - {}^1 y_s)^2; \\ 2 {}_2^{K_s+1} c_s + {}_2^{K_s} c_s &= -3 ({}^{K_s+1} z_s - {}^{K_s} z_s) / ({}^{K_s+1} y_s - {}^{K_s} y_s)^2, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где  $k = 0 \dots K_s + 1$ ,  $s = 0 \dots S$ .

Решив системы (7), для каждого  $s$ -ого сечения получим гладко сшитые кусочные функции

$$D_s(y) = \begin{cases} {}^0 D_s(y), & {}^0 y_s \leq y < {}^1 y_s; \\ \dots \\ {}^{K_s} D_s(y), & {}^{K_s} y_s \leq y < {}^{K_s+1} y_s. \end{cases} \quad (8)$$

Графики линий (8) будут близки к линиям сечения рельефа плоскостями  $X = x_s$ ,  $s = 0 \dots S$  (рис. 2-а).

Для сечений  $Y = y_t$ ,  $t = 0 \dots T$  аналогично получим сплайн-интерполяции вида

$$E_t(x) = \begin{cases} {}^1 E_t(x), & {}^1 x_t \leq x < {}^2 x_t; \\ \dots \\ {}^{P_t+1} E_t(x), & {}^{P_t+1} x_t \leq x < {}^{P_t+2} x_t. \end{cases} \quad (9)$$

Результат данной интерполяции приведен на рис. 2-б.

Очевидно, что узлы интерполяции, в силу их нерегулярности, не совпадают с узлами сетки. Поэтому вдоль границы ячейки сетки возможно получение не одного выражения, аппроксимирующего сечения, а двух и даже более (при большом периоде сетки). Чтобы избежать данной ситуации, произведем повторное интерполирование сплайнами, но уже на узлах регулярной сетки. Поскольку значения возвышений (аппликаты) в регулярных узлах неизвестны, то получим в каждом узле сетки  $(x_s, y_t)$ ,  $s = 0 \dots S$ ;  $t = 0 \dots T$  два значения  ${}^D z_{st}$  и  ${}^E z_{st}$  соответствующих функций  $D_s(y)$  и  $E_t(x)$ , полагая

$${}^D z_{st} = D_s(y = y_t); \quad {}^E z_{st} = E_t(x = x_s), \quad (10)$$

где  $s = 0 \dots S; t = 0 \dots T$ .

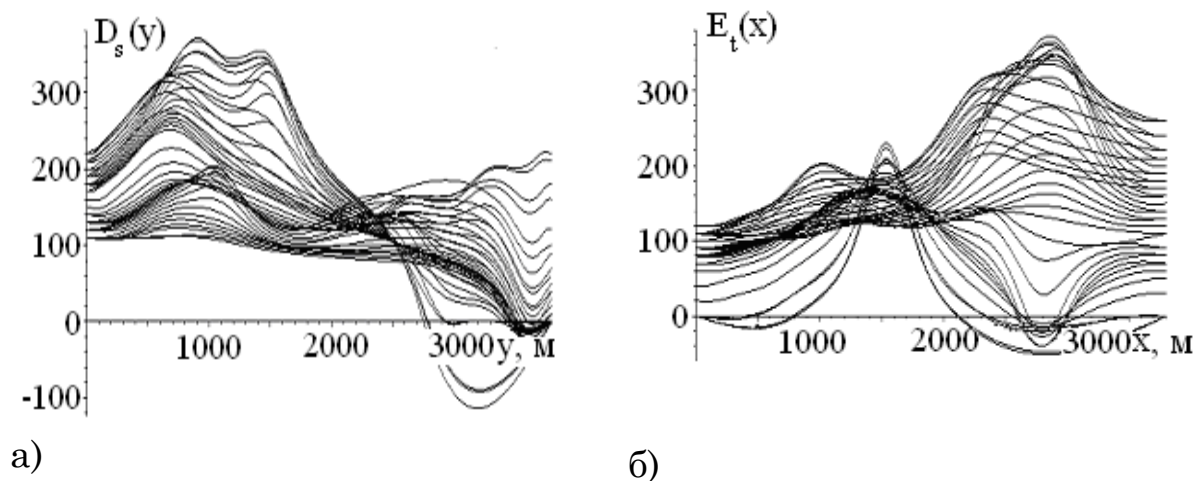


Рис.2 – Графики функций а)  $D_s(y)$  и б)  $E_t(x)$  - результат интерполяции на нерегулярных узлах – аппроксимация сечений рельефа плоскостями а)  $X = x_s, s = 0 \dots S$ ; б)  $Y = y_t, t = 0 \dots T$

Поскольку в общем случае  ${}^D z_{st} \neq {}^E z_{st}$ , то будем полагать, что значения возвышения  $z_{st}$  в узлах регулярной сетки равны среднему арифметическому

$$z_{st} = ({}^D z_{st} + {}^E z_{st}) / 2, \quad \forall s = 0 \dots S; t = 0 \dots T. \quad (11)$$

Перейдя к регулярным узлам, повторим процедуру сплайн-интерполяции, получив вдоль линий  $x_s$  и  $y_t, s = 0 \dots S; t = 0 \dots T$  кубические  $T - 1$ -кусочные функции  $F_s(y)$  и  $S - 1$ -кусочные функции  $G_t(x)$ . Графики данных функций (рис. 3) незначительно отличаются от графиков функций  $D_s(y)$  и  $E_t(x)$ .

Зная функции, аппроксимирующие соответствующие сечения рельефа вдоль каждой из сторон ячейки, перейдем к двумерной сплайн-интерполяции непосредственно самой поверхности рельефа  $S_{ts}(x, y)$  внутри каждой из ячеек.

Предложенный метод повторной интерполяции получения регулярных данных на основании линий уровня может быть ис-

пользован как для линейной, так и для нелинейной интерполяции поверхности внутри каждой ячейки сетки.

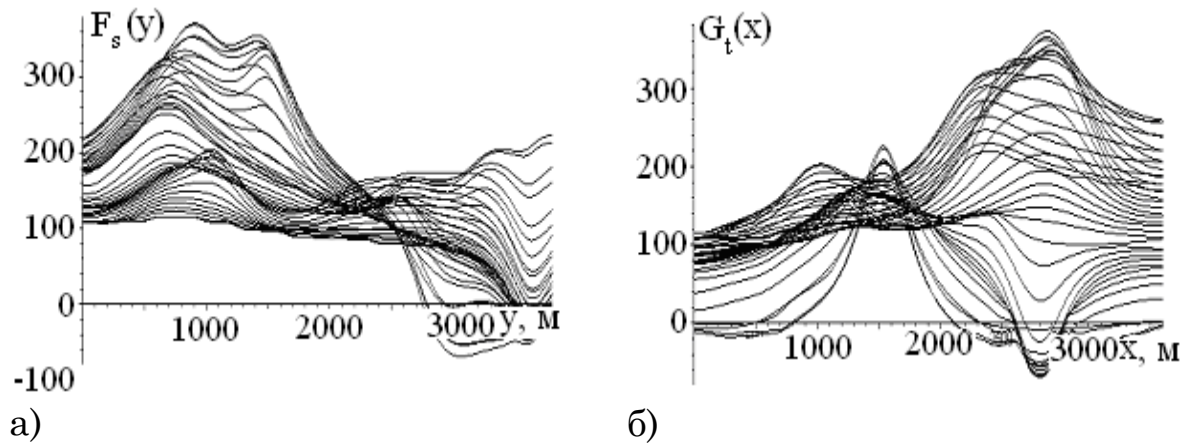


Рис. 3. Графики а)  $F_s(y)$  и б)  $G_t(x)$  - результат повторной интерполяции на регулярных узлах – аппроксимация сечений рельефа плоскостями а)  $X = x_s, s = 0 \dots S$ ; б)  $Y = y_t, t = 0 \dots T$

Предлагаемый в [4] подход позволяет получить бикубический полином

$$S_{ts}(x, y) = \sum_{u=1}^4 \sum_{v=1}^4 a_{uv}^{st} (x - x_s)^{v-1} (y - y_t)^{u-1}, \quad (12)$$

однозначно аппроксимирующий поверхность рельефа внутри ячейки, и который, в отличие от линейной интерполяции, обеспечивает гладкую сшивку с соседними полиномами вдоль линий  $F_s(y)$  и  $G_t(x)$ ,  $s = 0 \dots S; t = 0 \dots T$ .

Рассмотрим одну из ячеек  $\Omega_{st}$  сетки, определенной как прямоугольник  $[x_s; x_{s+1}] \times [y_t; y_{t+1}]$ .

Пусть вдоль границ ячейки при  $x = x_s$ ,  $x = x_{s+1}$ ,  $y = y_t$ ,  $y = y_{t+1}$ , соответственно, заданы функции  ${}^t F_s(y)$ ,  ${}^t F_{s+1}(y)$ ,  ${}^s G_t(x)$ ,  ${}^s G_{t+1}(x)$  (рис. 4). В предлагаемой интерпретации это сплайны – „кусочки” функций  $F_s(y)$  и  $F_{s+1}(y)$ ,  $G_t(x)$  и  $G_{t+1}(x)$ . В вершинах ячейки заданы известные значения апликат

$$\begin{aligned} S_{st}(x_s, y_t) &= z_{st}; S_{st}(x_{s+1}, y_t) = z_{s+1t}; \\ S_{st}(x_s, y_{t+1}) &= z_{st+1}; S_{st}(x_{s+1}, y_{t+1}) = z_{s+1t+1}. \end{aligned} \quad (13)$$

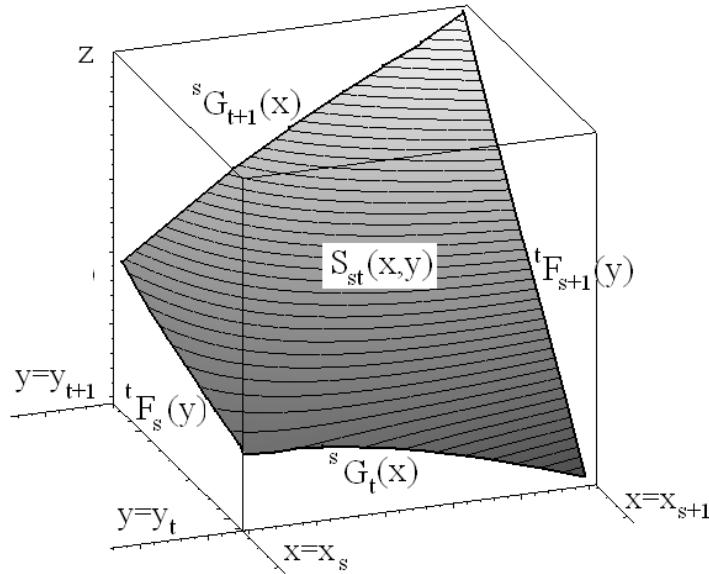


Рис. 4 – Ячейка сетки с интерполирующей поверхностью

На границах заданы известные функции

$$\begin{aligned} S_{st}(x_s, y) &= {}^tF_s(y); S_{st}(x_{s+1}, y) = {}^tF_{s+1}(y); \\ S_{st}(x, y_t) &= {}^sG_t(x); S_{st}(x, y_{t+1}) = {}^sG_{t+1}(x). \end{aligned} \quad (14)$$

Данные функции определяют значения частных производных вдоль сторон ячейки в ее вершинах

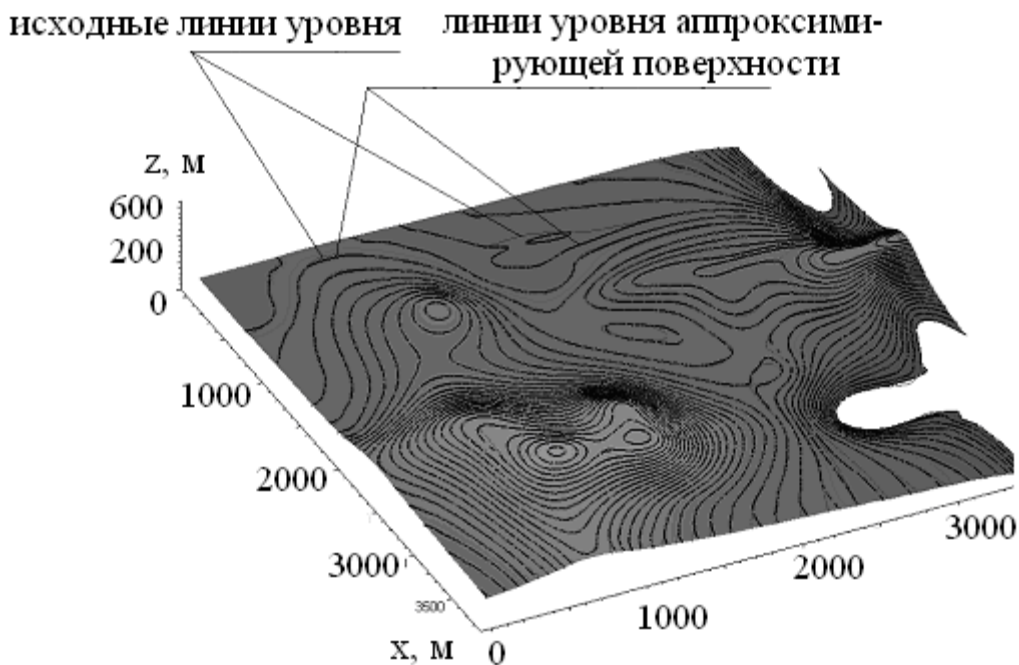
$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial x} \right|_{x_s, y_t} &= \left[ {}^sG_t(x) \right] \Big|_{x_s}; \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial x} \right|_{x_s, y_{t+1}} = \left[ {}^sG_{t+1}(x) \right] \Big|_{x_s}; \\ \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial x} \right|_{x_{s+1}, y_t} &= \left[ {}^sG_t(x) \right] \Big|_{x_{s+1}}; \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial x} \right|_{x_{s+1}, y_{t+1}} = \left[ {}^sG_{t+1}(x) \right] \Big|_{x_{s+1}}; \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial y} \right|_{x_s, y_t} &= \left[ {}^tF_s(y) \right] \Big|_{x_s}; \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial y} \right|_{x_s, y_{t+1}} = \left[ {}^tF_s(y) \right] \Big|_{y_{t+1}}; \\ \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial y} \right|_{x_{s+1}, y_t} &= \left[ {}^tF_{s+1}(y) \right] \Big|_{y_t}; \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial y} \right|_{x_{s+1}, y_{t+1}} = \left[ {}^tF_{s+1}(y) \right] \Big|_{y_{t+1}}. \end{aligned} \quad (16)$$

Дополним данные выражения значениями смешанной производной в вершинах ячейки, полагая их равными 0, что является “мягким” допущением, означающим отсутствие кривизны в узлах сетки в направлении диагоналей ячеек

$$\left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial x \partial y} \right|_{x_s y_t} = \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial x \partial y} \right|_{x_{s+1} y_t} = \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial x \partial y} \right|_{x_s y_{t+1}} = \left. \frac{\partial S_{st}(x, y)}{\partial x \partial y} \right|_{x_{s+1} y_{t+1}} = 0. \quad (17)$$

Подставив (12) в (13)-(17), получим систему уравнений (18) относительно неизвестных коэффициентов  $a_{uv}, u = 1..4; v = 1..4$ .



**Рис. 5 – Результат аппроксимации поверхности рельефа по линиям уровня**

Решение системы (18) при каждом  $s = 0..S - 1$  и  $t = 0..T - 1$  позволяет получить гладкую двумерную кубическую сплайн-интерполяцию  $S(x, y) = \{S_{st}(x, y)\}_{s=0..S-1, t=0..T-1}$  (рис. 5) поверхности рельефа  $Z = z(x, y)$ , которая будет определяться  $16 \times S \times T$  коэффициентами.

$$\begin{aligned}
 & a_{11}^{st} = z_{st}; \\
 & a_{11}^{st} + a_{12}^{st}\Delta x + a_{13}^{st}\Delta x^2 + a_{14}^{st}\Delta x^3 = z_{s+1t}; \\
 & a_{11}^{st} + a_{21}^{st}\Delta y + a_{31}^{st}\Delta y^2 + a_{41}^{st}\Delta y^3 = z_{st+1}; \\
 & a_{11}^{st} + a_{12}^{st}\Delta x + a_{13}^{st}\Delta x^2 + a_{14}^{st}\Delta x^3 + a_{21}^{st}\Delta y + a_{22}^{st}\Delta x\Delta y + a_{23}^{st}\Delta x^2\Delta y + \\
 & + a_{24}^{st}\Delta x^3\Delta y + a_{31}^{st}\Delta y^2 + a_{32}^{st}\Delta x\Delta y^2 + a_{33}^{st}\Delta x^2\Delta y^2 + a_{34}^{st}\Delta x^3\Delta y^2 + \\
 & a_{41}^{st}\Delta y^3 + a_{42}^{st}\Delta x\Delta y^3 + a_{43}^{st}\Delta x^2\Delta y^3 + a_{44}^{st}\Delta x^3\Delta y^3 = z_{s+1t+1}; \\
 & a_{12}^{st} = [g_t(x)] \Big|_{x_s}; \\
 & a_{12}^{st} + a_{22}^{st}\Delta y + a_{32}^{st}\Delta y^2 + a_{42}^{st}\Delta y^3 = [g_{t+1}(x)] \Big|_{x_s}; \\
 & a_{12}^{st} + 2a_{13}^{st}\Delta x + 3a_{14}^{st}\Delta x^2 = [g_t(x)] \Big|_{x_{s+1}}; \\
 & a_{12}^{st} + 2a_{13}^{st}\Delta x + 3a_{14}^{st}\Delta x^2 + a_{22}^{st}\Delta y + 2a_{23}^{st}\Delta x\Delta y + 3a_{24}^{st}\Delta x^2\Delta y + a_{32}^{st}\Delta y^2 + \\
 & + 2a_{33}^{st}\Delta x\Delta y^2 + 3a_{34}^{st}\Delta x^2\Delta y^2 + a_{42}^{st}\Delta y^3 + 2a_{43}^{st}\Delta x\Delta y^3 + 3a_{44}^{st}\Delta x^2\Delta y^3 = \\
 & = [g_{t+1}(x)] \Big|_{x_{s+1}}; \\
 & a_{21}^{st} = [f_s(y)] \Big|_{x_s}; \\
 & a_{21}^{st} + 2a_{31}^{st}\Delta y + 3a_{41}^{st}\Delta y^2 = [f_s(y)] \Big|_{y_{t+1}}; \\
 & a_{21}^{st} + a_{22}^{st}\Delta x + a_{23}^{st}\Delta x^2 + a_{24}^{st}\Delta x^3 = [f_{s+1}(y)] \Big|_{y_t}; \\
 & a_{21}^{st} + a_{22}^{st}\Delta x + a_{23}^{st}\Delta x^2 + a_{24}^{st}\Delta x^3 + 2a_{31}^{st}\Delta y + 2a_{32}^{st}\Delta x\Delta y + 2a_{33}^{st}\Delta x^2\Delta y + \\
 & + a_{34}^{st}\Delta x^3\Delta y + 3a_{41}^{st}\Delta y^2 + 3a_{42}^{st}\Delta x\Delta y^2 + 3a_{43}^{st}\Delta x^2\Delta y^2 + 3a_{44}^{st}\Delta x^3\Delta y^2 = \\
 & = [f_{s+1}(y)] \Big|_{y_{t+1}}; \\
 & a_{22}^{st} = 0; \\
 & a_{22}^{st} + 2a_{33}^{st}\Delta x + 3a_{24}^{st}\Delta x^2 = 0; \\
 & a_{22}^{st} + 2a_{32}^{st}\Delta y + 3a_{42}^{st}\Delta y^2 = 0; \\
 & a_{22}^{st} + 2a_{23}^{st}\Delta x + 3a_{24}^{st}\Delta x^2 + 2a_{32}^{st}\Delta y + 4a_{33}^{st}\Delta x\Delta y + 6a_{34}^{st}\Delta x^2\Delta y + 3a_{42}^{st}\Delta y^2 + \\
 & + 6a_{43}^{st}\Delta x\Delta y^2 + 9a_{44}^{st}\Delta x^2\Delta y^2 = 0.
 \end{aligned} \tag{18}$$

Таким образом, решена задача получения функции поверхности рельефа на основании данных о линиях уровня.

Аналогично решается задача получения уравнения поверхности концентрации  $C(x, y)$ , зная которую можно решить задачу определения массы  $M$  выброса загрязняющего вещества

$$M = \iint_{\Omega} C(x, y) dx dy = \sum_{s=0}^{S-1} \sum_{t=0}^{T-1} \iint_{\Omega_{st}} C_{st}(x, y) dx dy. \quad (19)$$

**Выводы.** Предложена модель поверхности (функции двух переменных) в виде бикубического сплайна, заданного на регулярной сетке. Исходной информацией являются линии уровня моделируемой функции. Прикладное значение предложенной модели состоит в возможности получения уравнения поверхности рельефа или поверхности концентрации загрязняющих веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Костюк Ю.Л., Фукс А.Л. Представление рельефа земной поверхности в геоинформационных системах // Геоинформатика-2000: Труды МНПК. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 110-118.
2. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
3. Скворцов А.В., Костюк Ю.Л. Применение триангуляции для решения задач вычислительной геометрии // Геоинформатика: Теория и практика. Вып. 1. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. С. 127-138.
4. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. – М.: Мир, 1972. – 316 с.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1981. – 718 с.

*Азаров С.І., д-р техн. наук, ст. наук. співр., ІЯД НАНУ,  
Таракон Г.А., д-р техн. наук, проф., ІЯД НАНУ,  
Сидоренко В.Л., ст. викл., ІДУЦЗ УЦЗУ*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВИКИДУ РАДІОАКТИВНОСТІ ПРИ АВАРІЇ ТА ПОЖЕЖІ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС**

(представлено д-ром фіз.-мат. наук Созніком О.П.)

Представлена фізико-математична модель розрахунків величини викиду радіоактивності та концентрації радіонуклідів у повітрі у ближній зоні у перші дні аварії на 4-му блоці ЧАЕС.

**Постановка проблеми.** Аварія на 4-му енергоблоці Чорнобильської АЕС привела до катастрофічних наслідків і необхідності всебічного аналізу та уточнення причин, механізмів і обставин виникнення і розвитку аварійних процесів у просторі і часі. За офіційними даними [1] на момент аварії в активній зоні реактора РБМК-1000 перебувало близько  $5,6 \times 10^{19}$  Бк активності, з яких у процесі аварії у навколишнє середовище було викинуто  $4,4 \times 10^{18}$  Бк. Рівень радіоактивного забруднення поверхні землі у ближній зоні (5-30 км) склав, у середньому, для  $^{134}\text{Cs}$  –  $1,67 \times 10^5$  Бк/м<sup>2</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  –  $6,67 \times 10^7$  Бк/м<sup>2</sup> і характеризувався великим розкидом по густині випадань. Це було викликано не тільки постійною зміною метеополів, але й, очевидно, складним характером тимчасового ходу викиду. Аналіз радіаційної аварії такого масштабу зажадав не тільки використання існуючих на той час моделей, але і розробки нових методів аналізу фізико-математичного моделювання виникнення та розвитку важких аварій.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відомі роботи [2, 3] у яких для опису поширення радіоактивних викидів при аварії на 4-му енергоблоці ЧАЕС використалася масштабна модель, заснована на напівемпіричному рівнянні турбулентної дифузії. Однак дані моделі не дозволили описати початкову стадію розвитку аварії і випадання радіоактивних речовин у ближній зоні ЧАЕС, оскільки не враховували початкові параметри джерела аварії – тепловий вибух і горіння графіту.

**Постановка завдання та його вирішення.** У зв'язку з цим актуально є завдання дослідження динаміки викиду та осадження



радіонуклідів у навколишньому середовищі та уточнення фізико-хімічних процесів, що відбуваються у зруйнованому реакторі.

Джерело аварії (зруйнований 4-ий енергоблок) – лінійний, активністю  $A$  (Бк). Джерело у вигляді суми елементарних джерел з певними часом дії. Кожне елементарне джерело вважається постійним протягом інтервалу часу, які визначаються відповідно до наведеного аналізу стаціонарності метеоситуації. Допустимо, що відома функція  $f(x-x', y-y', z')$  – яка описує процеси просторового переносу радіоактивної домішки з точки джерела аварії  $x', y', z'$  у точку підстиляючої поверхні  $x, y$ . Тоді розподіл густини випадання цієї характеристики на підстиляючу поверхню  $q(x, y)$ , сформоване випаданням з об'ємного джерела аварії, буде визначатися інтегралами типу згортки по просторових координатах джерела і розміром часток

$$q(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(x') c(x', y', z') \times f(x - x', y - y', z') dx' dy' dz', \quad (1)$$

де  $c(x', y', z')$  – концентрація радіонуклідної домішки.

Рівняння (1) являє собою інтегральне рівняння Фредгольма першого роду відносно невідомої функції  $A(x')$ .

Оскільки функція  $q(x, y)$  визначається за експериментальними даними, тобто задається з певною похибкою, то в математичному плані рішення рівняння (1) щодо невідомої функції  $A(x')$  є типовою некоректно поставленою задачею. Вихід з цього утруднення був запропонований Тихоновим (4). Сутність методу полягає в тому, що розглядається задача математичної статистики.

Апріорна інформація вводиться у вигляді відомого розподілу, імовірності  $A_j$ , або, інакше кажучи, шукається рішення системи рівнянь

$$\sum_{j=1}^n K_j A_j = q_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (2)$$

де  $K_j$  – ядро інтегрального рівняння (1) – лінійний оператор.

Припустимо, що величина  $q_j$  вимірюється із середньоквадратичною помилкою  $\sigma_j$  незалежної при різних  $j$  і розподілена за нормальним законом. Тоді апріорна густина ймовірності, що характеризує процес, буде задаватися відношенням

$$P[q(x)] = \prod_{j=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_j}} \exp \left\{ - \frac{\left( q_j - \sum_{i=1}^m K_{ji} A_i \right)^2}{2\sigma_j^2} \right\}. \quad (3)$$

В якості відновлювального джерела радіоактивності приймалося математичне очікування  $A$  за розподілом  $q$

$$P[A(q)] = C_1 \exp \left\{ - \frac{1}{2} (\hat{A}, [\hat{B} + \alpha \hat{\Omega}] \hat{A}) + (\hat{A} \hat{K}^T \hat{W} q) - \frac{1}{2} (\hat{A} \hat{W} \hat{q}) \right\}, \quad (4)$$

де  $C_1$  – константа не залежна від  $A$ ;  $\hat{K}_j$  – транспонована матриця;  $\hat{\Omega}$  – симетрична ненегативна визначена матриця порядку  $m \times m$ ;  $\alpha$  – параметр регуляризації.

Тут

$$\hat{W} = \begin{cases} \frac{1}{\sigma_j}, & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}, \quad B = \hat{K}^T \times \hat{W} \times \hat{K}. \quad (5)$$

Апріорна густина ймовірності статистичного аналізу буде мати вигляд

$$P_\alpha[\hat{A}] = C_2 \alpha^{\binom{n-r}{2}} \exp \left\{ - \frac{\alpha}{2} (\hat{A}, \hat{\Omega} \hat{A}) \right\}, \quad (6)$$

де  $r$  – ступінь матриці  $\hat{\Omega}$ ;  $C_2$  – нормована стала.

Апостеріорний розподіл для активності  $A$  визначали з рівняння Бейеса

$$P(\hat{A}/\hat{q}, \alpha) = \frac{P(\hat{q}/\hat{A}) P_\alpha(\hat{A})}{\int \hat{P}(\hat{q}/\hat{A}) P_\alpha(\hat{A})}. \quad (7)$$

Використовуючи (4) і (6) знаходимо

$$P(\hat{A}/\hat{q}, \alpha) = C_3 \exp\left\{-\frac{1}{2}(\hat{A}, [\hat{B} + \alpha\hat{\Omega}]\hat{A}) + (\alpha \cdot \hat{A})\right\}, \quad (8)$$

де  $C_3$  – константа не залежна від  $\hat{A}$ .

Таким чином, отриманий нормальний розподіл для апостеріорної ймовірності  $P(\hat{A}/\hat{q}, \alpha)$  дає нам більш повне рішення задачі при заданій апіорі параметра регуляризації.

В якості відновленої функції  $\hat{A}$  було прийнято математичне очікування  $\hat{A}$  за розподілом (8)

$$(\hat{A})_\alpha = [\hat{B} + \alpha\hat{\Omega}]^{-1} \alpha \quad (9)$$

яка задовольняє рівнянню типу

$$\|\hat{K}\hat{A} - \hat{q}\| + \alpha\hat{\Omega}[\hat{A}] = \min, \quad (10)$$

де  $\hat{\Omega}[\hat{A}]$  – регулюючий функціонал, що приймає тим більше значення, чим менш гладка функція  $\hat{A}$ . Причому, помилка відновлення  $\hat{A}$  можна визначити за формулою

$$S_i = \sqrt{(A_i - (A_i)_\alpha)} = \sqrt{[(\hat{B} + \alpha\hat{\Omega})]_{ij}^{-2}}. \quad (11)$$

Відновлення аварійного викиду радіонуклідів у навколишнє середовище здійснювалося шляхом рішення зворотної задачі за формулами (1-11) за допомогою наявних експериментальних даних про густину радіоактивного забруднення у ближній зоні ЧАЕС з використанням апіорної інформації про найбільш імовірний дисперсний склад радіоактивної домішки у повітрі і про можливий вертикальний розподіл джерела аварії на висоті.

Вісь сліду дифузійно-гравітаційних випадань з точки джерела, розташованого по висоті  $z$ , формувалася у напрямку вітру, усередненого у знос атмосфери по поверхні землі до деякої ефективної висоти. Розсіювання домішки у вертикальному напрямку описувалося коефіцієнтом вертикальної дифузії, рівним середньому значенню цієї величини у шарі атмосфери.

Розсіювання домішки у горизонтальному напрямку описува-лося ефективним коефіцієнтом горизонтальної дифузії, що залежить від градієнта напрямку вітру по висоті атмосфери.

Профілі метеовеличин і характеристик турбулентності ви-значалися з рішення системи, що складається із стаціонарних од-номірних рівнянь руху, балансу кінетичної енергії турбулентності, рівняння для швидкості дисипації турбулентної енергії в просторі. Вираз для коефіцієнта турбулентності брався на підставі гіпотези наближеної подоби і напівемпіричного співвідношення для верти-кального градієнта потенційної температури.

Для розрахунку характеристик пограничного шару викорис-талася інформація про тиск і температуру на поверхні землі, а та-кож дані на ізобаричних поверхнях, представлених у вузлах регу-лярної сітки, а шорсткість землі – залежно від характеру підсти-люючої поверхні.

Порівняльний аналіз розрахованих даних за формулами (1-11) і з роботи [5] тимчасового ходу викиду активності протягом 10 днів аварії на ЧАЕС показав задовільний збіг (рис. 1). На графіку виникли доволі великі розбіжності на 2, 5, 6 та 7 днях. Це можна пояснити тим, що дані з роботи [5] можуть не у повній мірі відо-бражати реальні показники за цей період, так як вони склалися з двох замірів за добу і можуть мати доволі велику динамічну по-хибку.

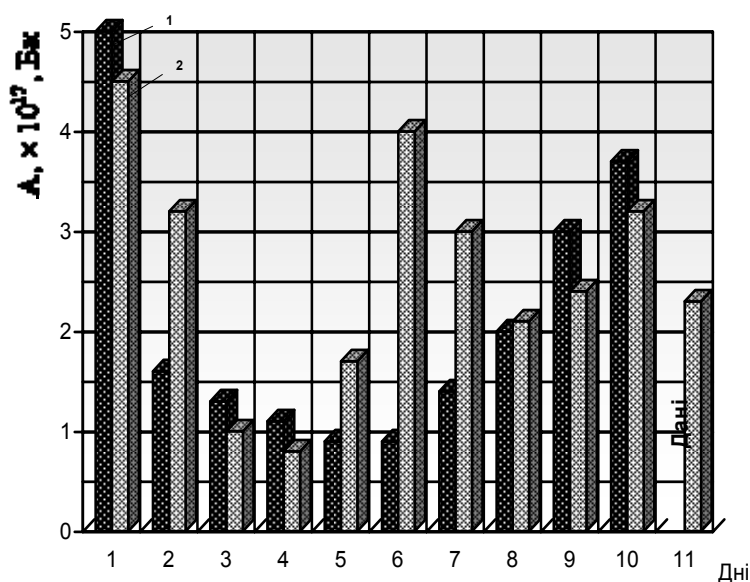


Рис. 1 – Активність викиду у перші дні аварії на ЧАЕС (1– за да-ними [5], 2 – за запропонованою моделлю)

Таку зміну сумарної активності радіонуклідів можна пояснити тим що у другій половині 27 квітня 1986 року мало місце горіння графіту і було суттєве підвищення температури у зруйнованому реакторі після його засипання з вертольотів з 4 травня 1986 року.

На рис. 2 представлені дані про концентрації радіонуклідів у повітрі при аварії на ЧАЕС, які отриманні різними способами за експериментальними даними [6]. Графік показує, що розрахунки за запропонованою моделлю доволі точно відображають реальні співвідношення викидів Sr-90/Cs-137 та Pu-238/Cs-137 із зруйнованого реактора.

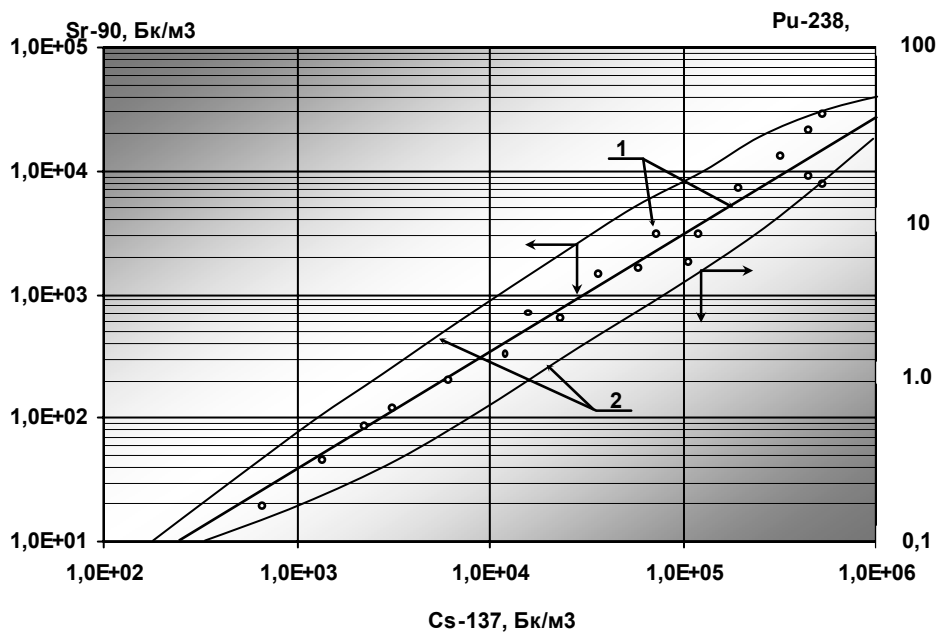


Рис. 2 – Концентрація радіонуклідів у повітрі (1 – за експериментальними даними, 2 – за запропонованою моделлю)

**Висновки.** Таким чином, представлена фізико-математична модель дозволяє розрахувати активність викидів при радіаційній аварії на 4-ом блоці ЧАЕС. Немонотонний характер дії джерела аварії є однією з причин складної картини радіоактивного випадання в ближній зоні ЧАЕС.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия, т. 61, вып. 5, 1986. – С. 301-320.

2. Израэль Ю.А., Петров В.Н., Саверов Д.А. Моделирование радиоактивных выпадений в ближней зоне от аварии на Чернобыльской АЭС // Метеорология и гидроскопия. № 7, 1987. – С. 5-13.
3. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской АЭС (Ю.А. Израэль) // Метеорология и гидроскопия. № 2, 1987. – С. 5-18.
4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. – 287 с.
5. Чернобыльская катастрофа. Под ред. В.Г. Барьяхтара. – К.: Наукова думка, 1995. – 560 с.
6. Радиоэкологические последствия Чернобыльской аварии. – М.: 1991. – 201 с.

## УДК 693.52

*Баранов А.Н., д-р техн. наук, проф., УИПА,  
Морозов А.И., нач. отдела, УГЗУ*

### **ПОВЫШЕНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОМОЛЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В МЕЛЬНИЦАХ БАРАБАННОГО ТИПА**

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

Разработаны методы повышения взрывобезопасности при помоле твердого топлива в мельницах барабанного типа на базе исключения взрывоопасной концентрации угольной пыли. Обоснована необходимость контроля гранулометрии угля подаваемого на помол и соответствующей настройки сепараторов при помоле в замкнутом цикле

**Постановка проблемы.** Рост мощностей электростанций и других производств, работающих на органическом топливе, выдвигает все более строгие требования к надежности, безопасности и экономичности эксплуатации оборудования. Поэтому непрерывно продолжаются поиски новых принципов их работы. Это особенно характерно для производств, на которых применяется твердое топливо.

Несмотря на значительные достижения в технике пылеприготовления и сжигания топливной пыли, число взрывов в пылесис-

стемах остається більшим, а в деяких випадках ці вибухи призводять до важких аварій з нещасливими випадками і з руйнуванням обладнання.

Стремління до підвищення надійності і економічності, при крайньому різноманітності властивостей палив, привело до появи більшого різноманітності систем пилеприготування і зжигання пил. При цьому одночасно розвиваються системи з тонким измельченням і отриманням пил рівномірного фракційного складу з глибокою попередньою підсушкою і з накопленням в проміжних бункерах, і системи прямого вдування в зону горіння пил грубого помолу.

Для забезпечення безпеки роботи обладнання при використанні широкого діапазону палив необхідно вивчити механізм впливу факторів измельчення на можливість виникнення і розвитку вибуху пил і розробити заходи по їх запобіганню.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато вчених світу в останні десятиліття працюють над проблемою розкриття природи самозгорання вугілля. Однак, незважаючи на це, на жаль, практично незвіданою залишається початкова стадія процесу самозгорання [1].

Практично будь-яке ланка технологічної ланцюжки від видобутку вугілля на розрізі до зжигання його в певній чи іншій мірі піддається небезпеці вибуху або пожежі. Боротьба з вибухами і пожежами на виробництвах, пов'язаних з використанням вугілля, розвивається по декільком напрямках [2-6]:

- вдосконалення технологічних процесів видобутку і переробки вугілля з метою скорочення часу контакту палива з атмосферним киснем і вологою, зменшення пилоутворення, виключення потенціальних джерел запалювання (перегріву);
- використання спеціального вибухозахищеного обладнання і спеціальних будівельних конструкцій;
- обробка вугілля спеціальними речовинами, інгібуючими процеси самозгорання і перешкоджають виникненню вибуху;
- проведення організаційно-технічних заходів на виробництві, пов'язаних, зокрема, з посиленням виробничої дисципліни;

- использование специальных автоматических систем противопожарной защиты и взрывоподавления.

К сожалению, следует отметить, что большинство мероприятий, проводимых по этим направлениям, не дают должного эффекта. Так, в технологии практически невозможно контролировать образование просыпей угля, а также возникновение взрывоопасных концентраций угольной пыли в моменты запуска и останова оборудования, при авариях оборудования. Наличие в помещениях большого количества кабельных трасс, в том числе силовых, проведение сварочных и других огневых работ не гарантируют от возникновения источников зажигания или перегрева. Как показывает опыт, несмотря на значительное укрепление производственной дисциплины, тем не менее, большинство аварийных ситуаций и, в том числе, взрывов и пожаров, происходит по вине человека.

**Постановка задачи и ее решение.** Одним из направлений, развитие которого может дать существенное повышение уровня взрыво- и пожаробезопасности при сравнительно небольших затратах на внедрение, является оптимизация процесса помола угля. Эта задача приобретает особую актуальность при использовании угля во вращающихся печах обжига цементного клинкера. Специфика использования угля во вращающихся печах заключается в том, что зола топлива должна адсорбироваться в зоне жидкофазных реакций. Только в этом случае полностью произойдут реакции клинкерообразования, поэтому в зависимости от типоразмера печи должна проводиться соответствующая подготовка топлива, с учетом свойств углей и заданного гранулометрического состава. Обеспечить заданный гранулометрический состав возможно только при использовании замкнутого цикла помола.

Каменный уголь, применяемый в цементной промышленности, должен иметь теплоту сгорания 25000-28000 дж/кг, зольность 12-15%, содержание летучих компонентов 8-22%, влажность в естественном состоянии – не более 12%.

Для классификации угля важное значение имеет содержание в нем летучих компонентов. Потери массы при сгорающем угле без доступа воздуха представляют содержание летучих компонентов.

Угли молодых геологических формаций по сравнению с углями более древних формаций содержат большее количество кислорода, водорода и азота, в процессе горения эти элементы и их



соединения выделяют больше летучих составляющих. От содержания летучих компонентов зависит длина пламени при сжигании угля на колосниковой решетке. Угли с высоким содержанием летучих компонентов дают на колосниках длинный факел, и поэтому их называют длиннопламенными, угли с низким содержанием летучих компонентов образуют короткий факел и называются короткопламенными. Однако свойства угля меняются при сжигании его в виде угольной пыли во вращающихся печах. Длиннопламенные угли, подаваемые в виде пыли в горящую вращающуюся печь, распадаются с большей скоростью. Летучие компоненты газифицируются и немедленно сгорают, а частица кокса получает высокую пористость; это способствует интенсивному и полному доступу кислорода, что приводит к быстрому сгоранию кокса. Рассмотренные особенности ускоряют процесс горения, локализуя его на коротком участке вращающейся печи, благодаря чему образуется короткий факел.

Короткопламенные угли содержат мало летучих компонентов и при сжигании во вращающейся печи распадаются медленно. Вследствие низкого содержания летучих компонентов они горят медленнее, на более длинном участке печи создают более плотный кокс. В результате так называемый короткопламенный уголь при применении во вращающихся печах в виде угольной пыли образует длинный факел. Оптимальное содержание летучих компонентов в угле при сжигании его в порошкообразном состоянии равно 18-22%.

При подготовке к помолу угля необходимо принять меры по предотвращению взрыва угольной пыли. Взрыв происходит при наличии следующих факторов [7]:

взрывоопасная концентрация угольной пыли в газовой смеси;

достаточное количество кислорода в газовой смеси;

достаточная тепловая энергия.

Для каменного угля взрывоопасный диапазон концентраций лежит между 150 г (нижний предел) 1500 г (верхний предел) на 1м<sup>3</sup> воздуха при нормальных условиях.

Концентрация кислорода в помольно-сушильных агрегатах не должна превышать 14%. Для снижения концентрации кислорода часть отходящих газов приходится рециркулировать. Опасные ситуации в отношении концентрации O<sub>2</sub> иногда возникают при запуске установок. При снижении концентрации O<sub>2</sub> повыша-

ется нижний и понижается верхний взрывоопасный предел концентрации пыли, что сужает взрывоопасный диапазон.

Тепловая энергия, необходимая для начала взрыва может поступать в результате самовозгорания угля, перегрева угля при сушке слишком горячими газами и перегрева деталей оборудования.

Тонкость помола угля должна соответствовать 1,5-2% остатка на сите №02 (200 мкм) и 15% остатка на сите №009 (88 мкм). Как правило, чем короче вращающаяся печь, где сжигают уголь, тем тоньше его измельчают.

В настоящее время процесс измельчения твердых тел, несмотря на ряд обстоятельных исследований в этой области, не является хорошо изученным. Отдельные решения с успехом применяются лишь для некоторых конкретных задач конструирования и эксплуатации мельниц. Однако общего решения проблемы все еще не найдено. В значительной мере это связано с тем обстоятельством, что влияние ряда факторов на измельчение твердых материалов в большинстве работ не учитывалось. Между тем, роль некоторых из них, таких, как среда, в которой производится измельчение, строение и свойства твердых материалов очень велика. Ассортимент мелющих тел в мельницах барабанного типа – один из решающих факторов, влияющих на эффективность помола. Мощность привода современных помольных агрегатов достигает 2000 квт. Учитывая, что более 90% энергии при помоле, к сожалению, расходуется на нагрев материала в результате соударения мелющих тел, в мельнице могут существовать зоны с высокой температурой, особенно в зоне контакта крупных мелющих тел.

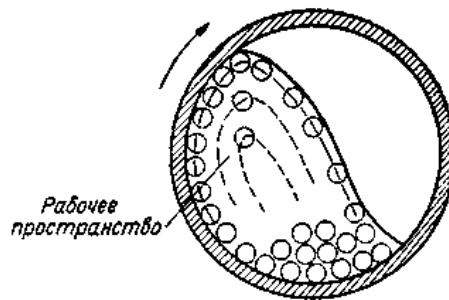
Исследованию соударения мелющих тел и измельчаемого материала посвящен ряд работ авторов и в рамках данной статьи этот вопрос не рассматривается. [8-10].

Взрывоопасная концентрация угольной пыли в газовой смеси может наблюдаться в некоторых участках мельниц из-за ее неравномерности распределения в объеме мельницы.

Помол материала в мельнице осуществляется в несколько этапов. Диаграммы помола показывают, что количество крупного класса материала, а, соответственно, средний размер частиц измельчаемого материала уменьшается с увеличением расстояния от зоны загрузки, т.е. времени помола. Сопоставление различных диаграмм помола указывает, что их вид зависит от свойств размываемого материала и от условий размола (количество мелющих

тел, их размеры и пр.). Но при значительных отличиях в скорости уменьшения содержания крупного класса все они обладают общими чертами. Характерной особенностью кривых является неравномерная скорость уменьшения содержания крупного класса: вначале она наиболее велика, затем все более и более замедляется.

Как известно, мелющие тела при обычных скоростях вращения мельниц двигаются по окружности в течение около 55% от общей продолжительности цикла, а затем совершают полет по параболической траектории. В конце параболической траектории мелющее тело производит удар, и цикл начинается снова. Продолжительность цикла не совпадает с продолжительностью одного оборота мельницы. Под «рабочим пространством» подразумевается объем, занимаемый контуром вращающейся загрузки, состоящей из мелющих тел и размалываемого материала, а под «свободным объемом» рабочего пространства понимается рабочее пространство за вычетом объема, занятого мелющими телами. «Рабочее пространство» показано схематически на рис. 1.



**Рис. 1 – Рабочее пространство мельницы**

Однако траектории движения частиц материала отличаются от траектории движения мелющих тел, и они тем больше отличаются, чем мельче частицы, т.е. с уменьшением размера частиц материала возрастает его концентрация в «свободном объеме» зоны поперечного сечения мельницы теоретически свободной. В настоящее время принята гипотеза о полете мелющих тел и материала по параболической траектории после отрыва от футеровки практически без учета сопротивления воздуха, т.к. мелющие тела имеют такую плотность и размеры, что сопротивлением воздуха можно пренебречь. Для крупных частиц материала эта гипотеза также оправдана. Отклонения траекторий частиц, сравнимых по

размеру с мелющими телами, от траектории движения загрузки отличаются незначительно. Совершенно другая картина наблюдается для мелких частиц. Движение мелких частиц зависит от сопротивления воздуха. Скорость мелких частиц меньше скорости мелющих тел и в результате их столкновения происходит изменение направления движения частиц материала. Учитывая равновероятность изменения направления от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$  можно считать, что частицы определенных размеров будут распределены во всем поперечном сечении мельницы, а не только в «рабочем пространстве». Законы распределения частиц во всем поперечном сечении мельницы зависят от размера частиц, т.к. на частицу после получения импульса силы от элементов помольного агрегата или других частиц действуют альтернативные силы: гравитационные и лобового сопротивления. От соотношения этих сил зависит траектория движения частиц. Наличие пыли в поперечном сечении мельницы зависит от расстояния от зоны загрузки.

Характеристикой измельчаемого материала является распределение его частиц по размерам, или его гранулометрический состав. Значения интегральной функции  $R(\delta)$  соответствуют массовой доле частиц, имеющих размер крупнее  $\delta$ . Существуют различные аналитические зависимости, описывающие опытные кривые полных остатков. Наибольшее распространение получила зависимость Розина-Раммлера

$$R(\delta) = \exp(-b \delta^n), \quad (1)$$

где  $b$  и  $n$  — параметры идентификации кривой к опытным данным.

Наряду с кривой полных остатков  $R(\delta)$  распространена другая интегральная характеристика - кривая полных проходов  $D(\delta)$ , каждая точка которой показывает массовую долю частиц не крупнее, а мельче заданного размера  $\delta$ . Обе функции связаны друг с другом соотношением

$$R(\delta) + D(\delta) = 1 \quad (2)$$

Распределение материала в «свободном объеме» зависит от расстояния до загрузочной части мельницы. Так, например, если на входе мельницы гранулометрический состав характеризуется числами, приведенными в таблице 1, то материал представлен

ний частицами менее 0,5 мм составляет менее 6-8% измельчаемого в данном сечении (рис. 2).

Таблица 1

№ п.п.	Размер ячейки сита в м, $\delta$	Остаток на сите в долях к исходной навеске, $R(\delta)$	Расчетное значение $R(\delta)$ по уравнению Розена-Раммлера
1	0,004000	0,35400	0,345389
2	0,005000	0,22300	0,245747
3	0,006000	0,17200	0,171872
4	0,007000	0,14500	0,118422
5	0,008000	0,07100	0,080516
6	0,010000	0,03500	0,035940

Уравнение Розена-Раммлера

Коэффициенты

 $b$  $n$ 

1026,705

1,244768

$$R(\delta) = e^{-b\delta^n}$$

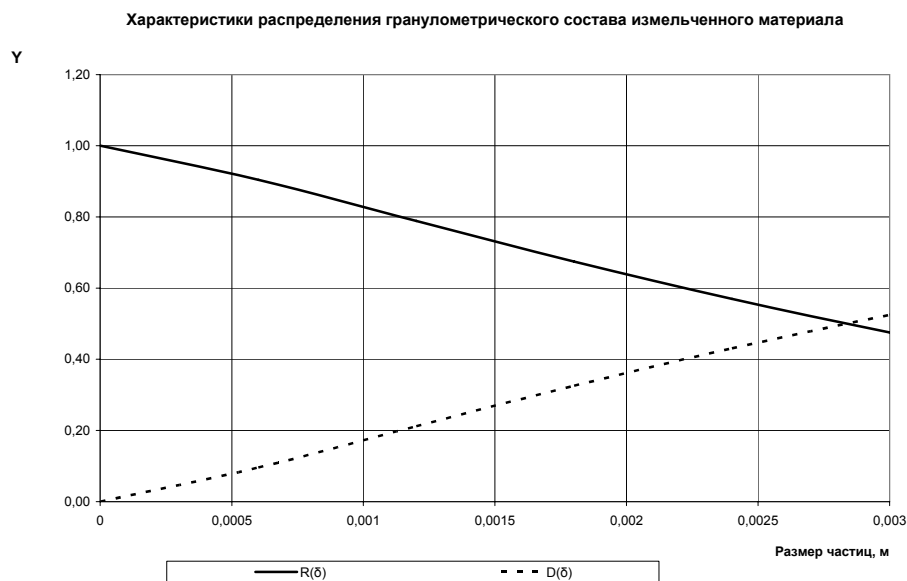


Рис. 2

Если же в сечении мельницы гранулометрический состав характеризуется числами в 10 раз меньше (таблица 2), то материал представленный частицами менее 0,5 мм составляет около 80% измельчаемого в данном сечении (рис. 3). Анализ информации приведенный на рисунках 2 и 3 показывает, что концентрация

Баранов А.Н., Морозов А.И.

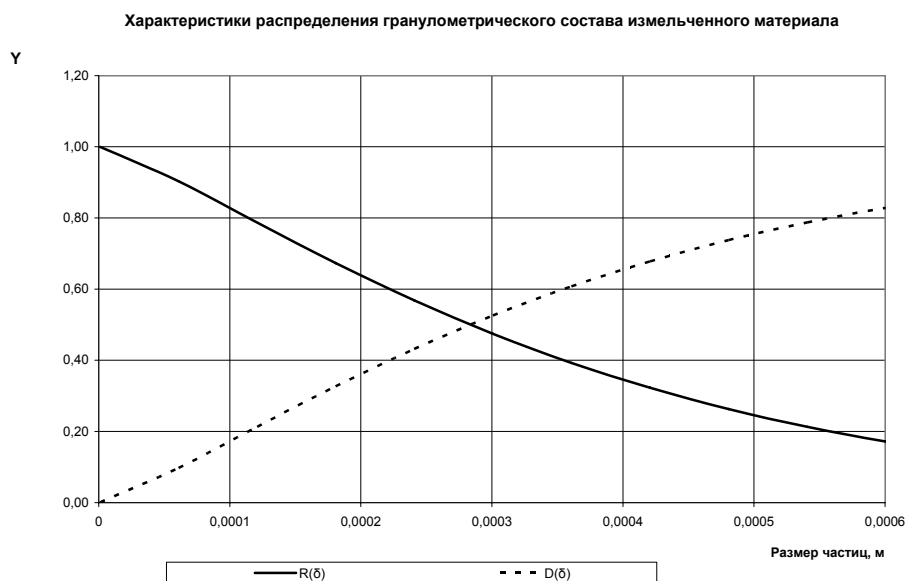
пыли (частицы диаметром менее 500 мкм) в различных сечениях мельницы отличаются в 10-15 раз. концентрация пыли изменяется по длине мельницы непрерывно, поэтому в мельнице существует сечение, где наблюдаются ее опасные значения, если минимальная концентрация угольной пыли будет ниже 1500 г на 1 м<sup>3</sup> воздуха.

**Таблица 2**

№ п.п.	Размер ячейки сита в м, $\delta$	Остаток на сите в долях к исходной навеске, $R(\delta)$	Расчетное значение $R(\delta)$ по уравнению Розена-Раммлера
1	0,000400	0,35400	0,345389
2	0,000500	0,22300	0,245747
3	0,000600	0,17200	0,171872
4	0,000700	0,14500	0,118422
5	0,000800	0,07100	0,080516
6	0,001000	0,03500	0,035940

<b>Уравнение Розена-Раммлера</b>  $R(\delta) = e^{-b\delta^n}$	Кoeffициенты	
	$b$	$n$
	18039,05	1,244768



**Рис. 3**

Для того чтобы исключить опасную концентрацию угольной пыли в мельнице необходимо подавать измельчаемый материал такого гранулометрического состава и такое количество материала и аспирационного воздуха, чтобы концентрация угольной пыли была выше 1500 г на 1м<sup>3</sup> воздуха. В мельнице диаметром 3,2 м находится около 1200 кг угля на погонный метр. Подача исходного угля в мельницу 15-20 кг/сек и крупки 30-40 кг/сек. Подача аспирационного воздуха 1-2 м<sup>3</sup>/сек. Как уже ранее говорилось, мелкая фракция равномерно распределена по сечению мельницы. При помоле в замкнутом цикле, практически все частицы диаметром менее 0,2 мм (200 мкм) попадают в готовый продукт и в материале возвращаемом на домол из сепаратора (крупке) наблюдается малое содержание частиц менее 200 мкм. Пылевидный материал находится в исходном материале подаваемом на помол и в крупке (фракция 200-500мкм). Его общее содержание должно быть более 5% от суммарной массы исходного материала подаваемого на помол и крупки.

**Выводы.** Для исключения взрывоопасной концентрации угольной пыли в мельнице необходимо подавать измельчаемый материал такого гранулометрического состава и в таком соотношении материал и аспирационный воздух, чтобы концентрация угольной пыли была выше опасных значений. Поэтому необходим контроль гранулометрии угля подаваемого на помол и соответствующей настройки сепараторов при помоле в замкнутом цикле.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Окисление и самовозгорание твердого топлива / В.И.Саранчук, А.Д.Русчев, В.К.Семенов и др. // Киев: Наукова думка, 1994. – 264с.
2. Самовозгорание и взрывы пыли натуральных топлив. В.В. Померанцев, С.Л. Шагалова, В.А. Резник и др.- Л.: Энергия. Ленинградское отделение, 1978.
3. Амельчугов С.П., Захаренко Д.М. Автоматизированная система взрывоподавления и противопожарной защиты трактов топливоподач тепловых электростанций // Сибирский вестник пожарной безопасности. 1999.- №2. - С.42-47.
4. Киселев Я.С., Киселев В.Я. Проблемы самовозгорания органических материалов. Сообщение 1. Физика самовозгорания // Пожаровзрывобезопасность №1, 1992.

5. Киселев Я.С., Киселев В.Я. Проблемы самовозгорания органических материалов. Сообщение 2. Прогноз и профилактика самовозгорания// Пожаровзрывобезопасность №2, 1992.
6. Самовозгорание и взрывы пыли натуральных топлив. В.В. Померанцев, С.Л. Шагалова, В.А. Резник и др.- Л.: Энергия. Ленинградское отделение, 1978.
7. ГОСТ 12.1.044-83. Пожаровзрывоопасность горючих пылей. Общие требования.
8. Баранов А.Н., Морозов А.И. Оценка количества контактов мелющих тел и частиц материала, измельчаемого в шаровых мельницах. // Науковий вісник будівництва. Вип. 26. - Харків: ХДТУБА - 2004. - С. 210-214.
9. Баранов А.Н., Морозов А.И. Оценка возникающих напряжений в измельчаемом материале при центральном соударении двух шаров// Науковий вісник будівництва. Вип. 28. - Харків: ХДТУБА - 2004. - С. 223-227.
10. Баранов А.Н., Морозов А.И. Влияние ассортимента мелющих тел в мельницах барабанного типа на эффективность разрушения измельчаемого материала при помоле. //Вісник НТУ «ХПІ». Вип.. 30. - Харків: НТУ «ХПІ» - 2006. - С. 118-122.

## УДК 331.4:504

*Барбашин В.В., канд. техн. наук, нач. каф., УЦЗУ,  
Чіжов В.Ф., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,  
Пономар В.В., ад'юнкт, УЦЗУ,  
Силенко Р.М., ад'юнкт, УЦЗУ*

### **ДЕЯКІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

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

Розглянуті специфічні види ризику експлуатації ядерних енергоблоків у порівнянні з іншими енергетичними установками. Проведено аналіз можливих причин їх виникнення та запропоновані шляхи щодо їх запобігання

**Постановка проблеми.** Атомна електростанція (АЕС) в нормальному режимі роботи, з одного боку, є об'єктом з безпечним

---

Деякі аспекти проблеми підвищення рівня радіаційної безпеки при експлуатації атомних електростанцій



джерелом радіоактивного випромінювання, а з іншого боку, є об'єктом з підвищеним ризиком експлуатації і стає дуже небезпечним джерелом радіації при аваріях (руйнуваннях) ядерних енергоблоків. Тому міжнародні вимоги до рівня радіаційної безпеки АЕС постійно зростають [1].

Невід'ємною частиною радіаційного захисту на АЕС є радіаційний моніторинг, який дозволяє своєчасно отримувати необхідну інформацію для ухвалення рішень як по попередженню надзвичайних (позаштатних) ситуацій на АЕС, так і для проведення заходів щодо їх ліквідації. У плані забезпечення радіаційної безпеки АЕС проводиться оцінка ризиків експлуатації ядерних енергоблоків АЕС, результати якої використовуються для попередження надзвичайних (позаштатних) ситуацій. Тому вирішення питань запобігання специфічним видам ризиків експлуатації ядерних реакторів призводить до підвищення рівня безпеки експлуатації АЕС і є актуальним [2,3].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В порівнянні з іншими установками, призначеними для вироблення енергії, ядерні реактори відрізняються двома особливими властивостями :

- скупчення в них дуже великої кількості радіоактивних речовин, від дії яких слід захистити персонал і викид яких у великих кількостях в навколишнє середовище призводить до тяжких наслідків;
- тривале виділення істотної кількості енергії, навіть після зупинки реактора, яке підтримується за рахунок ділення радіоактивних продуктів, що створюються в активній зоні реактора.

Отже, безпека ядерної енергоустановки базується на надійному захисті від джерел випромінювання і на можливості їх локалізації.

Якщо джерела радіаційної небезпеки розташовані точно в призначених для них місцях, то захист може бути забезпечений розміщенням поглинаючих екранів, виконаних із спеціальних матеріалів відповідної товщини [4].

Ускладнення виникають, головним чином, у зв'язку з можливістю виходу радіоактивних речовин за передбачені межі. Тому необхідно встановити можливі причини такого виходу.

В більшості випадків радіоактивні продукти утворюються усередині матеріалу, що ділиться (табл.1). При цьому бажано, щоб вони в нім залишалися до тих пір, поки паливо не буде перероб-

лено на спеціалізованому заводі. Для цього потрібне відповідне охолодження як самого палива, так і паливних оболонок.

**Таблиця 1 - Максимальна активність деяких основних продуктів ділення в ТБк\***

	Активна зона, через 2 години після зупинки	Відпрацювавши паливо	Перший контур	Газоподібні відходи
Інертні гази	$10^7$	$10^6$	$3 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$
Йоди	$2 \cdot 10^7$	$10^6$	20	
Цезій	$10^7$	$2 \cdot 10^4$		

\* 1 ТБк =  $10^{12}$  Бк = 27 Кі. Реактор 900 МВт, максимальна ступінь вигорання 33 000 МВт.доб/т урана.

Разом з тим:

- в нормальних умовах експлуатації ядерний реактор не володіє «властивим» рівнем потужності. Насправді, щоб забезпечити його роботу протягом одного року і більш без заміни палива і компенсувати різні фізичні ефекти, пов'язані з роботою на потужності, необхідно, щоб активна зона містила кількість речовини, що ділилася, яка значно перевищує критичну масу в холодному стані. Отже, потужність, що виробляється таким чином, залежить від поєднання цілого ряду параметрів, які повинні регулюватися ззовні;

- в деяких випадках, енергія, що виділяється в ядерному реакторі, може наростати дуже швидкими, неконтрольованими темпами і обмежуватися тільки за рахунок дії негативних ефектів реактивності, пов'язаних з підвищенням температури або розсіянням палива в результаті дезінтеграції;

- виділення енергії паливом, що брало участь в ланцюговій реакції, вже не може бути припинено на пізнішому етапі, навіть після припинення реакції. Дійсно, перш ніж досягти стабільного стану, продукти ділення повинні самі, через свою радіоактивність, виділити певну енергію, що вони і роблять з періодом розпаду, властивим кожному радіоактивному елементу. Причому цей період може бути дуже коротким (менше однієї секунди), середній три-

Деякі аспекти проблеми підвищення рівня радіаційної безпеки при експлуатації атомних електростанцій

валості (близько декілька місяців або років), або дуже тривалим (у декілька сотень або тисяч років). Ця залишкова потужність, хоча і убуває, але протягом довгого часу залишається достатньо істотною, що вимагає подальшого охолодження палива (табл.2).

**Таблиця 2 - Залишкова потужність, викликана радіоактивністю\***

Термін з моменту припинення реакції	Доля початкової теплової потужності	Виділена теплова потужність в МВт
1 секунда	17 %	500
1 хвилина	5 %	150
1 година	1,5 %	45
1 день	0,5 %	15
1 тиждень	0,3 %	9
1 місяць	0,15 %	4,5
1 рік	0,03 %	1
10 років	0,003 %	0,1
100 років	0,001 %	0,03
1000 років	0,0002 %	0,006

\* Реактор 3000 МВт, тобто приблизно 1000 МВт в кінці циклу. При завантаженні ураном, максимальний коефіцієнт вигорання палива складає 33 000 МВт.доб/т.

**Постановка завдання та його вирішення.** Зазначені вище фактори визначають специфічні види ризиків експлуатації ядерних енергетичних установок, запобігання яким в значній мірі підвищує безпечність експлуатації АЕС в цілому. В зв'язку з цим метою роботи є визначення можливих шляхів запобігання специфічним видам ризиків при експлуатації ядерних енергоблоків АЕС.

Згідно визначення МАГАТЕ ризик – це багатофакторна величина, яка виражає небезпеку, загрозу або ймовірність шкоди або шкідливих наслідків, пов'язаних з дійсною або потенційною незахищеністю. Він пов'язаний з такими величинами як вірогідність виникнення особливо шкідливих наслідків, а також зі значеннями та характером цих наслідків [5].

Для визначення ризику необхідно розглянути формування сценаріїв які описують що може статися з джерелом надзвичайної ситуації.

Нехай  $S \in S = \{ S_1, \dots, S_n \}$  – кінцева множина сценаріїв. Позначимо через  $S_0$  сценарій успіху або «як і було заплановано». Далі позначимо через  $p_i, i = \overline{1, n}$  ймовірність сценарію  $S_i$ ,  $w_i$  – втрати (фізичний збиток, фінансові збитки, фатальні наслідки, погіршення стану навколишнього середовища), які можуть виникнути в результаті реалізації  $S_i$ -го сценарію.

При кількісній оцінці ризику потрібно розглянути всі можливі сценарії із множин  $S$ . Тоді повна множина триплетів може бути прийнята за формальне визначення ризику

$$R = \{ \langle S_i, p_i, w_i \rangle \}_s. \quad (1)$$

При такому визначенні ризику небезпеку можна визначити як множину пар  $\{S_i, w_i\}$  і тоді небезпека буде формально визначатись як

$$H = \{ \langle S_i, w_i \rangle \}_s.$$

Надійність систем є окремим випадком (1) і може бути визначена як

$$Rel = \{ \langle S_i, p_i, w_i \rangle \}_{\bar{S}}.$$

де  $\bar{S}$  - множина сценаріїв, пов'язаних з можливими наслідками відмови системи.

При оцінці видів ризиків, пов'язаних з експлуатацією ядерного енергоблока, слідує, як і для будь-якої промислової установки, розрізняти ризик потенційний, якого слід побоюватися за відсутності яких-небудь захисних заходів, і ризик залишковий, не зниклий, не дивлячись на заходи, які були прийняті як для запобігання аваріям, так і для пом'якшення їх наслідків у разі виникнення. Саме на досягнення цих двох цілей і направлено забезпечення безпеки.

Оскільки потенційний ризик чітко визначений і оцінюється по кількості і природі присутніх радіоактивних речовин, вся труд-

ність полягає в оцінці залишкових видів ризиків, оскільки ніколи не можна претендувати на те, що цей ризик можна звести до нуля.

При підході до проблем безпеки поняття вірогідності виникає цілком природним чином. Цілком логічно і природно прикладати всі зусилля до того, щоб виникнення аварії стало тим менш вірогідним, чим серйозніше її наслідок для навколишнього середовища. Очевидно, необхідно прагнути до того, щоб найважча аварія з велими серйозними наслідками могла розглядатися як надзвичайно маловірогідна [6].

Це не означає, проте, що ситуації з нижчою вірогідністю не заслуговують уваги. Тому всі аварії, виникнення яких вважається за можливе, повинні бути враховані і вивчені при проведенні аналізу аварій, а захисні системи і системи безпеки повинні запобігати їх розвитку або обмежувати їх наслідки, тобто дійсно забезпечувати ефективне досягнення заданого рівня безпеки [7,8].

Таким чином для запобігання специфічним видам ризиків потрібні:

- ефективний контроль за ланцюговою ядерною реакцією, а, отже, і за потужністю;
- підтримання теплогідравлічних умов, здатних забезпечити необхідне охолодження палива з метою збереження герметичності оболонок твелів і, отже, збереження першого бар'єру безпеки;
- утримання радіоактивних продуктів, що містяться не тільки в паливі, але і в теплоносії першого контуру, в реакторній будівлі, що становить захисну оболонку, і в інших приміщеннях блоку.

Ці заходи складають ті три основні функції безпеки, на забезпеченні яких і ґрунтується вся безпека експлуатації ядерних енергетичних установок.

**Висновки.** При оцінці рівня радіаційної небезпеки експлуатації ядерних реакторів необхідно враховувати сукупність специфічних факторів ризику, що можуть призвести до позаштатних (аварійних) ситуацій на АЕС. В цих випадках ці види ризиків підлягають подвійній оцінці: по ступеню ймовірності виникнення аварії (надзвичайної ситуації) радіаційного характеру і по ступеню важкості її наслідків.

Для попередження специфічних видів ризику при експлуатації ядерних енергоблоків для підвищення загального рівня безпеки АЕС необхідна поступова розробка ряду принципів і методик

щодо оцінки рівнів ризику, які повинні використовуватись як на етапі проектування, так і на етапах будівництва та експлуатації АЕС.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Стан природно-техногенної безпеки України та основні напрямки підвищення її рівня. /МНС, НАНУ.-К.: Надзвичайна ситуація 2/2001 додаток.-95с.
2. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2005 році. /Державний комітет ядерного регулювання України.-Київ, 2005.-52с.
3. Общие положения об обеспечении безопасности атомных станций (ОПБ 88) ПН АЭ Г-1-011-8.
4. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) / МОЗ України.-К., 1997. -122с.
5. Заславский В.А. и др. Методологические аспекты обеспечения безопасности сложных технических объектов в условиях ограниченных ресурсов/ Ядерная и радиационная безопасность.-2000.- №4.- С.26-29.
6. Комаров Ю.А., Шевченко А.Э. Статистический анализ данных о нарушениях и от казах в оборудовании АЭС. //Труды Одес. Политехн. Ун-та. – 1999. –Вып 2 (8), ст.. 106-108.
7. Еременко В.А. Пути обеспечения безопасного управления атомными энергетическими установками.-К: Техника,1988.-256 с.
8. Диплом Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем: Пер. С англ.. –М: Мир, 1984. – 318 с.

УДК 351.861

*Гузенко В.А., нач. каф., УЦЗУ,  
Неклонський І.М., ст. викл., УЦЗУ*

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ОКРЕМИХ ПЛАНІВ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ, ЯКІ ВИНИКЛИ ВНАСЛІДОК ПОЖЕЖ ТА ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ, В СУЧАСНИХ УМОВАХ**

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

Розглянута методика оцінки впливу вибуху на людей та об'єкти під час розробки і реалізації окремих планів реагування на надзвичайні ситуації, які пов'язані з пожежами та вибухами боєприпасів

**Постановка проблеми.** Забезпечення у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій (далі НС) на об'єктах зберігання вибухових речовин і боєприпасів оперативного реагування органів управління, сил і засобів функціональних та територіальних підсистем єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайній ситуації (далі Системи), запобігання загибелі людей, зменшення матеріальних втрат та організації першочергового життєзабезпечення постраждалого населення; систематизованого і своєчасного надання допомоги постраждалому населенню з урахуванням останніх подій пов'язаних з пожежами та вибухами боєприпасів на базах зберігання біля м. Артемівськ та с. Новобогданівка є актуальною проблемою взаємодії підсистем реагування регіонального, місцевого та об'єктового рівня.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми удосконалення системи взаємоузгоджених дій при ліквідації надзвичайної ситуації на об'єктах зберігання вибухових речовин вирішуються, як правило, без науково-теоретичного забезпечення цих заходів і розглянуті в роботі [1].

**Постановка завдання та його вирішення.** Розробка окремих планів реагування на НС, пов'язаних з пожежами та вибухами боєприпасів, для забезпечення готовності функціональних і територіальних підсистем до оперативного реагування на НС з використанням методики оцінки впливу вибуху на людей та об'єкти та автоматизованих і комп'ютерних засобів.

Основними завданнями таких планів реагування на НС повинні бути: визначення можливих джерел НС та їх впливу на на-

вколишнє природне середовище; уточнення зон можливих руйнувань населених пунктів та особливо важливих об'єктів господарювання, шляхів сполучення і комунікаційних мереж; осередків пожеж, радіоактивного, хімічного або іншого зараження; визначення можливих втрат населення, сил та засобів Системи; встановлення кількісних та якісних показників виведення з ладу транспортних засобів, промислових, громадських і житлових будинків та споруд, комунальних і енергетичних мереж, засобів зв'язку, магістральних газо-, нафто- або інших трубопроводів, залізничних колій, мостів, шляхопроводів; уточнення розмірів можливих збитків; визначення характеру та обсягів аварійно-рятувальних і невідкладних відбудовних робіт, проведення розрахунків сил та засобів Системи, необхідних для їх виконання; визначення порядку та організації взаємодії, всебічного забезпечення дій підпорядкованих сил Системи у зоні НС та управління ними.[2,3]

Вирішення цих завдань рекомендується проводити шляхом запровадженням загальнодержавної комп'ютеризованої системи контролю безпечного функціонування потенційно-небезпечних об'єктів з урахуванням новітніх систем оцінки рівнів ризику під час організації ліквідації НС на складах боєприпасів.

Для забезпечення якісної розробки і реалізації відповідних планів реагування на НС пропонується використання результатів наукових досліджень щодо розрахунку потужності вибуху, оцінки його впливу на людей та оцінки руйнування будівель і споруд.

Для прогнозування можливих наслідків від вибуху пропонується використати положення класичної теорії детонації [4] та, як наслідок, експериментально встановлений закон кубічного кореня [5], який виражає залежність коефіцієнта руйнування ( $K$ ) від відстані до епіцентру вибуху ( $R, м$ ), теплоти розкладання вибухової речовини ( $Q, ккал./кг$ ) та маси вибухової речовини ( $M, кг$ )

$$K = \frac{R \cdot (1 + (7 \cdot 1000)^2)^{0,0625}}{\sqrt[3]{0,4 \cdot M \cdot 4,52 \cdot Q}} \quad (1)$$

Для обґрунтування оцінки впливу вибуху на людей та оцінки руйнування будівель і споруд пропонується методика, яка оснований на теорії експертних оцінок.



Комплексна оцінка руйнування будівель і споруд ґрунтується на експертній оцінці робочою групою з 10 експертів показників коефіцієнта руйнування ( $K$ ) та прогнозуванні відповідних сценаріїв розвитку ситуації.

На основі аналізу ситуації по методу сценаріїв [6] експертами були спрогнозовані основні варіанти розвитку ситуації, які наведені в табл.1.

В ході того ж опитування  $m=10$  експертів була побудована матриця попередніх оцінок коефіцієнта руйнування ( $K$ )  $P_{екс} = \{p_{ik}\}$ , де  $i=1, \dots, n$  – номер варіанта ситуації,  $k=1, \dots, m$  – номер експерта. (табл.2)

**Таблиця 1 - Варіанти руйнування будівель**

№ з/п	Характеристика основних критеріїв
1	Повна руйнація будівель
2	Будівлі отримують великі пошкодження і потребують зносу
3	Будівлі отримують середні пошкодження. Можлива їх відбудова.
4	Руйнування 90% скла, пошкодження нестійких конструкцій
5	Руйнування 50% скла
6	Руйнування не більше 10% скла
7	Будівлі ніяких пошкоджень не несуть

**Таблиця 2 - Експертні оцінки коефіцієнта руйнування ( $K$ )**

Значення коеф. $K$	Номер експерта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P1	5,5	5,6	5,6	5,5	5,6	6,0	5,0	5,6	5,6	6,0
P2	9,5	9,6	9,7	9,5	9,6	10	9,0	9,6	9,6	10
P3	27	27	28	29	30	26	27	29	29	28
P4	57	56	56	56	57	57	56	55	55	56
P5	86	87	86	87	87	86	85	85	85	86
P6	100	101	101	99	99	100	100	100	99	101
P7	101	102	102	100	100	101	101	101	100	102

Попередній аналіз результатів табл.2 показав несуттєву різницю одного і того ж показника. Але необхідно враховувати, що чисельні оцінки менш стійкі, ніж ранги показників. Тому експертам було запропоновано перейти до подальшого оцінювання коефіцієнтів за рангами.[6] Кожному із показників коефіцієнта руйнування ( $K$ ) для відповідного варіанта розвитку ситуації (P1-P7) призначався відповідний ранг за наступним принципом: 1- максимально точне значення коефіцієнта  $K$ , 2 – приблизно точне значення, 3- ймовірно неточне значення, 4- максимально неточне значення тощо.

Використовуючи метод «Дельфі» [6] під час оцінювання відповідних показників отримуємо таблицю відповідних рангів коефіцієнта руйнування ( $K$ ) (табл.3)

**Таблиця 3 - Таблиця рангів коефіцієнта руйнування ( $K$ ) для першого варіанта розвитку ситуації (P1)**

Значення коеф. $K$	Номер експерта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5,0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5,5	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1
5,6	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2
6,0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Узгодженість позицій експертів оцінюється коефіцієнтом конкордації по наступній формулі [7]

$$w = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{m^2 \cdot (n^2 - n)} = \frac{12 \cdot [(40-25)^2 + (16-25)^2 + (14-25)^2 + (30-25)^2]}{10^2 \cdot (4^3 - 4)} = \quad (2)$$

$$= \frac{12 \cdot 452}{10060} = 0,9$$

де:

$S_i$  - сума рангів  $i$ -го показника;

$\bar{S}$  - середній ранг;

$m$  - кількість експертів;

$n$  - кількість показників, які оцінюються.

Особливості розробки окремих планів реагування на надзвичайні ситуації, які виникли внаслідок пожеж та вибухів боеприпасів, в сучасних умовах

Із теорії аналізу експертних оцінок коефіцієнт конкордації повинен мати значення в межах  $0 \leq W \leq 1$ . [7] Таким чином,  $W = 0,9$  показує велику узгодженість експертів.

Таким чином проводиться експертна оцінка значення коефіцієнта руйнування ( $K$ ) для всіх визначених варіантів розвитку ситуації (P1-P7).

Остаточна оцінка руйнування будівель і споруд, яка ґрунтується на встановленому рівні руйнувань при визначеному коефіцієнті  $K$ , проводиться методом медіан рангів [6] і приведена в табл. 4.

Таблиця 4 - Оцінка руйнування будівель

Коефіцієнт руйнування ( $K$ )	Рівень руйнування
0-5,6	Повна руйнація
5,7-9,6	Будівлі отримують великі пошкодження і потребують зносу
9,7-28	Будівлі отримують середні пошкодження. Можлива їх відбудова.
28-56	Руйнування 90% скла, пошкодження нестійких конструкцій
56-86	Руйнування 50% скла
86-100	Руйнування не більше 10% скла
>100	Будівлі ніяких пошкоджень не несуть

Для оцінки впливу вибуху на людей, які потрапили під дію вибухової хвилі, визначається надлишковий тиск фронту вибухової хвилі на основі коефіцієнта  $K$  по наступній формулі

$$\Delta P = -5,5 \cdot (K - 100) + 32,5, \text{ кПа} \quad (3)$$

Залежність пошкоджень, які отримують люди в результаті впливу надлишкового тиску ( $\Delta P$ ) визначені шляхом експертної оцінки за аналогічною методикою і зведені в таблицю 5.

В теперішній час для рішення визначених задач доступні і отримали широке розповсюдження ряд комп'ютерних програм, які оснащені розвинутим сервісом для формулювання завдань та графічного відображення результатів розрахунків.

Таблиця 5 - Вплив на людину надлишкового тиску

Надлишковий тиск, кПа	Вплив на людину
0-20	Шок або збентеження від раптового вибуху, легкі ушиби
20-40	Легкі ушиби і контузії
40-60	Ушкодження середньої важкості: втрата свідомості, пошкодження органів слуху, сильні вивихи кінцівок, кровотеча із носу та ушей
60-100	Важкі ушкодження: сильні контузії, переломи кінцівок, ураження внутрішніх органів
100-120	Край важкі ушкодження, часто зі смертельними наслідками
>120	Смертельні ушкодження з відривом частин тіла при $P > 160$ кПа

**Висновки.** Запропонована методика оцінки впливу вибуху на людей та об'єкти під час розробки і реалізації відповідних планів реагування на НС з використанням результатів наукових досліджень щодо прогнозування впливу вибуху на людей та оцінки руйнування будівель і споруд.

Такий підхід дасть можливість науково обґрунтувати основні якісні показники, які складають основу розробки окремих планів реагування на НС, пов'язаних з пожежами та вибухами боєприпасів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Скиба П.В., Макар Р.М., Григорьев В.В. Машковський М.С. Проблемні питання організації взаємодії військових пожежних підрозділів з силами і засобами інших відомств при ліквідації надзвичайних ситуацій, пов'язаних з аваріями та пожежами на військових об'єктах.// Системи обробки інформації.// Зб. наук. пр. ХУПС./ Вип. 7(47). – Х: ХУПС, 2005. – С. 218-222.
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2001р. N1567. Про затвердження Плану реагування на надзвичайні ситуації державного рівня.

Особливості розробки окремих планів реагування на надзвичайні ситуації, які виникли внаслідок пожеж та вибухів боєприпасів, в сучасних умовах

3. Макар Р.М., Григорьев В.В., Беспалов А.М., Машковський М.С. Розробка та вдосконалення нормативно-правових документів з питань пожежної безпеки у Збройних Силах України.// Системи обробки інформації.// Зб. наук. пр. ХУПС./ Вип. 7(47). – Х: ХУПС, 2005. – С. 213-217.
4. Зельдович Я.Б., Компанеев А.С. Теория детонации. М: Гостехиздат, 1955.-268с.
5. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б. Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980. – 300 с.
6. Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие. М.: 2002 – 31 с.
7. Елисеева И.И. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика, 2004 – 656 с.

**УДК 614.355**

*Квітковський Ю.В., викл., УЦЗУ*

### **ВРАХУВАННЯ ДІЇ ЛОКАЛЬНОГО УДАРУ НА НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ СПОРУД ЦИВІЛЬНОЇ ОБОРОНИ**

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

У статті наведена загальна методика розрахунку конструкцій захисних споруд цивільної оборони на локальну дію удару. Даються рекомендації щодо використання зазначеної методики під час проектування споруд цивільного захисту

**Постановка проблеми.** Сьогодні в Україні існує лише один нормативний документ, який регламентує процес проектування споруд цивільного захисту. Це – ДБН В.2.2.5-97 «Захисні споруди цивільної оборони» [1]. Зокрема у частині стосовній проектування та розрахунку основних несучих конструкцій, що описується відповідно у розділах 3 та 4.

У підрозділі 3.1. зазначено наступне: «Огороджувальні та несучі конструкції сховищ слід розраховувати на особливе поєднання навантажень, що складається з постійних, тимчасових навантажень та статичного навантаження еквівалентного дії динамічного навантаження від дії ударної хвилі (еквівалентне статичне навантаження)». Іншими словами, порозумівається, що конструкції за-

хисних споруд цивільної оборони повинні розраховуватися лише на дію розподілених статичних або динамічних навантажень.

Між тим, у підрозділі 1.1. [1] сказано: «Захисні споруди цивільної оборони призначаються для захисту в мирний час персоналу, який переховується від наслідків аварій, катастроф та стихійного лиха, які загрожують масовому ураженню людей, а також у воєнний час – від сучасної зброї масового ураження». Але жодного сполучення навантажень, яке було б характерне для деяких випадків надзвичайних ситуацій, що супроводжуються точковими динамічними навантаженнями чи такими, що обмежені на деякій площі, у [1] не наводиться.

Відповідно, розрахунок захисних конструкцій у [1] рекомендується проводити згідно з вимогами СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции», де також не розглядаються випадки прикладання до конструкцій зосереджених динамічних навантажень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За часи Радянського Союзу було видано певну кількість літератури, що призначалася для інженерів, які займалися проектуванням зазначених споруд [2-5]. Але вся ця література, відповідаючи існуючий на той час нормативній документації [6] втратила чинність. До того ж слід додати, що вся ця література у частині стосовній також була орієнтована на розрахунок захисних конструкцій тільки від дії розподілених навантажень. В той же час на території України досі ще не було розроблено жодного видання (настанови, керівництва тощо), яке б мало нормативну дію і за допомогою якого можна було б відтворювати безпосереднє проектування та розрахунок конструкцій споруд цивільної оборони.

**Постановка завдання та його вирішення.** Цілком зрозуміло, що ситуація, коли на несучу конструкцію захисної споруди прийдеться локальне ударне навантаження, найбільш характерна для умов бойових дій, тобто коли споруда може бути піддана ударам супротивника. Але не слід виключати, що й у мирний час, як наслідок техногенної НС, споруда може сприймати аналогічні навантаження, наприклад, від ударів уламків зруйнованих прилеглих споруд або під час потужних вибухів на підприємствах відповідної категорії вибухопожежної небезпеки.

Розглянемо випадок локального удару у зовнішню несучу конструкцію захисної споруди (стіну, стелю) деякого стороннього твердого тіла (далі СТ), наприклад, великого уламку конструкції

тощо. При цьому припустимо, що СТ під час удару не руйнується, не змінює швидкості та траєкторії руху.

Можна виділити місцеву та загальну дію такого локального удару. При цьому місцевою дією можна вважати результат взаємодії СТ з конструкцією безпосередньо у місці його контакту (руйнування матеріалу конструкції у місці контакту зі стороннім тілом), а загальною – загальні деформації у конструкції, що виникли внаслідок удару (згинання, стискання, розтягування та ін.)

Розрахунок захисних споруд на дію локального удару може бути зведений до кількісної оцінки руйнувань у захисному огороженні, що викликані ударом.

Ударна дія та можливі руйнування при цьому можуть характеризуватися проникненням СТ у матеріал конструкції або пробиванням конструкції.

Визначимо основні фактори, від яких залежать характер та розміри місцевих руйнувань у конструкції від місцевої дії удару:

- маса СТ ( $P$ );
- розміри та форма СТ;
- кут зустрічі СТ з конструкцією ( $\alpha$ );
- швидкість СТ під час зустрічі з конструкцією ( $V_0$ );
- фізико-механічні характеристики матеріалу конструкції;
- розміри конструкції (товщина);
- конструктивне рішення (суцільна, шарова та ін.).

Показниками, які характеризують явище проникнення СТ у конструкцію, є:

- довжина шляху проникнення по траєкторії ( $l_{np}$ );
- глибина проникнення ( $h_{np}$ ).

При цьому

$$h_{np} = l_{np} \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

тобто  $h_{np}$  - проекція довжини проникнення ( $l_{np}$ ) на нормаль до верхньої конструкції;  $\alpha$  - кут зустрічі СТ з конструкцією.

Процес проникнення СТ у матеріал конструкції (зазвичай це бетон) досить складний. СТ, потрапляючи у бетон по нормалі, буде руйнувати навколишній матеріал, виключючи його наближено по утворюючих конусів. Внаслідок цього у бетоні буде утворюватися характерне конусоподібне заглиблення.

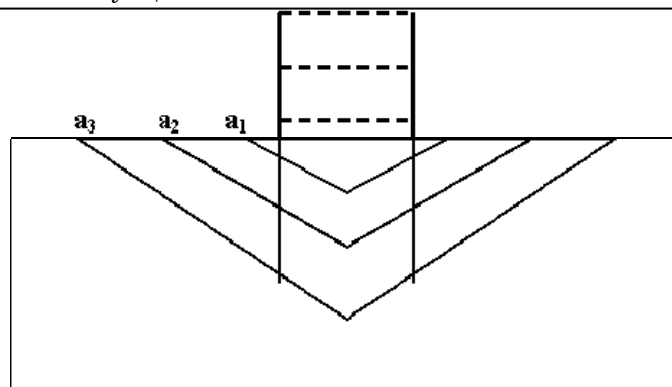


Рис. 1 – Схема утворення ударної воронки у тілі конструкції внаслідок дії удару СТ:  $a_1$ ,  $a_2$  та  $a_3$  – межі послідовних відколювань матеріалу конструкції

Для визначення глибини проникнення ( $h_{np}$ ) можна використувати формулу (1), а для визначення довжини шляху проникнення по траєкторії ( $l_{np}$ ) – емпіричну формулу, побудовану на базі так званої «Березанської» формули [7, 8]

$$h_{np} = K_{np} \cdot \frac{PV_0}{d^2} \cos \alpha. \quad (2)$$

Відомо, що результати розрахунків за «Березанською» формулою дають добру збіжність з експериментальними даними при швидкості зустрічі  $V_0 \leq 1000$  м/с [7].

У формулі (2) прийняті позначення:

$K_{np}$  – коефіцієнт опору матеріалу конструкції проникненню, визначається з довідкової літератури [7];

$P$  – вага СТ;

$d$  – ширина перерізу СТ;

$\alpha$  – кут зустрічі СТ з конструкцією;

$V_0$  – швидкість зустрічі СТ з конструкцією.

Слід зазначити, що, наприклад, артилерійські снаряди здатні проникати у перешкоду з бетону при  $V_0 \geq 150 \div 200$  м/с [7].

Формулу (2) можна використати для розрахунку горизонтальних конструкцій. Для похилих поверхонь у цю формулу необхідно вводити виправлення на кут нахилу  $\gamma$ .

$$h_{np} = K_{np} \cdot \frac{PV_0}{d^2} \cos(\alpha \pm \gamma). \quad (3)$$



Більш точно глибина проникання СТ у будь-яке середовище може бути визначена по наступній формулі [7]

$$h_{np} = \lambda K_{np} \cdot \frac{PV_0}{d^2} \cos[0,5(1+n) \cdot \alpha], \quad (4)$$

де  $h_{np}$  – глибина проникання в метрах по нормалі;  $K_{np}$  – коефіцієнт піддатливості матеріалу прониканню;  $P$  – вага СТ у кілограмах;  $d$  – ширина перерізу СТ у метрах;  $V_0$  – кінцева швидкість СТ у момент удару в метрах на секунду;  $\alpha$  – кут зустрічі СТ з конструкцією;  $\lambda$  – коефіцієнт, що залежить від форми СТ;  $n$  – коефіцієнт, що визначає положення СТ наприкінці проникання.

Загалом для бетонних конструкцій можна прийняти значення коефіцієнтів  $\lambda = 1,3$ ;  $n = 1,5$  [7].

Розглядаючи явище проникнення як слідство ударної дії СТ, ми припускаємо, що конструкція має досить велику товщину. Явище пробивання спостерігається у конструкціях певної товщини.

Максимальне значення товщини конструкції, яка не пробивається ударною дією СТ, можна визначити по формулі [7]

$$H_{n,np} = n_n \cdot h_{np}, \quad (5)$$

де  $n_n$  - дослідний коефіцієнт (коефіцієнт “непробивання”) [7].

Захисна товща конструкції, що визначена по формулі (5), забезпечить захист тільки від наскрізного пробивання, але при цьому не виключається утворення з тильного боку конструкції відкольної воронки. Мінімальна товщина конструкції, в який від ударної дії СТ не виникає відколювання зі зворотної поверхні, визначається по формулі Забудського [7]

$$H_{від} \geq n_{від} \cdot h_{np} \quad (6)$$

де  $n_{від}$  - коефіцієнт відколювання для матеріалу конструкції, що визначається з довідкової літератури [7].

**Висновки.** Під час проектування споруд цивільної оборони необхідно враховувати всі особливості дії зовнішніх факторів надзвичайних ситуацій, зокрема можливість удару по окремих елементах споруд. При цьому можливо використання відповідних апро-

бованих методик розрахунку, що використовуються при проектуванні захисних споруд Збройних Сил.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.2-5-97. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони. Держкоммістобудування України. Київ, 1998 – 119 с.
2. Руководство по проектированию строительных конструкций убежищ гражданской обороны. М., Стройиздат, 1974
3. Расчет конструкций убежищ гражданской обороны. М., Стройиздат, 1986.
4. Демиденко Г.П., Кузьменко Е.П., Орлов П.П. и др. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник. – К.; Вища школа. – 1989. – 287 с.
5. Котляревский В.А., Ганушкин В.И., Костин А.А. и др. Убежища гражданской обороны. Конструкции и расчет. – М.: Стройиздат, 1989. – 606 с.
6. СНиП II-II-77\* Защитные сооружения гражданской обороны. Госстрой СССР, 1985 – 89 с.
7. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. – Новосибирск: Издательство НГТУ. – 2004. – 408 с.
8. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Фугасные эффекты взрывов. – СПб.: ООО «Издательство «Полигон», 2002.- 272 с.

УДК 614.355

*Квітковський Ю.В., викл., УЦЗУ,  
Малярчук О.П., курсант, УЦЗУ*

## **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЦИВІЛЬНОЇ ОБОРОНИ НА ЗАГАЛЬНУ ДІЮ УДАРУ СТОРОННЬОГО ТІЛА**

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

У статті наведена методика розрахунку конструкцій захисних споруд цивільної оборони на загальну дію удару стороннього тіла. Даються рекомендації щодо використання зазначеної методики під час проектування споруд цивільного захисту

**Постановка проблеми.** ДБН В.2.2.5-97 «Захисні споруди цивільної оборони» [1] у частині стосовній розрахунку конструкцій споруд розглядає тільки випадки прикладання до них розподілених навантажень і зовсім не враховує можливості виникнення короточасних зосереджених динамічних навантажень. Між тим подібні випадки цілком можливі під час виникнення деяких техногенних надзвичайних ситуацій, і особливо – у воєнний час.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день в Україні існує лише один нормативний документ, на підставі якого можна здійснювати проектування споруд цивільної оборони [1]. Жодного керівництва, посібника або настанови, які б враховували розмаїття навантажень, що можуть бути прикладеними до конструкцій зазначених споруд, в Україні не складено і не видано.

**Постановка завдання та його вирішення.** Можна виділити місцеву та загальну дію локального удару СТ. При цьому місцевою дією вважаємо результат взаємодії СТ з конструкцією безпосередньо у місці контакту (руйнування матеріалу конструкції у місці контакту зі СТ), а загальною – загальні деформації у конструкції, що виникли внаслідок удару (згинання, стискання, розтягання та ін.)

Розглядається випадок локального удару у зовнішню несучу конструкцію захисної споруди (стіну, стелю) деякого стороннього твердого тіла (СТ). При цьому висловимо припущення, що:

- СТ під час удару не руйнується;
- СТ не змінює швидкості та траєкторії руху.

Зазначимо, що у випадку прямого влучання СТ найбільшу небезпеку представляє місцева дія [7]. Хоча у деяких випадках і загальна дія удару СТ створює суттєвий вплив на розміри конструкції.

Загальна дія удару СТ характеризується загальною деформацією будівельної конструкції: згин, стиск та ін. Основним видом деформації є згин. Внаслідок деформацій, які викликані загальною дією удару, конструкції захисних споруд цивільної оборони можуть втратити несучу здатність та зруйнуватися.

Навантаження, які створюються загальною дією удару на елементи конструкцій – короткочасні та динамічні. Тому під час розрахунку споруд на загальну дію удару СТ слід використовувати методи динаміки споруд, зокрема метод еквівалентних статичних навантажень.

Визначимо порядок розрахунку або етапи розрахунку захисних огорож по методу еквівалентних статичних навантажень:

- оцінка характеру дії динамічного навантаження;
- вибір розрахункової схеми;
- визначення величини (значення) динамічного навантаження;
- визначення еквівалентного статичного навантаження;
- визначення зусиль у конструкціях та перевірка несучої здатності конструкції або її елементів.

В даному випадку ми обмежимося тільки розгляданням перших чотирьох етапів.

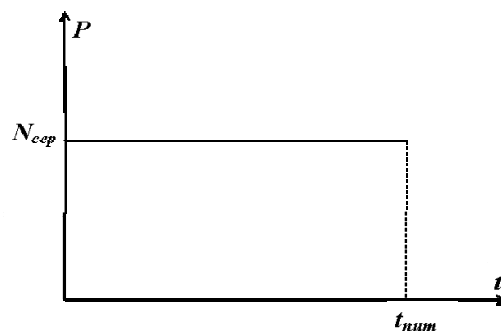


Рис. 1 – Графік зміни динамічних навантажень

Конструкція захисної огорожі (покриття або стіна) розглядаються як простіша система з пружними коливаннями [5]. Характер зміни динамічних навантажень являє собою лінійний графік

(рис.1), де  $N_{сер}$  – середнє значення сил опору матеріалу конструкції проникненню (тиск СТ на захисну огорожу);  $t_{num}$  - час дії удару.

Будемо вважати, що  $N$  миттєво зростає до  $N_{сер}$  і залишається постійною протягом часу  $t_{num}$ .

Користуючись законом збереження енергії, який у даному випадку твердить, що вся кінетична енергія СТ  $W$  витрачається на роботу проникнення СТ у захисну огорожу, можна визначити значення  $N_{сер}$  з наступної формули

$$W = \frac{m V_0^2}{2} = N_{сер} h_{np}, \quad (1)$$

$$N_{сер} = \frac{m V_0^2}{2 h_{np}}, \quad (2)$$

де  $m$  - маса СТ;  $V_0$  - швидкість зустрічі СТ з перешкодою.

Час проникнення  $t_{np} = t_{num}$  визначається за формулою

$$t_{np} = t_{num} = \frac{h_{np}}{V_{сер}} = \frac{2 h_{np}}{V_0}, \quad (3)$$

де  $V_{сер} = V_0/2$  - середня швидкість проникнення (лінійна зміна швидкості).

Навантаження будемо вважати прикладеним по площі кола діаметром  $d + H$  (ширина СТ плюс товщина захисної огорожі) (рис.2).

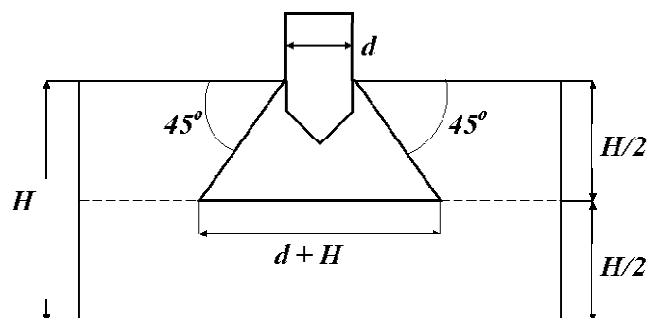


Рис. 2 - Схема прикладання навантаження

Зазвичай  $t_{np} > t_{def}$  – часу розповсюдження пружних деформацій від місця удару до опор, тому задача зводиться до розглядання простішої схеми: системи з пружними коливаннями.

Як відомо з будівельної механіки [3-5], визначення максимального прогину конструкції ( $Y_{max}$ ) в залежності від співвідношення  $t_{np} = t_{num}$  та  $\pi/\omega$ , де  $\pi/\omega$  - тривалість напівперіоду коливань конструкції у частоті власних коливань ( $\omega$ ) [ $T_0=2\pi$ ] при  $t_{np} = t_{num} < \pi/\omega$  відтворюється по формулі:

$$Y_{max} = Y_{cm} \sin \omega t_{num} = 2 Y_{cm} \sin \frac{\omega h_{np}}{V_0}; \quad (4)$$

$$q_{екв} = \frac{2N_{cp}}{F} \sin \frac{\omega h_{np}}{V_0}; \quad (5)$$

$$F = \frac{\pi (d + H)^2}{4}; \quad Y_{cm} = \frac{N_{cp}}{F}. \quad (6)$$

При цьому коефіцієнт динамічності  $K_d$  буде дорівнювати:

$$K_d = 2 \sin \frac{\omega h_{np}}{V_0}$$

при  $t_{np} = t_{num} < \pi/\omega$

$$q_{екв} = \frac{2N_{cp}}{F}. \quad (7)$$

Виходячи з цього  $K_d = 2$ .

**Висновки.** Виходячи з вищевказаного, з метою докладнішого врахування особливостей навантажень, що виникають під час НС, за доцільне вважається розробляти та впроваджувати у інженерну практику розрахунки конструкцій споруд цивільної оборони на дію локальних ударних навантажень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.2-5-97. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони. Держкоммістобудування України. Київ, 1998 – 119 с.

Методика розрахунку несучих конструкцій цивільної оборони на загальну дію удару стороннього тіла

2. Руководство по проектированию строительных конструкций убежищ гражданской обороны. М., Стройиздат, 1974
3. Расчет конструкций убежищ гражданской обороны. М., Стройиздат, 1986.
4. Демиденко Г.П., Кузьменко Е.П., Орлов П.П. и др. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник. – К.; Вища школа. – 1989. – 287 с.
5. Котляревский В.А., Ганушкин В.И., Костин А.А. и др. Убежища гражданской обороны. Конструкции и расчет. – М.: Стройиздат, 1989. – 606 с.
6. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. – Новосибирск: Издательство НГТУ. – 2004. – 408 с.
7. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Фугасные эффекты взрывов. – СПб.: ООО «Издательство «Полигон», 2002.- 272 с.

## УДК 351.861

*Кірючкін О.Ю., наук. співр., УЦЗУ,  
Мурін М.М., ст. викл., УЦЗУ,  
Тютюник В.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр., УЦЗУ,  
Шевченко Р.І., канд. техн. наук, нач. лаб., УЦЗУ*

### **ОЦІНКА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ТА РЕГІОНІВ УКРАЇНИ** (представлено д-ром фіз.-мат. наук Яковлевим С.В.)

Проведено оцінку можливості застосування багатокритеріальної методи аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України, яка базується на використанні комбінованого методу прогнозування. Визначена загальна похибка методу. Розроблено прогноз щодо зміни загального хімічно небезпечного стану України на початок 2008 року

**Постановка проблеми.** Сучасний світ характеризується зростанням масштабів наслідків техногенних аварій та катастроф. Сучасні потенційно небезпечні промислові об'єкти спроектовані таким чином, що вірогідність крупної аварії на них оцінюється величиною порядку  $10^{-4}$  на рік. Втім реальна надійність механізмів,

приборів, матеріалів об'єктів даного класу, у наслідок зношеності виробничих фондів (від 80% до 100%), відсутності капітальних ремонтів обладнання та коштів на їх докорінну перебудову [2] визначається величиною на один два порядки нижчою, що дає право прогнозувати виникнення крупних аварій на хімічно небезпечних об'єктах України кожні 1-2 роки табл. 1 [2,3].

**Таблиця 1 – Статистичні дані щодо виникнення аварій та надзвичайних ситуацій на хімічно небезпечних об'єктах та кількості смертельно травмованих внаслідок останніх**

Рік	Кількість хімічно небезпечних об'єктів	Кількість випадків аварійного забруднення / кількість НС	Кількість смертельно травмованих внаслідок аварії
2005	1572	27/11	28
2006	1524	25/9	20

Зростання масштабів та концентрації промисловості призводить до накопичення потенційних небезпек. Про загальний стан останніх можна судити по удільним (або на душу населення, або на одиницю площі) величинам летальних для людини доз, що містяться у різних сферах промисловості. Так в країнах Європи налічується по миш'яку 0.5 мільярда доз, по барію – 5 мільярдів доз, а по хлору – 10 трильйонів доз [2,3]. Ці цифри роблять зрозумілим постійно зростаючий інтерес до забезпечення безпеки в першу чергу хімічно небезпечних підприємств.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Забезпечення надійного захисту від небезпек техногенного характеру не можливе без проведення постійного моніторингу та довгострокового прогнозування стану надійності небезпечних об'єктів, їх систем безпеки та можливих наслідків у разі виникнення аварії. Виходячи з доведеної необхідності суттєвого доопрацювання існуючої системи визначення категорії хімічної небезпеки об'єктів та територій України і як слід основних критеріїв, що покладенні до офіційної методи прогнозування наслідків від аварій та катастроф за участю хімічно небезпечних об'єктів [1,2] колективом авторів була запропонована багатокритеріальна методика проведення подібного аналізу [4]. Втім подальше застосування останньої неможливе без оцінки її ефективності та достовірності отриманих результатів прогнозування. Враховуючи додаткову статистичну інформацію



[2], досвід робіт з організації та проведення прогнозування поведінки чинників як загальних процесів [5,7,9], так і процесів, що мають місце під час аварії та надзвичайних ситуацій [3,6,8], було запропоновано провести дослідження ефективності багатокритеріальної методики шляхом визначення загальної похибки прогнозування, з подальшим уточненням виду та вагових коефіцієнтів апроксимуючих функцій для окремих регіонів.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є оцінка ефективності запропонованої багатокритеріальної методи аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та територій України, що базується на вивченні та аналізі динаміки (швидкості зростання або зменшення) прогнозуємих негативних збитків [4]. Цей показник враховує динаміку змін, як кількості так і якості хімічно небезпечних об'єктів (стан обладнання); вплив небезпечних хімічних речовин, що обертаються в їх технологічному процесі; наявність населення в зоні можливого зараження; наявність та якість систем безпеки та контролю за станом об'єктів та територій на яких вони розміщені; рівень професійної та психофізіологічної підготовки персоналу відповідних об'єктів, що дозволяє не тільки констатувати стан хімічної безпеки, але й прогнозувати її зміни з метою дієвого перерозподілу існуючих матеріальних та людських резервів.

Прогнозування здійснено на базі комбінованого методу [5], що поєднує прогнозування на підставі пропорційних залежностей та багатofакторного регресивного аналізу в частині визначення коефіцієнту зміни хімічно небезпечного стану регіонів. Особливо слід звернути увагу на припущення, що мали місце: по-перше, процеси виникнення аварій та надзвичайних ситуацій техногенного характеру на хімічно небезпечних об'єктах взаємопов'язані, і по-друге, мають певну інерційність. Останнє означає, що вага практично будь-якого показника в момент аналізу ( $m$ ) залежить відповідним чином від його минулого стану в моменти ( $m-1, \dots, m-n$ ). На практиці останнє припущення не завжди виконуються в наслідок не передбачаємих рішень в нестабільно працюючій економіці (збільшення небезпечних хімічних речовин в Закарпатській області з 0,027 тис. тонн до 22,35 тис. тонн при фактичному скороченні хімічно небезпечних об'єктів; збільшення кількості хімічно небезпечних об'єктів у 3,5 рази у Херсонській області при фактичній стабільності систем вияву небезпечних факторів аварій тощо).

Також на безпосередню поведінку факторів, які можуть призвести до аварійної ситуації, окрім їх „історії”, вагомий вплив мають випадкові процеси пов’язані, як з технологією обертання небезпечних речовин так і безвідмовністю систем моніторингу та контролю, психофізіологічні обставини.

Основні рівняння, отримані у [4], мають наступний вигляд.

Очікувані збитки  $Y_{прог}^m$  :

$$Y_{прог}^m = Y_o^{m-1} * K_{зхнс}^m ,$$

де  $Y_o^{m-1}$  – збитки за останній звітний період ( $m-1$ );  $K_{зхнс}^m$  – коефіцієнт зміни хімічно небезпечного стану у прогнозованому періоді ( $m$ ), який визначається за формулою

$$K_{зхнс}^m = K_{инф}^m * \frac{K_{влN}^m * \Delta N^m * K_{влQ}^m * \Delta Q^m * K_{влL}^m * \Delta L^m * K_{влП}^m * \Delta П^m * K_{влB}^m * \Delta B^m}{K_{влSб}^m * \Delta Sб^m} ,$$

де:

$K_{инф}^m$  – коефіцієнт очікуваної інфляції (знецінення) у  $m$  період;

$K_{влN}^m$  – коефіцієнт небезпечних властивостей технологічного обладнання у  $m$  період;

$K_{влQ}^m$  – коефіцієнт небезпечних властивостей сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), які присутні у технологічному процесі;

$K_{влL}^m$  – коефіцієнт нерівномірності впливу небезпечних факторів хімічних аварій на населення;

$K_{влП}^m$  – коефіцієнт психофізіологічної небезпеки;

$K_{влB}^m$  – коефіцієнт очікуваного небезпечного впливу зовнішніх факторів навколишнього середовища;

$K_{влSб}^m$  – коефіцієнт небезпеки пов’язаної з відмовами систем моніторингу та контролю за хімічно небезпечним станом об’єктів у  $m$  період;

$\Delta N^m$  – характеристика зміни кількості хімічно небезпечних об’єктів у період  $m$ ;

$\Delta Q^m$  – характеристика зміни кількості хімічно небезпечних речовин, що обертаються в технологічному процесі об'єктів у період  $m$ ;

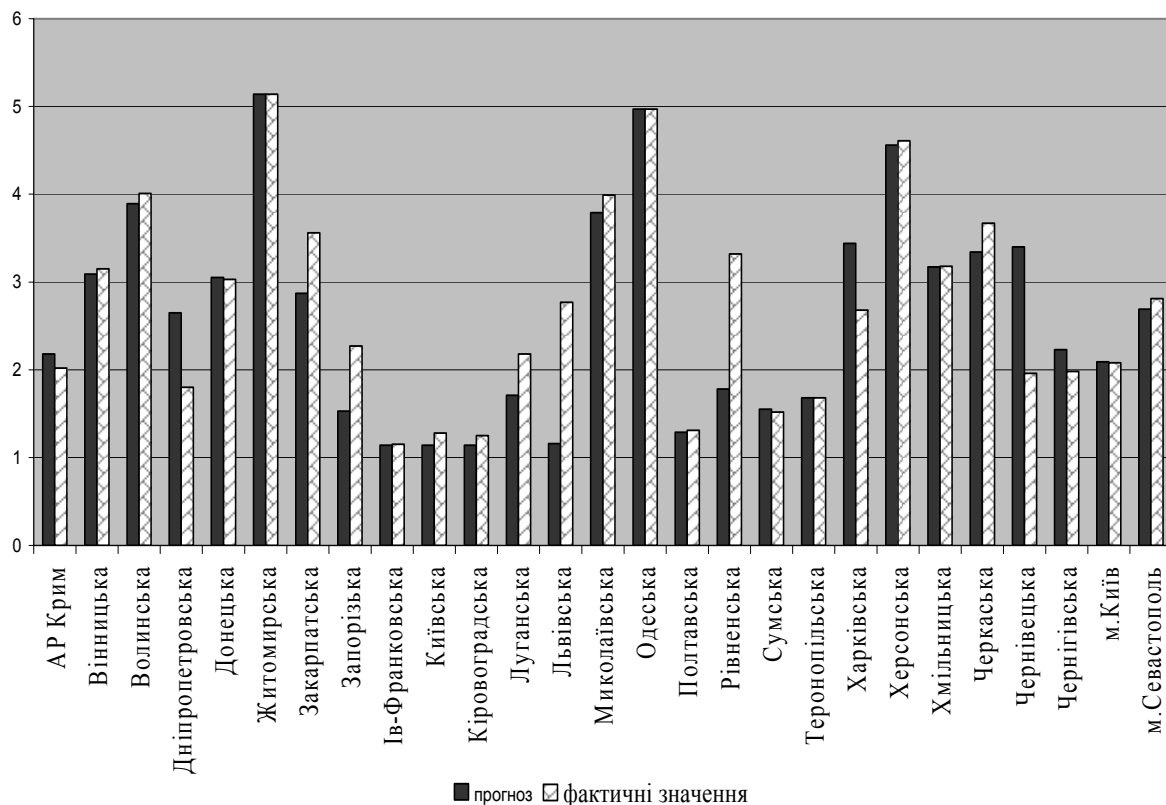
$\Delta L^m$  – характеристика зміни кількості населення, яка мешкає на території можливих зон хімічного враження від хімічно небезпечних об'єктів у період  $m$ ;

$\Delta \Pi^m$  – характеристика зміни кількості обслуговуючого персоналу на хімічно небезпечних об'єктах у період  $m$ ;

$\Delta B^m$  – характеристика зміни кількості надзвичайних ситуацій природного характеру у період  $m$ ;

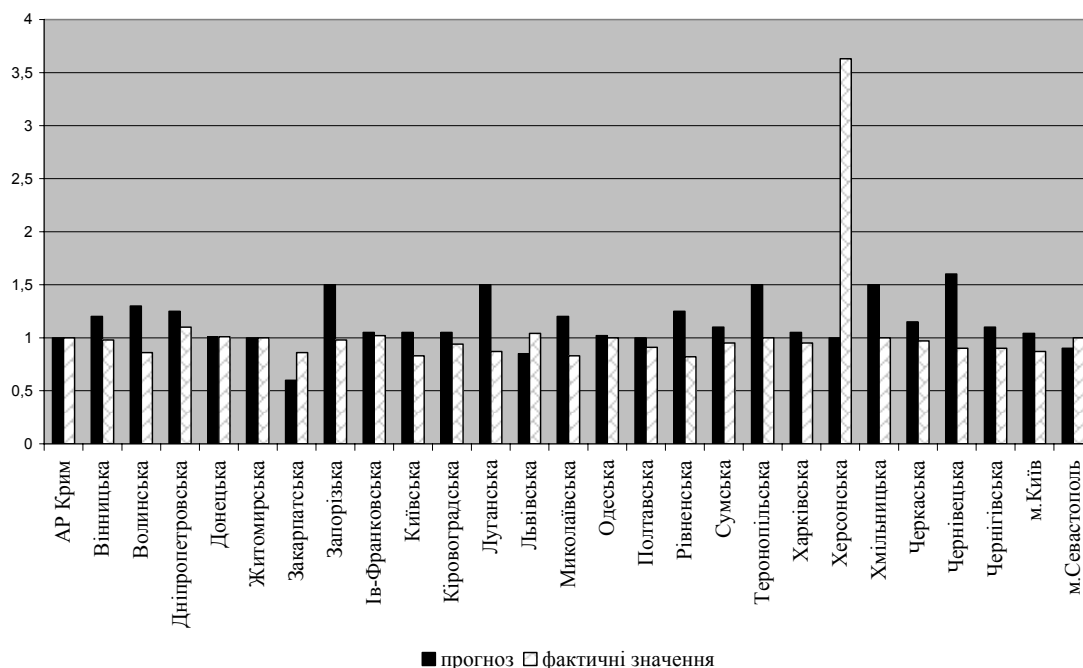
$\Delta S_{\sigma}^m$  – характеристика зміни кількості систем виявлення небезпечних хімічних речовин у період  $m$ .

На підставі вище наведеного були отримані результати прогнозу основних показників, що визначають хімічно небезпечний стан регіонів України на початок 2007 року, та відповідні значення цих показників на підставі офіційно оприлюдненої статистичної інформації рис. 1- 8.

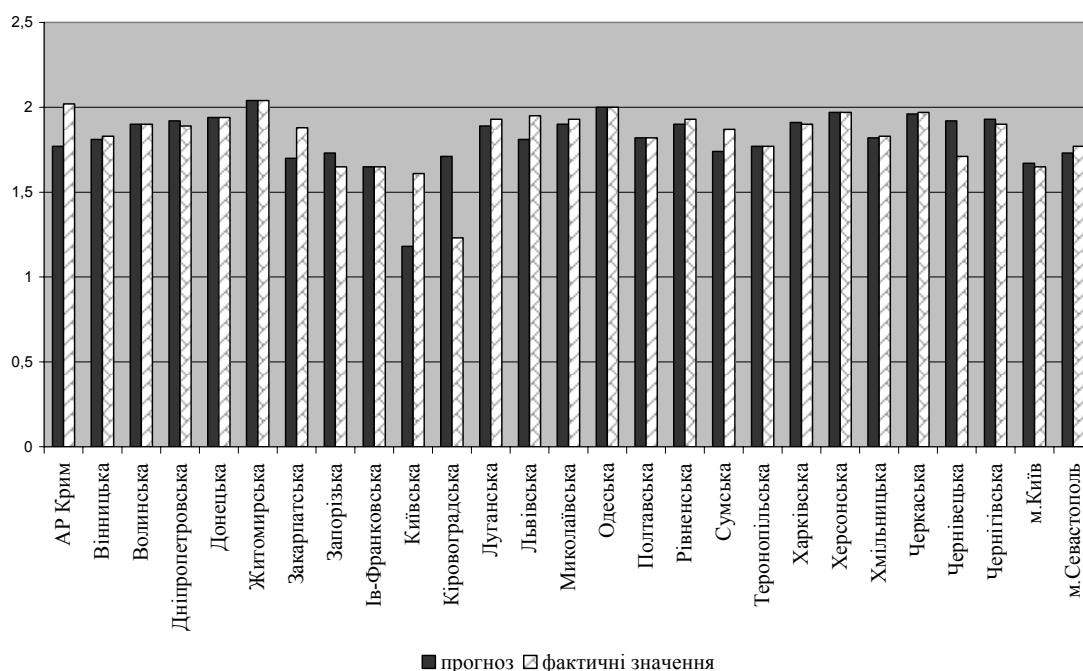


**Рис. 1 – Порівняльний аналіз прогнозуємих та фактичних значень коефіцієнту небезпечних властивостей технологічного обладнання за станом на початок 2007 року**

Кіроичкін О.Ю., Мурін М.М., Тютюнник В.В., Шевченко Р.І.

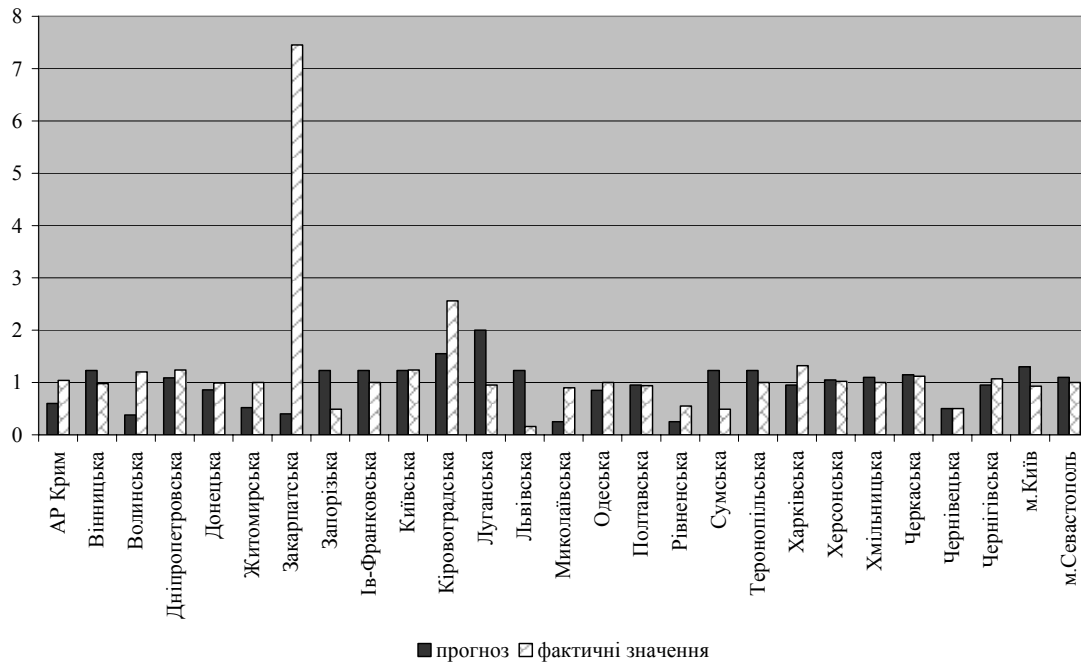


**Рис. 2 – Порівняльний аналіз прогнозуємої та фактичної зміни кількості хімічно небезпечних об'єктів за станом на початок 2007 року**

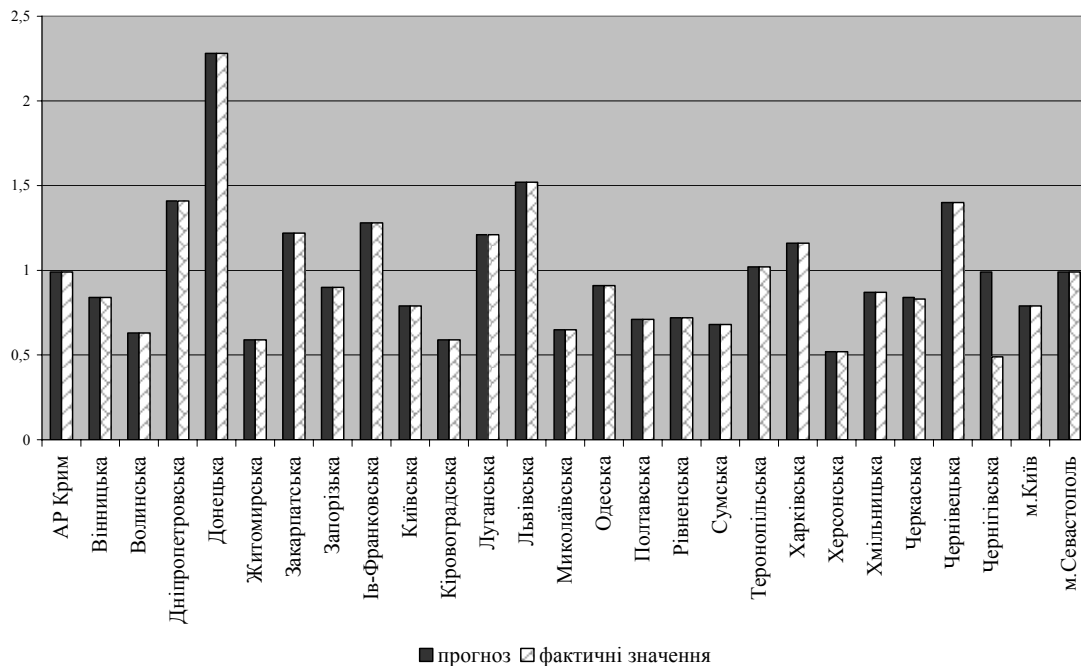


**Рис. 3 – Порівняльний аналіз прогнозуємих та фактичних значень коефіцієнту небезпечних властивостей сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), які присутні у технологічному процесі за станом на початок 2007 року**

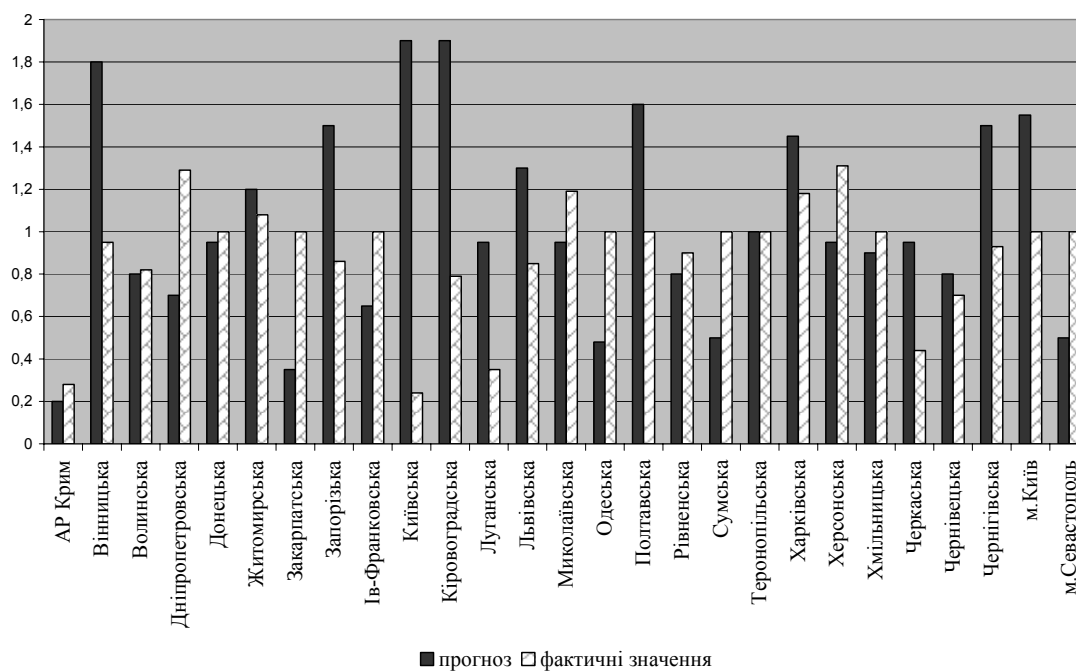
Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України



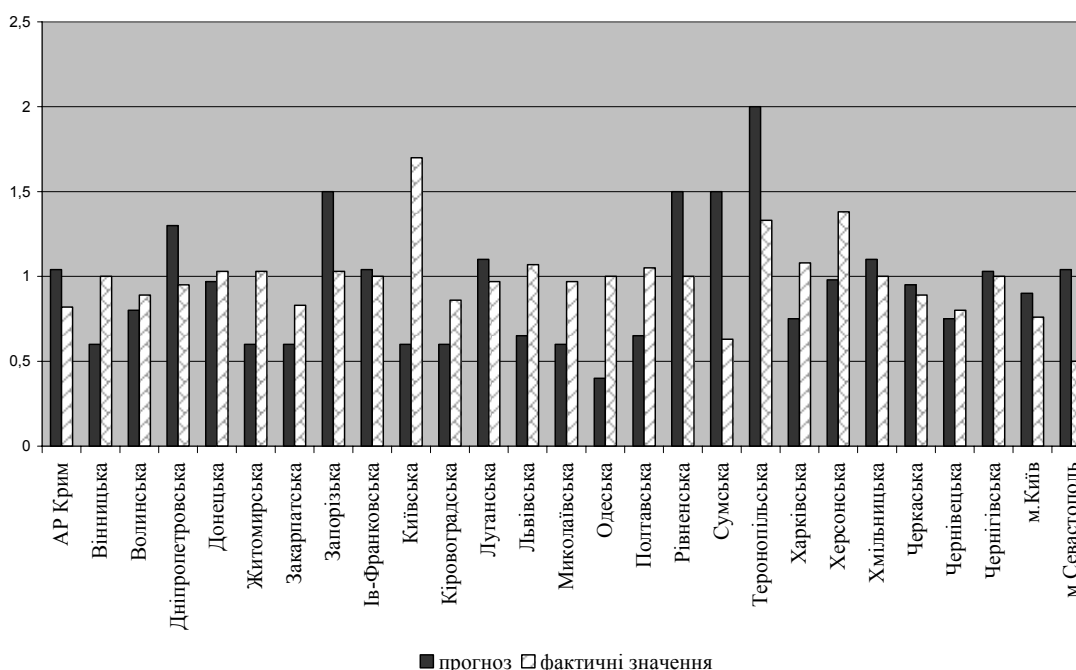
**Рис. 4 – Порівняльний аналіз прогнозуємої та фактичної зміни кількості хімічно небезпечних речовин, що обертаються в технологічному процесі об'єктів за станом на початок 2007 року**



**Рис. 5 – Порівняльний аналіз прогнозуємих та фактичних значень коефіцієнту нерівномірності впливу небезпечних факторів хімічних аварій на населення за станом на початок 2007 року**

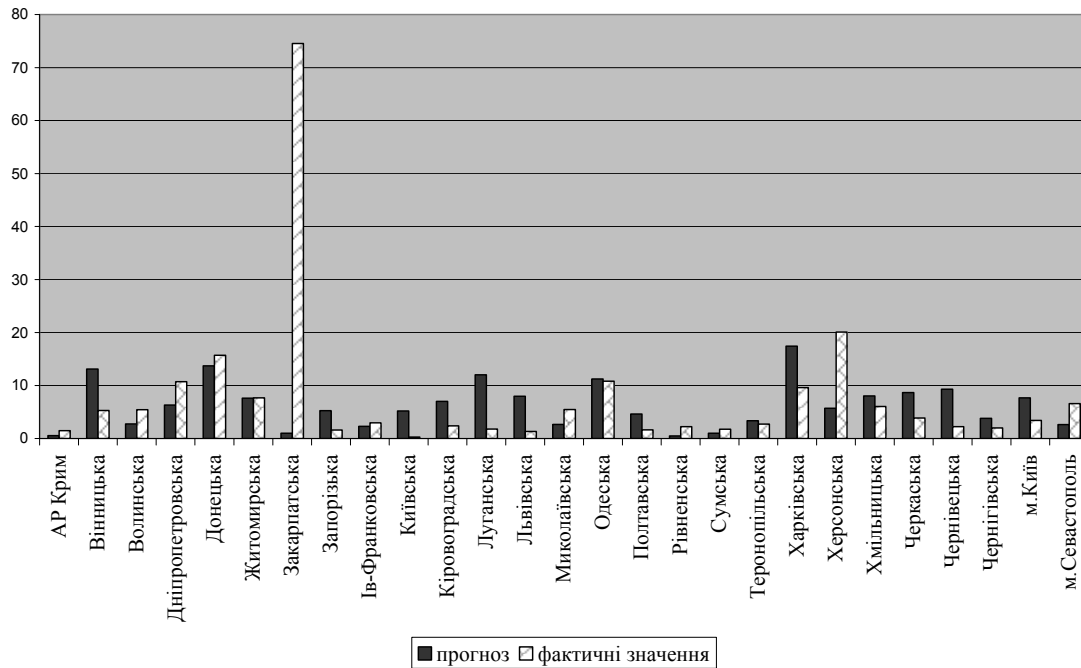


**Рис. 6 – Порівняльний аналіз прогнозуємої та фактичної зміни кількості населення, яка мешкає на території можливих зон хімічного враження від хімічно небезпечних об’єктів за станом на початок 2007 року**



**Рис. 7 – Порівняльний аналіз прогнозуємої та фактичної зміни кількості систем виявлення небезпечних хімічних речовин за станом на початок 2007 року**

Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об’єктів та регіонів України



**Рис. 8 – Порівняльний аналіз прогнозованих та фактичних значень коефіцієнту зміни хімічно небезпечного стану регіону на початок 2007 року**

Як свідчить аналіз наведених даних, мають місце не прогнозовані «виброси» окремих показників в тих регіонах, де протягом року виникали випадкові процеси пов'язані з багаторазовим збільшенням хімічно-небезпечних речовин.

Для формування подальшого прогнозу необхідно оцінити значення похибки, що має місце у разі застосування в якості апроксимуючих функцій:

$$f_1(x) = 14,7662 * \ln(x) + 2,02564;$$

$$f_2(x) = 2,3613 * x^{3,6753};$$

$$f_3(x) = 4,86 \cdot 10^{-6} * \exp(10,5469 * x) + 2,7888,$$

де в якості базового показнику  $x$  прийнято – зростання внутрішнього валового продукту  $\Delta BВП^m = \frac{BВП_{m-1}}{BВП_m}$  – характеристика змі-

ни зростання внутрішнього валового продукту,  $BВП_{m-1}$  – приріст ВВП у період  $(m-1)$ ,  $BВП_m$  – приріст ВВП, який прогнозується у період  $t$  (рис. 9).

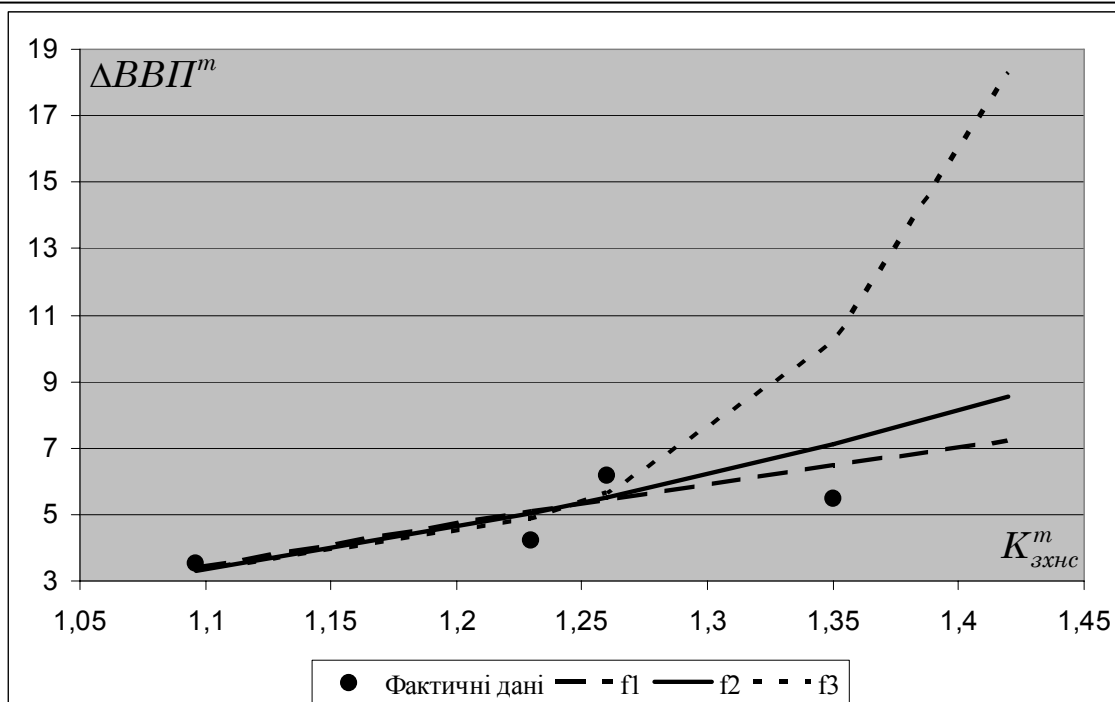


Рис. 9 – Динаміка зміни  $K_{зхнс}^m$  у відповідності до зміни  $\Delta ВВП^m$  у 2003-2007 рр., та прогноз змін на початок 2008 року

За результатами розрахунку отримані дані, які наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Аналіз результатів прогнозу значень коефіцієнту зміни хімічно небезпечного стану України

Рік	$\Delta ВВП^m$	Фактичне значення $K_{зхнс}^m$	Прогноз $K_{зхнс}^m$			Відхилення від фактичного значення $K_{зхнс}^m - f_i$		
			$f_1$	$f_2$	$f_3$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
2003	1,096	3,53	3,379	3,307	3,298	0,150	0,222	0,231
2004	1,23	4,21	5,082	5,053	4,882	-	-	-
2005	1,26	6,16	5,438	5,521	5,662	0,721	0,638	0,497
2006	1,35	5,45	6,457	7,115	10,21	-	-	-
2007	1,42		7,203	8,568	18,32			
$\Delta f_i$						1,522	1,985	4,841

Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України



У цій таблиці  $\Delta f_i$  – загальна похибка прогнозування, яка визначається наступним чином

$$\Delta f_i = \sqrt{\sum_j (K_{зхис}^m - f_i)^2}, \quad (j = 2003 \dots 2006).$$

Застосування запропонованої моделі до визначення хімічно небезпечного стану регіонів дозволяє дати досить сталий прогноз в умовах обмеженості статистичної інформації, у разі виключення факторів не планованого переміщення хімічно небезпечних речовин. Найменшу загальну похибку отримано за використання, в якості базової апроксимуючої функції – функції виду  $f(x) = a * \ln(x) + b$ , що дозволяє на далі використовувати її у разі визначення коефіцієнтів зміни хімічно небезпечного стану регіонів України, за виключенням Закарпатської та Херсонської областей, де необхідно провести додаткові дослідження та визначити тривалість та подальший перебіг процесів з переміщенням хімічно небезпечних речовин. В разі збереження існуючої тенденції, в даних регіонах за базовий слід прийняти «пісемістичний» прогноз який визначається функцією виду -  $f(x) = a * \exp(x) + b$  з подальшим уточненням вагових коефіцієнтів. Слід також зазначити, що загальна тенденція щодо хімічно небезпечного стану України погіршується. Особливо, це стосується підприємств з використанням аміачно-холодильних установок, підприємств нафтопереробної галузі та об'єктів на яких обертаються речовини, які вміщують хлор. До найбільш небезпечних регіонів слід віднести Харківську, Луганську, Донецьку, Одеську та Дніпропетровську області.

**Висновки.** Проведено аналіз хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України на підставі використання багатокриптеріальної методики що поєднує прогнозування на підставі пропорційних залежностей та багатфакторного регресивного аналізу в частині визначення коефіцієнту зміни хімічно небезпечного стану регіонів, який на 2008 року визначено, у разі «оптимістичного» прогнозу, - 7,2 (збільшення прогнозуємих збитків у 1,3 рази), у разі «пісемістичного» прогнозу, - 18,32 (збільшення прогнозуємих збитків у 3,3 рази). Загальна похибка прогнозування  $\Delta f_i$ , для різних видів прогнозу знаходиться у межах (1,522 ...4,841). Для більшості регіонів де має місце інерційність щодо процесів обертання хімічно небезпечних речовин найбільш доцільним є застосування в

якості базової апроксимуючої функції – функції виду  $f(x) = a * \ln(x) + b$ , з загальною похибкою прогнозування 1,55, що в умовах обмеженості інформації, дає відповідну достовірність щодо прогнозу хімічно небезпечного стану України.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь „Про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 році” – К.:Чорнобильінтерінформ, 2006. – 275 с.
2. Національна доповідь „Про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році” – К.:Чорнобильінтерінформ, 2007. – 235 с.
3. Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю. та інші Моніторинг надзвичайних ситуацій. – Харків: АЦЗУ, 2005. – 530 с.
4. Абрамов Ю.О., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. Аналіз хімічно небезпечного стану регіонів України // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. - № 4. – С. 16 – 29.
5. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы – М.: «Финансы и статистика», 1998, - 340 с.
6. Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. – 2002. - № 2. – С. 12-20.
7. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 1968.
8. Топольский Н.Г., Блудчий Н.П. Потенциальная опасность массового поражения при крупных техногенных авариях – М.: ВИПТШ МВД России, 1994. – 75 с.
9. Тюрин Н.И. Введение в метрологию. Учебное пособие. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 248 с.

УДК 351.861

*Комяк В.М., д-р техн. наук, проф., УЦЗУ,  
Соболь О.М., канд. техн. наук, докторант, УЦЗУ,  
Коссе А.Г., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ*

## **РАЦІОНАЛЬНЕ РОЗБИТТЯ МІСТА НА РАЙОНИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАХИСНИХ СПОРУД**

В роботі наведено моделювання раціонального розбиття території міста на райони функціонування захисних споруд в залежності від заданого часу прибуття населення до сховищ

**Постановка проблеми.** Основною складовою функціонування Єдиної державної системи цивільного захисту населення і територій є підвищення рівня захищеності населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, інакше кажучи, мінімізація можливих втрат від дій надзвичайних ситуацій. Відповідно до [1], шляхи мінімізації втрат наступні:

- зменшення кількості та масштабів катастроф за рахунок профілактики, раннього попередження і т.д.;
- мінімізації сумарних втрат у випадку виникнення певної надзвичайної ситуації.

Очевидно, що наведені шляхи мінімізації втрат від дій надзвичайних ситуацій потребують визначення раціональної кількості територіально розподілених структур в системі цивільного захисту, забезпечення їх підготовленими кадрами, спеціальною технікою та обладнанням, запасами медикаментів, засобами забезпечення життєдіяльності тощо. Таким чином, необхідно вирішити проблему раціонального територіального розподілу елементів системи цивільного захисту, яка є актуальною.

Необхідно відзначити, що існує велика кількість задач раціонального територіального розподілу елементів системи цивільного захисту, розв'язання яких дозволяє вирішити поставлену проблему. Однією із них, безперечно, є задача раціонального розбиття міста на райони функціонування захисних споруд.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [2] наведено визначення щодо захисних споруд цивільної оборони, класифікація сховищ та їх об'ємно-планувальні рішення і т.ін., а також наведені радіуси збору для укриття людей. Інакше кажучи, виходячи з [2], задача визначення раціональної кількості сховищ

являє собою задачу покриття [3] певної території кругами змінного радіусу. Аналогічну задачу покриття території кругами нормованого (фіксованого) радіусу, що являли собою райони виїзду пожежних депо, було розв'язано в роботі [4]. Але слід зазначити, що такий підхід має цілу низку недоліків: насамперед, неможливо врахувати параметри, що безпосередньо впливають на територіальний розподіл захисних споруд, неможливо визначити границі зон захисту, що є важливим для надійного укриття населення, тобто необхідно чітко визначити житловий сектор, який обслуговує певне сховище, і т. ін. Для подолання вказаних недоліків розглянемо задачу раціонального територіального розподілу захисних споруд як задачу раціонального розбиття точкової множини на підмножини. В роботі [5] наведено методи раціонального розбиття неперервних точкових множин, але ці методи неможливо застосувати у випадку неаналітичної цільової функції, яка має місце в даній задачі. Таким чином, розробка математичної моделі та методу раціонального розбиття територій на райони функціонування захисних споруд є доцільною.

**Постановка завдання та його вирішення.** Розглянемо постановку задачі раціонального територіального розподілу захисних споруд.

Нехай задана деяка множина  $S_0$  (місто) у просторі  $R^2$ , яка у загальному випадку є неопуклою та незв'язною і являє собою  $\varphi$ -об'єкт [3]. Необхідно розбити множину  $S_0$  на мінімальну кількість підмножин  $S_k$ ,  $k = 1, \dots, N$  таким чином, щоб підмножини належали множині розбиття, виконувалася умова розбиття всієї множини, підмножини не перетиналися та час прибуття населення до захисних споруд не перевищував заданого  $T$ .

Математична модель задачі має наступний вигляд

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

де  $W$

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

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

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

$$\begin{aligned} T_{\max}(S_k) &\leq T; \\ k, l &= 1, \dots, N; k \neq l; \end{aligned} \quad (5)$$

причому  $S_0 \cup cS_0 = R^2$ ;  $c_1$  та  $c_2$  - неперервні характеристики, що описують рельєф місцевості та щільність населення.

Тут (2) – вимога належності підмножин множині розбиття, (3) – вимога розбиття всієї множини, (4) – умова взаємного неперетину підмножин, (5) – додаткова умова розбиття, що пов'язана із часом прибуття населення до захисних споруд.

Таким чином, задачу раціонального розподілу захисних споруд зведено до класу задач раціонального розбиття неперервної незв'язної точкової множини довільними багатокутниками. Як зазначено в роботі [6], область припустимих рішень в даному випадку є обмеженою та незв'язною. В зв'язку з тим, що цільова функція (1) є неаналітичною, для отримання раціонального розв'язку було розроблено модифікований метод гілок та меж [7], причому побудова підмножин розбиття здійснювалася так, як це наведено на рис. 1, причому радіус  $r$  є змінним.

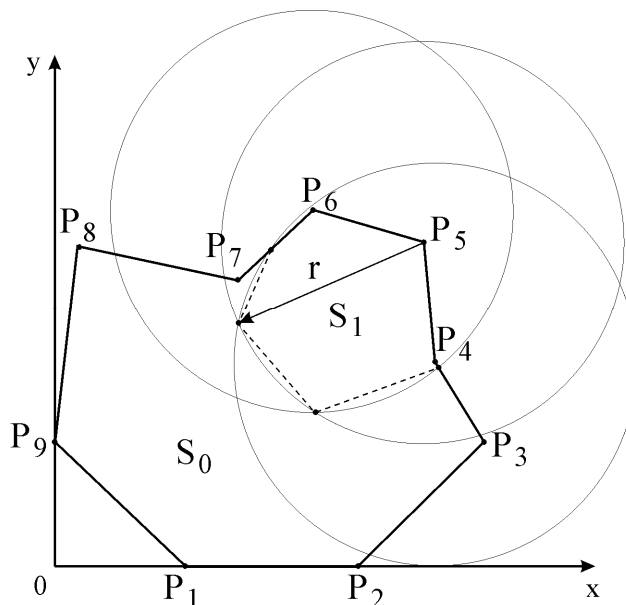


Рис. 1 – Побудова підмножин розбиття

На основі розроблених математичної моделі та методу раціонального розбиття територій на райони функціонування захисних споруд було створено алгоритмічне та програмне забезпечення розв'язання даної задачі. Результати комп'ютерного моделювання раціонального розбиття незв'язної території на райони функціонування захисних споруд наведено на рис. 2, причому заданий час прибуття населення до сховищ, у випадку виникнення надзвичайної ситуації, становив  $T = 4,5$  хв.

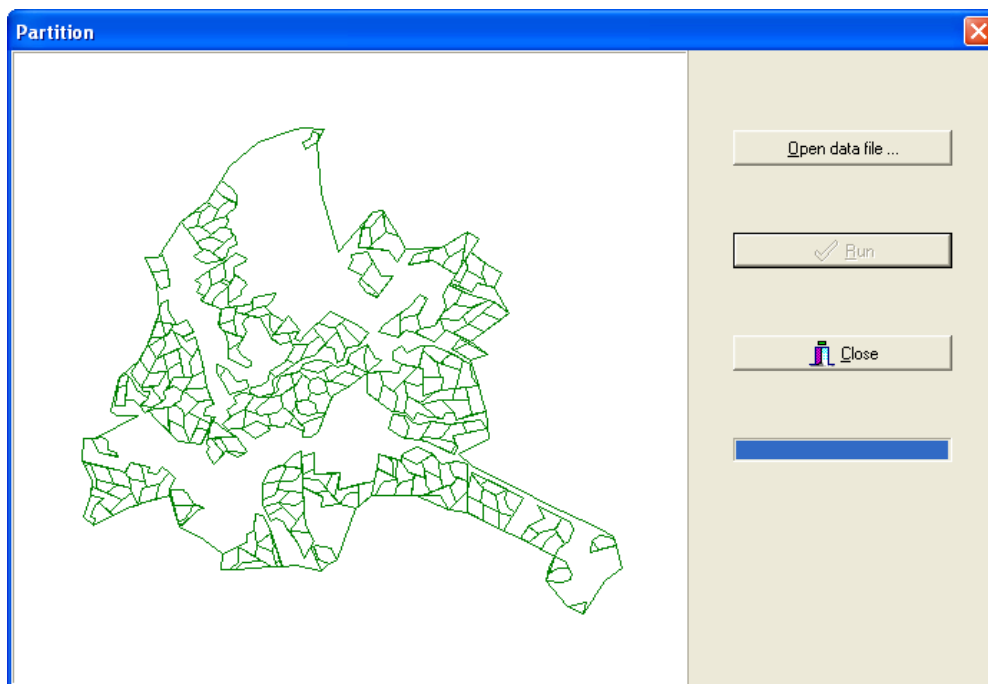


Рис. 2 – Раціональне розбиття незв'язної множини

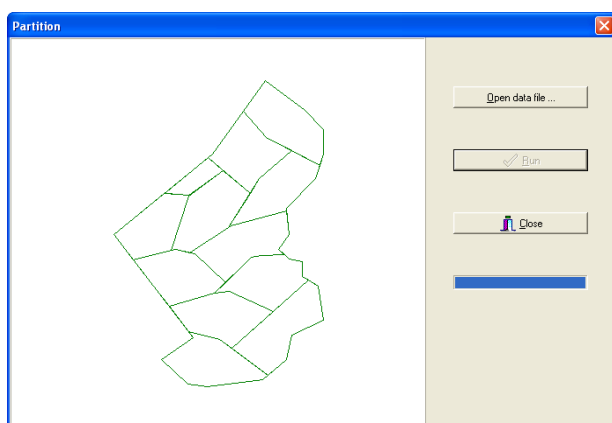


Рис. 3 – Раціональне розбиття одностов'язної множини

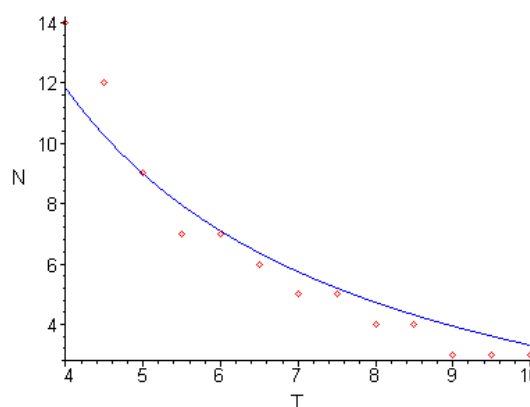


Рис. 4 – Графік залежності кількості районів захисту від заданого часу прибуття населення до сховищ

На рис. 3 наведено результати раціонального розбиття однозв'язної множини на райони функціонування захисних споруд, причому на рис. 4 наведено графік залежності кількості районів захисту (для наведеної на рис. 3 території) від заданого часу  $T$  прибуття населення до сховищ.

Таким чином, графік на рис. 4 дозволяє апріорі оцінити раціональну кількість районів захисту для певної території та прийняти відповідне управлінське рішення.

**Висновки.** В даній роботі наведено моделювання раціонального розбиття територій на райони функціонування захисних споруд. Розв'язання даної задачі дозволяє врахувати такі параметри, що впливають на раціональну кількість районів захисту, як щільність населення і рельєф місцевості, та отримати границі районів захисту, чого до теперішнього часу було зробити неможливо. Побудова графіків залежності раціональної кількості районів захисту певної території від заданого часу прибуття населення до сховищ дозволяє прийняти відповідні управлінські рішення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гиренко П.И., Петров Э.Г. Системологический анализ целей и задач системы предупреждения и локализации чрезвычайных ситуаций / Радиоэлектроника и информатика, 1998, № 4(05).- с.61-64.
2. Довідник з цивільної оборони. – К.: ЗАТ «Укртехногрупа», 2000 р. – 348 с.
3. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. – К.: Наукова думка, 1986. – 268 с.
4. Говаленков С.В., Комяк В.М., Коссе А.Г., Соболев О.М. Оптимізація покриття міста нормованими зонами захисту пожежних депо / Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2001. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т.12. – С. 47-49.
5. Киселева Е.М., Шор Н.З. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств: теория, алгоритмы приложения: Монография. – К.: Наукова думка, 2005. – 564 с.
6. Соболев О.М. Геометричне моделювання областей припустимих рішень в задачах раціонального розбивання точкової множи-

ни на підмножини / Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К: КНУБА, 2007. – Вип.77. – С. 120-128.

7. Комяк В.М., Соболев О.М. Використання модифікованого методу гілок та меж для розв'язання задач розбивання множини на підмножини довільних багатокутників / Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К: КНУБА, 2005. – Вип.75. – С. 65-75.

#### УДК 504.064.36:550.4

*Крайнюк О.В., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,  
Буц Ю.В., канд. геогр. наук, зав. каф., УЦЗУ*

### **ТЕХНОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ СПОЛУКАМИ СВИНЦЮ ҐРУНТІВ МІСТА ХАРКОВА**

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

Проаналізовано рівень акумуляції і характер диференціації сполук свинцю на території міста. Встановлено специфіку і оцінено внесок техногенних джерел на забруднення ґрунтів урбанізованої території. Дано обґрунтовану оцінку еколого-гігієнічній ситуації щодо забруднення сполуками свинцю на території Харкова

**Постановка проблеми.** В даний час людство використовує практично всі елементи періодичної системи Д.І. Менделєєва, а виробнича діяльність стала могутнім геохімічним чинником – техногенезом. Особлива роль в процесах техногенезу належить свинцю. Наростання залучення свинцю і його сполук в процеси техногенезу синхронізовані і просторово зв'язані з комплексом антропогенних перетворень навколишнього середовища в межах виробничо-селітебних зон. Ці перетворення призводять до помітних змін екологічного стану екосистеми великих міст і промислових центрів. Екологічні наслідки багаторічних антропогенних навантажень найбільш інформативно виявляються в складі і властивостях ґрунтів – основному природному середовищі, що депонує різні види забруднення, у тому числі і свинцеве. Забруднення навколишнього середовища свинцем та його сполуками у всьому світі визнається однією з головних сучасних екологічних проблем. В даний час промислові підприємства, урбанізовані території та



транспортні магістралі є головними джерелами утворення і накопичення в екосистемі, головним чином у ґрунтах, сполук свинцю – токсичного металу 1-го класу небезпеки. Металургійні підприємства щорічно викидають на денну поверхню понад 90 тис. тонн свинцю.

Вищезазначена актуальність проблеми свинцевого забруднення навколишнього середовища обумовлює необхідність оцінки присутності свинцю в природних середовищах, особливо на селітебних територіях, а також встановлення специфіки його зв'язків з антропогенними джерелами надходження, що можливе за умови усестороннього і глибокого вивчення особливостей геохімії цього металу. Одним з основних джерел свинцевого забруднення навколишнього середовища є викиди в атмосферу автотранспорту, який присутній в етилованих видах бензину у вигляді тетраетилсвинцю, а в дизельному паливі у складі металоорганічних домішок. Не менш суттєвим джерелом техногенного надходження свинцю до навколишнього середовища є його транскордонні міграції з суміжних територій. Наприклад, проблема транскордонного забруднення р. Сіверський Донець вивчалась у рамках проекту TACIS, оскільки ця річка забруднена, в основному, важкими металами, нафтопродуктами та ін. [1]. Небезпека свинцю для людини визначається його токсичністю і здатністю акумулюватися в організмі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У 2006 році на вміст промислових токсикантів вибірково були обстежені ґрунти 18 міст України. Зафіксовано високий вміст середньорічних концентрацій важких металів (в межах 1,1 – 11,2 ГДК) в ґрунтах багатьох міст [1].

Внаслідок аварій на російських підприємствах хімічні речовини, скинуті у навколишнє середовище, призвели до забруднення річок Десна, Сейм, а також Азовського моря. У напрямку потоку зазначених водних об'єктів можливе транскордонне забруднення вод та територій суміжних держав. На північно-східному і північному кордоні з Білоруссю та Росією поверхневі води р. Дніпро забруднювались переважно сполуками важких металів [1]. Складною залишалась проблема забруднення Дунаю. Внаслідок аварійних викидів з відстійників промислових підприємств протягом 2000–2006 рр. у воду надходили сполуки важких металів з високою токсичністю [1].

Харківський регіон також схильний до локального свинцевого забруднення, головним чином, з боку чисельних котелень та

автотранспортних засобів. Швидке зростання кількості автотранспортних засобів обумовлює підвищену забрудненість ґрунтів та інших природних середовищ. Таким чином, спеціалізоване вивчення особливостей техногенезу свинцю і змін фізико-хімічних властивостей ґрунтів на території міста Харкова є досить актуальним. У меншій мірі, джерелами надходження техногенного свинцю є промислові підприємства, АЗС, полігони твердих побутових відходів.

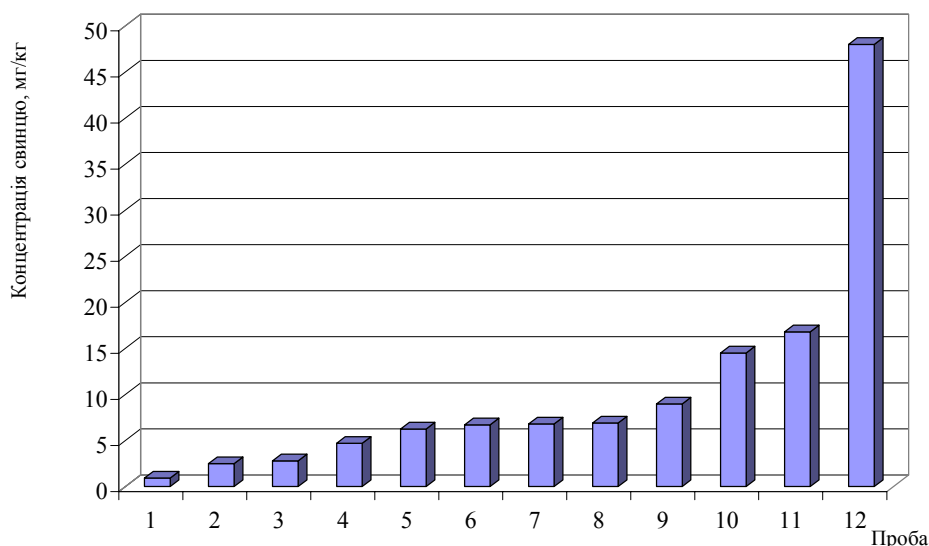
**Постановка завдання та його вирішення.** Диференціація важких металів на поверхні ґрунту визначається багатьма факторами. Вона залежить від особливостей джерел забруднення, метеорологічних особливостей регіону, геохімічних чинників і ландшафтно-обстановки в цілому. Саме нерівномірність техногенного розповсюдження свинцю визначається неоднорідністю ландшафтно-геохімічної обстановки в природних екосистемах. У зв'язку з цим, для прогнозування можливого забруднення продуктами техногенезу і запобігання небажаних наслідків діяльності людини необхідне розуміння законів геохімії, вивчення законів міграції хімічних елементів в різних природних ландшафтах. Основним процесом, що сприяє розповсюдженню свинцю, є атмосферне перенесення забруднених ним викидів і, у меншій мірі, водне перенесення забруднених природних і стічних вод. Екологічні наслідки свинцевого забруднення навколишнього середовища обумовлені міграцією свинцю з поверхневими і ґрунтовими водами, його акумуляцією в ґрунті, з подальшим поглинанням рослинами та участю в харчових ланцюгах тварин і людини.

Основна мета даного дослідження полягає у кількісному визначенні свинцю в ґрунті і рослинах урбанізованої території і виявленні змін фізико-хімічних властивостей ґрунтів міста. Для її досягнення розв'язувалися наступні основні задачі: вивчення валового вмісту і концентрації рухомих форм свинцю в ґрунті міста; вивчення рівнів присутності свинцю в об'єктах навколишнього середовища і оцінка еколого-гігієнічної ситуації на території міста; виявлення характеру міграції валового вмісту і концентрації рухомих форм свинцю в системі: «ґрунт - рослина».

Для вирішення поставлених задач в різних районах міста було узято 45 проб ґрунтів, а також 25 пов'язаних з ними проб рослинності. Відповідно було проведено визначення концентрації свинцю (рис. 1) та інших важких металів методом атомно-абсорбційного аналізу (ААА). Проби ґрунту відбиралися згідно

ГОСТ 17.4.3.01-83 (Охорона природи. Ґрунти. Загальні вимоги до відбору проб) на відстані 2–4 м від автошляхів. Визначення свинцю в зразках рослин проводилася згідно ГОСТ 30692-2000. Для даного методу нижня межа виявлення становить 0,2 мкг/мл розчину. Визначенню не заважають присутні в зразку інші метали. ААА проводили згідно загальноприйнятої методики [2].

Вище відзначено, що основне джерело надходження свинцю в ґрунти відбувається шляхом осадження із забруднених ним атмосферних викидів. Встановлено, що залежно від інтенсивності техногенного забруднення вміст свинцю в атмосферному повітрі варіює в дуже широких межах – 0,01–0,6 мкг/м<sup>3</sup>, а в атмосферних опадах – 0,08–74 мкг/дм<sup>3</sup>.



**Рис. 1 – Валовий вміст свинцю у ґрунті, мкг/кг**

- |                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| 1. вул. 23 серпня     | 7. Хартрон          |
| Олексіївський ж/м     | 8. парк Артема      |
| 2. Вогнеупори         | 9. Роганський ж/м   |
| 3. селище Жуковського | 10. Лугопарк        |
| 4. ФЕД                | 11. Салтівський ж/м |
| 5. Лісопарк           | 12. ТЕЦ-5           |

Слід відмітити дуже високу концентрацію свинцю у ґрунті поблизу ТЕЦ-5. При роботі ТЕЦ на вугіллі утворюються велико-тоннажні золошлакові відходи, що містять такі токсичні компоненти, як важкі метали. В золошлаці ТЕЦ, що працює на вугіллі, виявлено наступні хімічні елементи: As, Cd, Cr, Co, Hg, Cu, Ni, Pb (1–80 мкг/кг) [4].

Окремо слід зазначити про аналіз вмісту важких металів у ґрунті в районі відвалів золошлаків Харківського сміттєспалювального заводу. Чітко прослідковується перевищення ГДК ряду важких і токсичних металів: Pb (рис. 2), Cu, Cr. Концентрація сполук свинцю в 4 рази вище ГДК, Cu – в 3–3,5, Cr – в 2 рази.

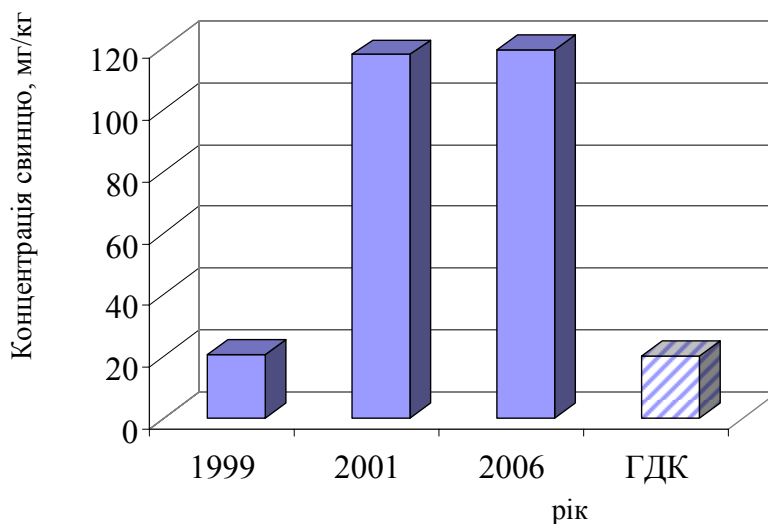


Рис. 2 – Концентрація свинцю у ґрунті на території відвалу Харківського сміттєспалювального заводу, мг/кг

Дані аналізу свідчать про значну міграцію важких металів із золошлаків Харківського сміттєспалювального заводу.

Визначено концентрацію свинцю у деяких рослинах. Наприклад, діапазон концентрацій свинцю в листових пластинах кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale*) складає від 5,3 мг/кг сухої маси в пункті, де навантаження потоку автотранспорту 520 автомобілів на годину, до 24,0 мг/кг в пункті з навантаженням автотранспортного потоку 1200 автомобілів на годину. Отже, навантаження потоку автотранспорту має суттєвий вплив на вміст свинцю в рослинах.

Виявлено, що від навантаження потоку автотранспорту суттєво залежить вміст свинцю в корі і листових пластинах тополі чорної (*Populus nigra*) та берези повислої (*Betula pendula*). Рослини накопичують значні кількості свинцю в органах і тканинах при потужності потоку транспортних засобів від 1000 до 1200 автомобілів/год.

Внаслідок забруднення, поблизу підприємств природні фітоценози стають одноманітними за видовим складом, оскільки біль-

шість видів не витримують підвищення концентрації важких металів у ґрунті. Кількість видів може скорочуватися до утворення моноценозів.

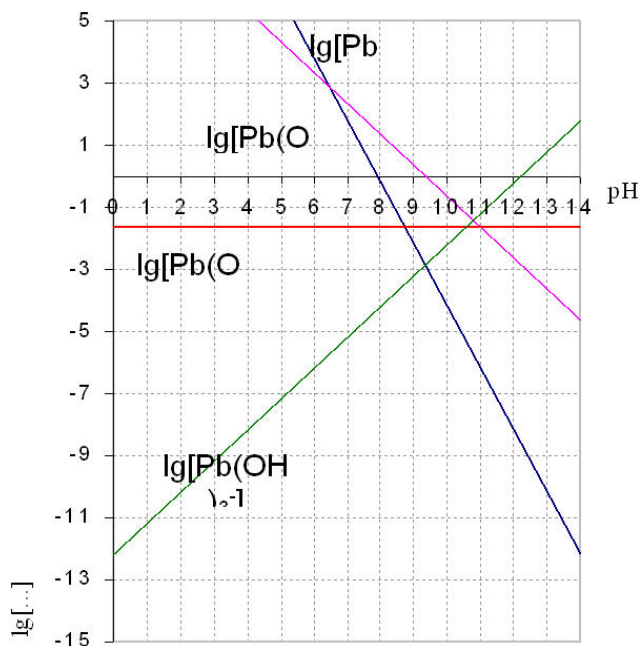
Нормальними для рослин вважаються концентрації свинцю від 0,1 до 5,0 мг/кг сухої речовини, критичними – 10,0 мг/кг, фітотоксичними – більше 60,0 мг/кг. За нашими даними вміст свинцю в рослинах Харкова не досягає фітотоксичних значень. Рослини здатні в своїх тканинах акумулювати значні концентрації свинцю, і можуть бути навіть використані в міських насадженнях для поліпшення екологічної ситуації. Тобто, для зниження свинцевого забруднення на селітебних територіях необхідно організувати висадку дерев відповідних видів.

Теоретично нами розглянуто ймовірність утворення важко- або легкорозчинних сполук свинцю. Основним механізмом поглинання ґрунтом свинцю є його адсорбція. Встановлено, що на її протікання, а зрештою на рівень акумуляції свинцю в ґрунті, впливають наступні чинники: реакція і окислювально-відновні умови середовища, вміст мінеральних і органічних речовин, гранулометричний склад ґрунту. Зокрема, кислі і піщані ґрунти містять помітно менше свинцю ніж лужні і глинисті ґрунти. Важкі метали в основному характеризуються змінною валентністю, низькою розчинністю їх гідроксидів, високою здатністю утворювати комплексні сполуки і, також, катіонною здатністю.

До чинників, що сприяють утриманню важких металів ґрунтом, відносяться: обмінна адсорбція поверхні глини і гумусу, формування комплексних сполук з гумусом, адсорбція гідратованими оксидами алюмінію, заліза, марганцю і т.д., а також формування нерозчинних сполук, особливо при відновленні. Важкі метали, що надійшли до навколишнього середовища, можуть утворювати важкорозчинні гідроксиди. Крім того, в ґрунтовому розчині є можливе утворення металами гідроксокомплексів з різною кількістю гідроксид-іонів. Діапазон осадження гідроксидів і області переважання розчинних гідроксокомплексів вивчені за допомогою побудови концентраційно-логарифмічних діаграм (КЛД) [3]. Таким чином, з побудованих діаграм (рис. 3) можна чітко визначити області максимального осадження гідроксокомплексів металів та утворення важкорозчинних форм, що є обов'язковою умовою акумуляції металів у ґрунті.

Умовою осадження  $Me^{z+}$  вважаємо досягнення його концентрації в ґрунтовому розчині концентрації  $10^{-5}$  моль/л. Сполуки сви-

нцю мають дуже високу розчинність і будуть рухомі в широкому діапазоні рН. Для ґрунтів міста рН складає 6,4-8,2. В таких умовах свинець знаходиться у вигляді іону  $Pb^{2+}$  або утворює гідроксочастинки  $Pb(OH)^+$ . Підвищення значень рН сприяє фіксації сполук свинцю, таким чином, в лужному середовищі зменшується засвоєння рослинами сполук свинцю.



**Рис. 3 – Концентраційно-логарифмічна діаграма утворення гідросокомплексів свинцю**

Негативним фактором забруднення ґрунтів є підвищення концентрації рухомих форм свинцю. Ця ситуація, як правило, ускладнюється внаслідок синергізму з боку інших токсичних важких металів, супутніх свинцевому забрудненню ґрунтів – мідь, цинк, кадмій і ін., який враховується розрахунком відповідного коефіцієнту концентрації (1). Тому, головною вимогою екологічної безпеки служить не перевищення даного коефіцієнту одиниці. В розглянутих нами випадках він складає 4,8-8,9.

$$K_{\kappa} = \sum \frac{C_i}{ПДК_i} \quad (1)$$

### **Висновки.**

1. Рівень акумуляції і характер диференціацій валового вмісту свинцю та його рухомих форм у ґрунтах міста Харкова визна-

часться специфікою антропогенного навантаження, що створюється, в основному, автотранспортом промисловими викидами. Зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів міста мають локальне поширення, що пов'язане з основними джерелами свинцевого забруднення ґрунтів.

2. Отримані результати дозволяють більш достовірно оцінити еколого-гігієнічну обстановку в Харкові і виявити на його території локальні джерела антропогенного забруднення. На основі аналізу рухомих форм важких металів можна виявити небажані зміни в екологічній ситуації, оцінити ступінь реальної небезпеки забруднення важкими металами ґрунтів при техногенному впливі. Отримані дані за валовим вмістом і рухомими формами свинцю можуть бути використані для геоекологічного картування території міста Харкова.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки України у 2006 році, К.: ДП Чорнобильінтерінфом, 2007.– 238 с.
2. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде / Справочник М. Т. Дмитриев и др.– М., 1989.– 367 с.
3. Крайнюк Е.В., Буц Ю.В., Андронов В.А., Семкив О.М. Миграционная способность тяжелых металлов при чрезвычайных ситуациях техногенного характера // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України.– Вип. 5. – Харків: УЦЗУ, 2007. – С. 113–118.
4. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В., Хрицунова А.Л. До проблеми використання екологічно безпечних енергоносіїв та формування енергоекологічної компетентності // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 1/4 (25). – С. 30–32.

*Кустов М.В., ад'юнкт, УЦЗУ,  
Калугін В.Д., д-р хім. наук, проф., УЦЗУ*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІСТИННИХ РОЗЧИНІВ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

На основі теорії планування експериментів розроблена методика проведення експериментів по встановленню фізико-хімічних параметрів істинних розчинів та побудовані моделі залежностей фізико-хімічних параметрів істинних розчинів від концентрації добавки та температури

**Постановка проблеми.** При ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) техногенного характеру використовують великий спектр істинних розчинів на основі води. В якості добавок до води використовуються електроліти, полімери та поверхнево-активні речовини (ПАР). Ефективність дії розчинів речовин, що використовуються для ліквідації НС, залежить від характеру контакту рідини та твердої поверхні, на яку вона подається. Характер цього контакту суттєво залежить від фізико-хімічних властивостей на межі розподілу тверда поверхня/розчин. Різні добавки до води впливають на фізико-хімічні властивості розчину по різному, тому є актуальним як експериментальне дослідження залежності фізико-хімічних властивостей істинних розчинів від концентрації добавок, температури розчину та характеру твердої поверхні, так і пошук можливостей їх дослідження за допомогою математичних моделей, які можуть бути побудовані на базі експериментальних даних.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Основними властивостями рідких речовин, які впливають на їх вогнегасну ефективність, є поверхневий натяг ( $\sigma$ ) та в'язкість ( $\eta$ ). Встановлено, що для збільшення ефективності рідин при ліквідації НС необхідно мінімізувати їх поверхневий натяг [1]. Також відомо, що для затримки рідини на похилих та вертикальних поверхнях необхідно досягати достатньо великої в'язкості істинних розчинів. Однак не існує до останнього часу спроб математичного моделювання залежностей фізико-хімічних властивостей розчинів від їх складу та температури.



**Постановка завдання та його вирішення.** При ліквідації НС рідини можуть подаватися як на металеві поверхні (залізнодорожні цистерни, резервуари, металоконструкції), так і на дерев'яні (при ліквідації загорань), тому доцільно дослідити зміну фізико-хімічних характеристик на межі поділу розчин/метал та розчин/деревина при різних температурах.

З метою визначення залежностей поверхневого натягу вогнегасних розчинів на основі води від температури розчину, концентрації добавок та характеру поверхні поділу фаз були проведені повні факторні експериментальні дослідження.

Поверхневий натяг ( $\sigma$ ) вимірювався методом «відриву кільця». Для дослідження  $\sigma$  на поверхні поділу розчин/метал матеріал кільця згідно [2] використовували ніхром. Для дослідження  $\sigma$  на поверхні поділу розчин/деревина використовували дерев'яну (сосна) рамку розмірами 40\*40мм. Для дослідження поверхневих властивостей деревини в умовах, що імітують процес горіння, використовували дерев'яну обвуглену рамку.

Оскільки досліджували вплив тільки двох факторів – концентрації добавки та температури, то був поставлений експеримент типу  $2^2$  [3]. Для побудови поліному другого порядку користувалися методом, запропонованим Г. Е. П. Боксом та К. Б. Вільсоном [4], згідно до якого використовували ортогональні плани першого порядку в якості ядра, на якому потім добудовували конструкцію плану другого порядку. В роботі використовували рототабельні плани другого порядку, так як вони, відмінно від ортогональних, дають можливість передбачати значення функції відгуку з дисперсією, однаковою на рівних відстанях від центру плану [5]. Для цього додатково проводились експерименти в центрі плану (на нульовому рівні) та на відстані  $d$  від центру. В цьому випадку зіркове плече  $d$  вибиралось із умови інваріантності плану до обертання. Так як ми маємо двохфакторний експеримент, то для побудови центрального композиційного рототабельного плану брали 4 зіркові точки та 5 точок на нульовому рівні. Величина плеча  $d$  для зіркових точок дорівнює 1,414. Рототабельний план другого порядку представлений у таблиці 1. Матриця двохфакторного експерименту по визначенню залежності поверхневого натягу та в'язкості розчину від концентрації добавки електроліту та температури розчину приведена у таблиці 1.

**Таблиця 1 – Центральний композиційний рототабельний план другого порядку для двох факторів**

Дослід	$x_0$	$x_1(t)$	$x_2(c)$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_1x_2$	$y_\sigma$	$y_\eta$
Планування типу $2^2$	+1	-1	-1	+1	+1	-1	73.45	1,04
	+1	+1	-1	+1	+1	+1	59.06	0,332
	+1	-1	+1	+1	+1	+1	82.05	1,44
	+1	+1	+1	+1	+1	-1	66.91	0,45
Зіркові точки	+1	-1,414	0	2	0	0	80.57	1,23
	+1	+1,414	0	2	0	0	61.91	0,37
	+1	0	-1,414	0	2	0	65.32	0,471
	+1	0	+1,414	0	2	0	73.81	0,76
Нульові точки	+1	0	0	0	0	0	65.65	0,56
	+1	0	0	0	0	0	65.57	0,568
	+1	0	0	0	0	0	65.6	0,559
	+1	0	0	0	0	0	65.69	0,561
	+1	0	0	0	0	0	65.56	0,56

**Таблиця 2 – Матриця планування**

Рівень та інтервал зміни факторів	Щільність, г/см <sup>3</sup>	
	Температура, °C	Концентрація добавки, %мас.
Нульовий рівень, $x_i=0$	55	10
Інтервал зміни, $\delta_i$	30	7
Верхній рівень, $x_i=1$	85	17
Нижній рівень, $x_i= -1$	25	3
Кодове позначення	$X_1$	$X_2$

Розрахунок коефіцієнтів регресії за результатами експериментів проводили за наступними формулами

$$b_0 = \delta'_0 \sum_{u=1}^n y_u - \delta''_0 \sum_{u=1}^n \sum_{i=1}^k x_{iu}^2 y_u ; \quad (1)$$

$$b_i = \delta_i \sum_{u=1}^n x_{iu} y_u ; \quad (2)$$

$$b_{ij} = \delta_{ij} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} y_u ; \quad (3)$$

$$b_{ii} = \delta'_{ii} \sum_{u=1}^n x_{iu}^2 y_u + \delta''_{ii} \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^n x_{iu}^2 y_u - \delta'''_{ii} \sum_{u=1}^n y_u . \quad (4)$$

Значення  $\delta$ , що входять до формул (1)-(4), бралися із [5] та дорівнюють:  $\delta_0' = 0.2$ ,  $\delta_0'' = 0.1$ ,  $\delta_i = 0.125$ ,  $\delta_{ij} = 0.25$ ,  $\delta_{ii} = 0.125$ ,  $\delta_{ii}'' = 0.0188$ ,  $\delta_{ii}''' = 0.1$ .

З розрахунку отримали моделі наступного вигляду

$$y_{\sigma} = 0,0031x_1^2 + 0,0163x_2^2 - 0,0039x_1x_2 - 0,539x_1 + 0,0368x_2 + 65.5 . (5)$$

$$y_{\eta} = 0,00049x^2 + 0,0225x + 0,00014y^2 - 0,025y - 0,00028yx + 1,434 . (6)$$

Таким же чином отримували моделі і для поверхневого натягу на межі поділу деревина обвуглена/розчин та метал/розчин та модель для в'язкості для інших розчинів з різними добавками.

Отримавши поліноміальну модель проводимо статистичну оцінку. Перевіряємо відтворення процесу за критерієм Кохрена за формулою

$$G = \frac{s_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^n s_u^2} \leq G_{(0.05; f_n; f_u)} . \quad (7)$$

де  $s_u^2$  – дисперсія, що характеризує розсіяння результатів досліджень на  $u$ -м рівні факторів;  $s_{u\max}^2$  – найбільше із дисперсій у строчках плану;  $G_{(0.05; f_n; f_u)}$  - табличне значення критерію Кохрена при 5% - вому рівні значимості;  $f_n = n$  – число незалежних оцінок дисперсії;  $f_u = m - 1$  – число ступенів свободи кожної оцінки.

За критерієм Ст'юдента перевіряли значимість коефіцієнтів. Довірчий інтервал визначався за формулою

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0.05; f_y)} \sqrt{\frac{s_y^2}{n}} . \quad (8)$$

де  $t_{(0.05; f_y)}$  - 5% - ва точка розподілу Ст'юдента з  $f_y$  - ступенями свободи,  $t=2,7764$  [5].

Усі коефіцієнти моделі (5) більші довірчого інтервалу – 0,0012. Коефіцієнти при  $x^2$ ,  $y^2$  та  $xy$  моделі (6) не значимі, таким чином модель (6) приймає такий вигляд

$$y_\eta = 0,0225x - 0,025y + 1,434. \quad (9)$$

Коефіцієнт регресії визначається з різними дисперсіями, для розрахунку яких використовували формули

$$s_{b_0}^2 = \gamma_0 s_y^2, \quad (10)$$

$$s_{b_{ii}}^2 = \gamma_i s_y^2, \quad (11)$$

$$s_{b_i}^2 = \gamma_i s_y^2, \quad (12)$$

$$s_{b_{ij}}^2 = \gamma_{ij} s_y^2. \quad (13)$$

де  $\gamma_0=0.2$ ,  $\gamma_i=0.125$ ,  $\gamma_{ii}=0.125$ ,  $\gamma_{ij}=0.25$  [5].

Похибка експерименту при рототабельному плануванні може визначатися за експериментами в центрі плану

$$s_0^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1}. \quad (14)$$

Чисельник формули (14) представляє собою залишкову суму квадратів у центрі плану  $S_0$ , а знаменник пов'язаний із числом ступенів свободи  $f_0=n_0-1$ . Загальна остаточною сумою квадратів плану визначається

$$S_{заг} = \sum_{u=1}^n (y_u - y_{ирозрах})^2. \quad (15)$$

Дисперсія адекватності моделі характеризується сумою

$$S_{ad} = S_{заг} - S_0. \quad (16)$$

З числом ступенів свободи

$$f_{ad} = n - \frac{(k+2)(k+1)}{2} - (n_0 - 1). \quad (17)$$

де  $k$  – кількість факторів в експерименті,  $k=2$ .

Дисперсія адекватності

$$s_{ad}^2 = \frac{S_{ad}}{f_{ad}}. \quad (18)$$

Адекватність моделі перевіряється за критерієм Фішера

$$F = \frac{s_{ad}^2}{s_0^2} \leq F_{(0.05; f_{ad}; f_y)}. \quad (19)$$

де  $F_{(0.05; f_{ad}; f_y)}$  - критерій Фішера при 5%-вому рівні значимості;  $f_{ad}$  - число ступенів свободи дисперсії адекватності;  $f_y$  – число ступенів свободи дисперсії відтворювання.

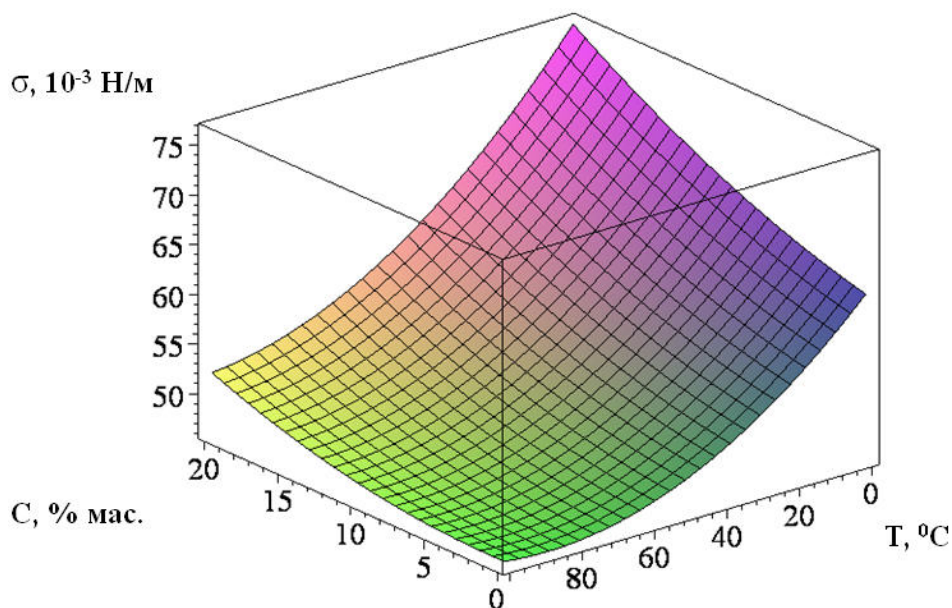


Рис 1 – Залежність поверхневого натягу розчину від температури та концентрації електроліту

Таким чином для (5) маємо за критерієм Кохрена:  $0,6667 < 0,9065$ , для (9) –  $0,789 < 0,9065$ , тобто процес відтворюється, а за критерієм Фішера:  $1,3333 < 7,7086$  для (5) та  $2,456 < 7,7086$  для (9), тобто моделі адекватні. Графічне зображення моделей (5) та (9) приведені на рисунках 1, 2.

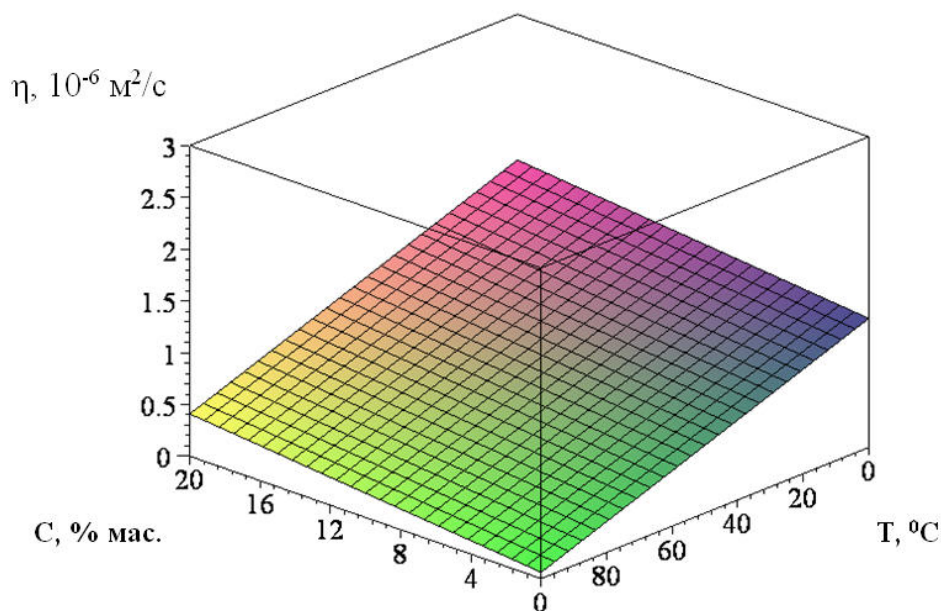


Рис 2 – Залежність в'язкості розчину від температури та концентрації електроліту

Графічне зображення інших моделей, отриманих при проведенні експериментальних досліджень, приведені у роботі [6].

**Висновки.** Таким чином, на основі математичного планування експерименту були проведені дослідження фізико-хімічних властивостей істинних розчинів на основі води. Побудовані математичні моделі залежностей поверхневого натягу та в'язкості від концентрації добавок та температури розчину. З представлених у роботі математичних моделей видно, що додавання електролітів до розчину має менший вплив на фізико-хімічні властивості, ніж температура розчину. Так як математичні моделі дають можливість визначення впливу на фізико-хімічні властивості розчинів кожного з факторів, то вони дозволяють оптимізувати поверхневий натяг та в'язкість істинних розчинів для використання їх при ліквідації НС.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі. – Харків, 2004. – 252 с.
2. ДСТУ 4041-2001. Піноутворювачі спеціального призначення, що використовуються для гасіння пожеж водонерозчинних і водорозчинних горючих рідин. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.
3. Кренецкий И.И. Основы научных исследований. Уч. пособие для вузов. – Киев-Одесса, 1981. – 208с.
4. Vox G. E. P., Wilson K. B. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. – “Journal of the Royal Statistical Society”? Series B, 1951, 13, № 1, p. 1 – 45.
5. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – «Техника», 1975. – 168 с.
6. Кустов М.В., Калугін В.Д. Фізико-хімічні властивості вогнегасних рідин в умовах, наближених до пожежі. // Сучасні проблеми фізичної хімії: Матеріали III Між нар. конф. – Донецьк, 2007. – С. 141-142.

### УДК 355.77

*Метелев А.В., канд. техн. наук, декан, УГЗУ,  
Вандер К.А., д-р мед. наук, доц., УГЗУ,  
Фесенко Г.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Ромин А.В., канд. техн. наук, зам. нач. фак., УГЗУ*

### **ОЦЕНКА САНИТАРНЫХ ПОТЕРЬ НАСЕЛЕНИЯ В ЭПИДЕМИЧЕСКИХ ОЧАГАХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ СОВЕРШЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО АКТА**

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

Рассмотрен порядок оценки санитарных потерь населения в эпидемических очагах чрезвычайных ситуаций, обусловленных применением террористами в качестве биологических агентов легочной чумы, сибирской язвы, туляремии, холеры, бруцеллеза и дифтерии. Показана возможность снижения санитарных потерь за счет улучшения санитарно-противоэпидемической подготовки населения

**Постановка проблемы.** Одним из основных мероприятий гражданской защиты населения является его защита от биологи-

*Метелев А.В., Вандер К.А., Фесенко Г.В., Ромин А.В.*

ческого заражения [1]. В последнее время достаточно внимания уделяется организации биологической защиты в эпидемических очагах чрезвычайных ситуациях (ЧС), обусловленных террористическими актами с применением биологических агентов (БА) [2-4]. Использование террористами БА обусловлено их дешевизной и относительной простотой применения для массового поражения населения. Следует отметить, что при невозможности террористами применить БА самостоятельно, они рассматривают возможность разрушения микробиологических лабораторий (на Украине их около 3,5 тысяч). Таким образом, от органов реагирования на подобные ЧС (МЧС и Министерства охраны здоровья Украины в первую очередь) [5] требуется качественная организация мероприятий по локализации и ликвидации эпидемических очагов. Поскольку реализации указанных мероприятий предшествует прогнозирование числа заболевших в ходе развития эпидемического процесса, сопровождающегося распространением инфекции (санитарных потерь), то весьма актуально рассмотреть подход, направленный на уточнение таких прогнозных оценок.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах и методиках, посвященных затронутым вопросам [6-10], для ряда коэффициентов, учитываемых при прогнозировании (коэффициента специфической защиты, коэффициента экстренной профилактики, контагиозного индекса) приводятся усредненные значения, не отражающие специфику воздействия того или иного БА [6-8]. Кроме этого, уровень санитарно-противоэпидемической подготовки населения либо не учитывается, либо принимается допущение о том, что этот уровень достаточно высок [9]. Целью статьи является показать такой подход к прогнозированию санитарных потерь, который учитывал бы как специфику воздействия БА, так и уровень санитарно-противоэпидемической подготовки населения.

**Постановка задачи и ее решение.** Проведем прогнозирование санитарных потерь для случаев использования террористами следующих БА: легочная чума, сибирская язва, туляремия, бруцеллез, холера, дифтерия. Выбор для рассмотрения данных БА осуществлен на основе рейтинговой системы их распределения по вероятности использования террористами [3]. Первые три БА представляют группу высокой вероятности использования (группа 1), а следующие три – группу возможного использования (группа



2). С учетом рекомендаций [10] для оперативных расчетов санитарных потерь предложим следующую формулу

$$N_{II} = N_3 \cdot I_K \cdot (1 - K_{H3}) \cdot (1 - K_{C3}) \cdot K_{ЭП},$$

где  $N_3$  - численность зараженного и контактировавшего населения, чел;  $I_K$  - контагиозный индекс;  $K_{H3}$  - коэффициент неспецифической защиты;  $K_{C3}$  - коэффициент специфической защиты (коэффициент иммунитета);  $K_{ЭП}$  - коэффициент экстренной профилактики (антибиотикопрофилактики).

Отметим, что величина  $N_3$  определяется в зависимости от установления инфекционной нозоформы эпидемического очага. Принимается, что при высококонтагиозных инфекциях 50% населения, находящегося в зоне воздействия поражающих факторов, подвергается заражению. При контагиозных и малоконтагиозных инфекциях заражение людей может составить 10-20% от общей численности населения.

Контагиозный индекс  $I_K$  - это численное выражение возможного заболевания при первичном инфицировании каким-либо определенным возбудителем. Этот индекс показывает степень вероятности заболевания человека после инфицирования (контакта с больным).

Коэффициент  $K_{H3}$  зависит от своевременности проведения санитарно-гигиенических и противоэпидемических мероприятий, защищенности питьевой воды и продуктов питания от заражения возбудителями, разобщения населения на мелкие группы при воздушно-капельных инфекциях, наличия индивидуальных средств защиты от насекомых и др. Он может составлять при отличной санитарно-противоэпидемической подготовке населения - 0,9; при хорошей - 0,7; удовлетворительной - 0,5; при неудовлетворительной - 0,2 [10]. Если население попало в зону поражения, то в любом случае коэффициент  $K_{H3}$  будет равен 0,1.

Коэффициент  $K_{C3}$  учитывает эффективность различных вакцин, рекомендованных в настоящее время для специфической профилактики инфекционных заболеваний. Если же тип эпидемической вспышки не установлен и не проводилась иммунизация населения, то коэффициент иммунитета принимается 0,5.

Коэффициент  $K_{ЭП}$  соответствует защите антибиотиками от данного возбудителя болезни.

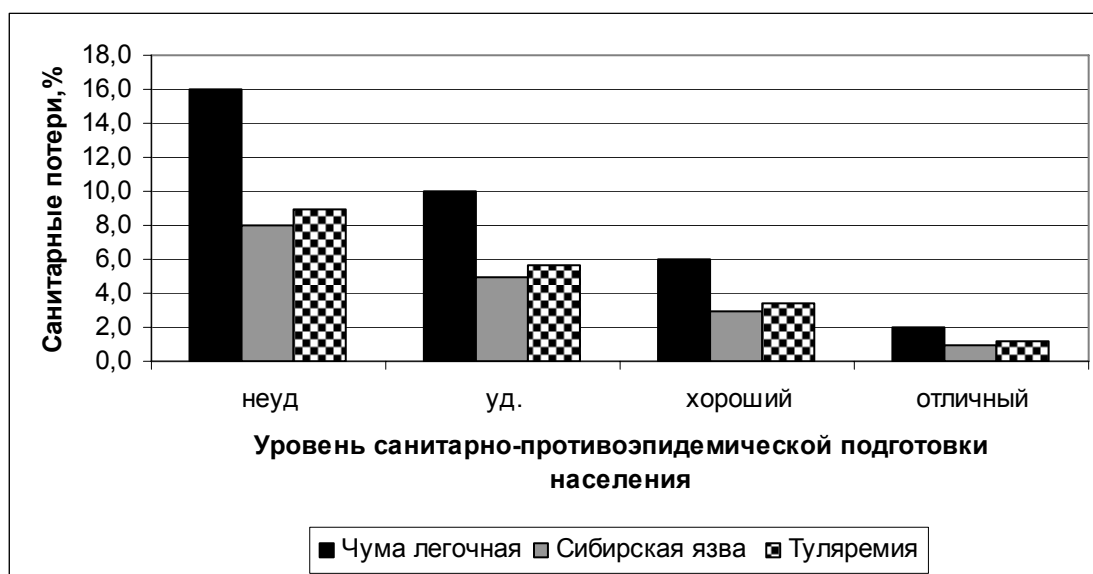


Рис. 1 – Зависимость санитарных потерь в эпидемическом очаге ЧС от уровня санитарно-противоэпидемической подготовки населения в случае использования террористами БА группы 1

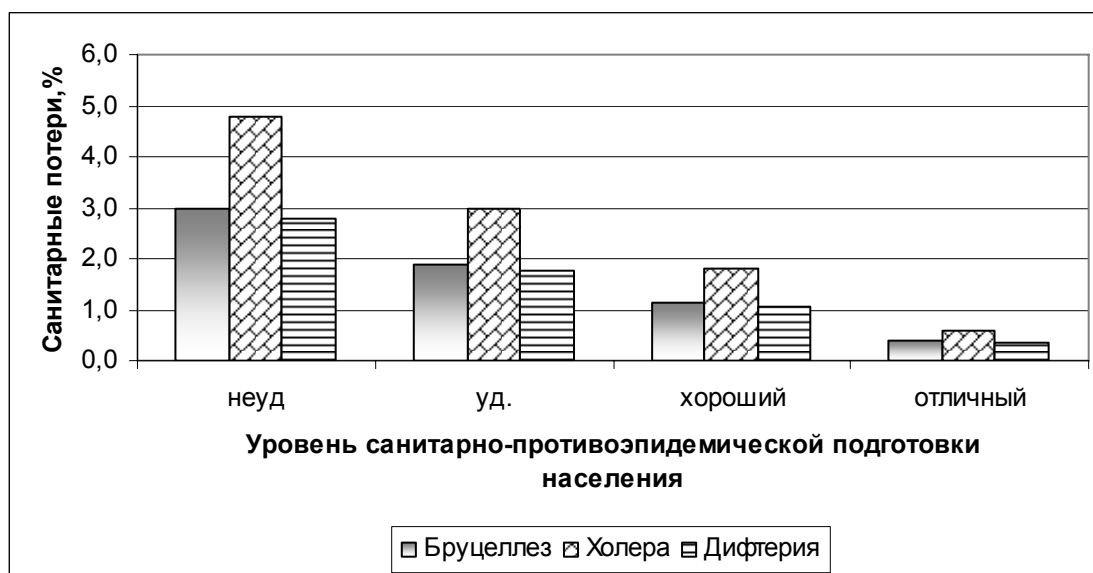


Рис. 2 – Зависимость санитарных потерь в эпидемическом очаге ЧС от уровня санитарно-противоэпидемической подготовки населения в случае использования террористами БА группы 2

Таким образом, одним из способов уменьшения санитарных потерь населения может быть повышение уровня его санитарно-противоэпидемической подготовки (увеличение коэффициента  $K_{НЗ}$ ).

На рис.1 приведены графики зависимости санитарных потерь населения от уровня его санитарно-противоэпидемической подготовки при использовании БА группы 1, а на рис.2 – при использовании БА группы 2. При этом принимается, что  $N_3 = 10000$  чел.

Анализ графиков, приведенных на рис.1,2 позволяет сделать следующие выводы.

Среди БА группы 1 наибольшую опасность представляет легочная чума, а среди группы 2 – холера (максимальные санитарные потери составляют 16% и 5,4% соответственно).

Улучшение санитарно-противоэпидемической подготовки населения позволяет значительно снизить санитарные потери. Так, например, неудовлетворительная подготовка населения приводит к санитарным потерям при инфицировании легочной чумой на уровне 16%, а при отличной подготовке – всего 2 % (для туляремии потери могут быть снижены с 9 % до 1,1 %, для сибирской язвы - с 8% до 1%, для холеры - с 5,4 % до 0,6 %, для бруцеллеза - с 3,4 до 0,4%, а для дифтерии – с 3,2 до 0,4 %).

**Выводы.** Рассмотрен порядок оценки потерь населения в эпидемиологических очагах чрезвычайных ситуаций, обусловленных террористическими актами с применением биологических агентов. Показано, что среди биологических агентов группы высокой вероятности использования наибольшую опасность представляет легочная чума, а среди группы возможного использования – холера. Оценен процент снижения санитарных потерь за счет улучшения санитарно-противоэпидемической подготовки населения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Про правові засади цивільного захисту. Закон України за № 1859-IV від 24.06.2004 // Відомості Верховної Ради України. - №39. – Ст. 488.
2. Гавура В.В. Биологический терроризм – новая проблема эпидемиологии // Український медичний часопис. - №2 (34). – III/IV. – 2003. - С. 14-18.

3. Евстигнеев В.И. Биологическое оружие и проблемы биологической безопасности. - <http://www.armscontrol.ru/course/lectures03a>.
4. Демченко А.П. Проблема биологического оружия для Украины существует. - <http://www.zerkalonedeli.com/nn/show/522/48388/>.
5. Про взаємодію при виникненні надзвичайних ситуацій, пов'язаних з отруєннями та інфекційною захворюваністю людей. Наказ МНС України та МОЗ України за № 28/25 від 28.01.2002 р.
6. Martin L. Meltzer, Inger Damon, James W. Le Duc & J Donald Miller. Modeling potential responses to smallpox as a bioterrorist weapon. - *Emerging Infectious Diseases*. - November-December 2001. - Vol. 7. - №. 6.
7. Joshua M Epstein, Derek A.T. Cummings, Shubha Chakravarty, Ramesh M. Singa & Donald S. Burke. Toward a containment strategy for smallpox bioterror: an individual-based computational approach// Center on Social and Economic Dynamics, Working Paper. - December 2002. - №. 31.
8. R.F. Grais, J.H. Ellis & G.E Glass. Forecasting the geographical spread of smallpox case by air travel // *Epidemiol. Infect.* Cambridge University Press. - 2003. - № 131. – P. 849-857.
9. Боев Б.В. Прогнозно-аналитические модели эпидемий. - <http://www.armscontrol.ru/course/>.
10. Боев Б.В. Компьютерное моделирование в оценке последствий акта биологического терроризма. - <http://www.bio.su/bor.htm>.
11. Методические рекомендации Минздрава РФ и Департамента Госсанэпиднадзора за № 2510/11646-01-34 «Организация и проведение противоэпидемических мероприятий при террористических актах с применением биологических агентов». Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 6.11.2001 г.

*Попов И.И., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Толкунов И.А., ст. преп., УГЗУ,  
Пономарь В.В., адъюнкт, УГЗУ*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ СЛУЖЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОРГАНОВ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС УКРАИНЫ**

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

Проведен анализ условий обитаемости служебных помещений и сооружений органов и подразделений МЧС Украины и рассмотрены процессы формирования в закрытых помещениях полей загрязнений. Показаны возможные пути улучшения условий выполнения работ на объектах МЧС Украины

**Постановка проблемы.** Обитаемость служебных помещений и сооружений органов и подразделений МЧС Украины (далее – СПС) является сложным, динамичным явлением, зависящим как от степени их совершенства, так и от эффективности технических систем обеспечения жизнедеятельности человека в них. При этом качество среды обитания определяется степенью ее загрязненности посторонними механическими, химическими и биологическими веществами. Эти вещества могут поступать в воздушную среду обитания (ВСО) в результате работы промышленных предприятий, транспорта и из других источников, а также при загрязнении окружающей среды выбросами опасных химических веществ в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС). В тоже время в находящихся в эксплуатации СПС не в полной мере обеспечиваются показатели качества среды обитания в соответствии с действующими медико-экологическими требованиями Правил безопасности труда в органах и подразделениях МЧС Украины [1]. В связи с этим вопросы комплексного всестороннего анализа процессов формирования условий обитаемости служебных помещений и сооружений органов и подразделений МЧС Украины являются актуальными.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования показывают, что в среде обитания закрытых или вентилируемых помещений, к которым относятся СПС, постоянно присутствует бытовая пыль, оксиды углерода, азота и серы, озон, ра-

дон, компоненти табачного дима, десятки різних летучих органічних сполучень, мікроорганізми. Причём ці забруднювачі в результаті різних хімічних реакцій, що відбуваються в повітрі приміщень, можуть перетворюватися в більш токсичні, що в кінці приводить до неконтрольованого погіршення самопочуття людей і підвищує ступінь ризику виникнення різних захворювань. Комплекс факторів, пов'язаних з високою забрудненістю повітря приміщень і внаслідок цього з скаргами населення, отримав назву синдрому «нездорового» будівлі (рис. 1) [2].

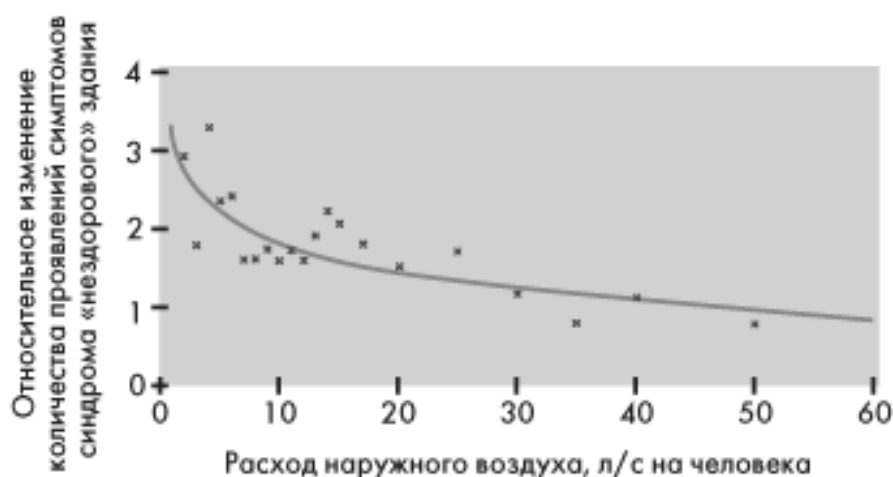


Рис. 1 – Кількість проявлених симптомів синдрому «нездорового» будівлі як функція витрати зовнішнього вентиляційного повітря

Существует множество источников загрязнения воздушной среды в замкнутом объеме помещения. К основным относятся строительно-отделочные материалы, внутренняя обстановка помещения (предметы быта, приборы, мебель и др.), высокотемпературные источники, продукты жизнедеятельности организма человека. При этом, химический состав воздуха внутри помещений определяется не только естественными и антропогенными факторами, но и в результате различных химических превращений с участием загрязнителей [3].

**Постановка задачі і її рішення.** Среда обитання закритих і вентиляруємих приміщень, як правило, формується в результаті взаємодії різноманітних фізичних і хімічних факторів. Якість такої середовища визначається не тільки середніми значеннями фізико-хімічних показників в обжитій

(рабочей) зоне помещения (сооружения), но и пространственным распределением их полей. Отсюда возникает проблема оценки динамики эмиссии загрязнителей в зависимости от различных факторов (температуры, влажности), а также определения уровня загрязнения воздушной среды в сооружении в результате такой эмиссии [4].

В связи с этим, целью исследования является анализ состояния среды обитания служебных помещений и сооружений органов и подразделений МЧС Украины и определение возможных путей его улучшения.

Поля микроклиматических параметров и концентрации загрязняющих веществ в обитаемых помещениях и сооружениях образуются в результате взаимодействия распространяющихся в них воздушных и тепловых потоков (циркуляции воздуха). Потоки индуцируются источниками и стоками теплоты и массы (например, нагретые и охлажденные поверхности, отверстия в ограждениях, системы отопления и вентиляции, движением людей и механизмов, ветром и т. п.).

Эффективность удаления загрязняющих веществ (ЭУЗВ)  $\varepsilon^c$  является показателем скорости удаления присутствующих в воздухе загрязнений [5]

$$\varepsilon^c = \frac{C_e(\infty)}{\langle C(\infty) \rangle} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где:  $\varepsilon^c$  – эффективность удаления загрязняющих веществ (ЭУЗВ)(%);  $C_e(\infty)$  – установившаяся концентрация загрязняющих веществ в вытяжном воздухе (мг/м<sup>3</sup>);  $\langle C(\infty) \rangle$  – установившаяся средняя концентрация загрязняющих веществ в помещении (мг/м<sup>3</sup>).

В случае полного перемешивания воздуха в помещении концентрация загрязняющих веществ в вытяжном воздухе равна концентрации в помещении, при этом ЭУЗВ = 100 %. При других условиях ЭУЗВ может меняться от очень небольших значений до очень больших, в зависимости от положения источника загрязнения и характера потока воздуха в помещении. При равномерном распределении источника загрязнений, что часто бывает, если основными источниками загрязнений являются сами люди, находящиеся в помещении, максимальное значение ЭУЗВ, равное

200%, досягається при ідеальному поршневому режимі потоку повітря.

В установившемся стані концентрація забруднюючих речовин в витяжному повітрі залежить від інтенсивності виделень забруднень  $S$  і расхода вентиляційного повітря  $q_v$ . Ця величина визначається як

$$C_e(\infty) = \frac{S}{q_v}, \quad (2)$$

де:  $S$  – інтенсивність виделень забруднень ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $q_v$  – расход вентиляційного повітря ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Показатель локального якості повітря  $\varepsilon_p^c$  являється мірою забруднення в точці  $P$  і визначається наступним вираженням

$$\varepsilon_p^c = \frac{C_e(\infty)}{C_p(\infty)} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де:  $\varepsilon_p^c$  – показатель локального якості повітря (%);  $C_p(\infty)$  – середня концентрація забруднюючих речовин при установившемся стані в точці  $P$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ).

Часто використовуються інші визначення, такі як  $\varepsilon_{oz}^c$  або  $\varepsilon_b^c$  – показателі якості повітря в зоні обслуговування і в зоні дихання відповідно

$$\varepsilon_{oz}^c = \frac{C_e(\infty)}{C_{oz}(\infty)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де:  $C_{oz}(\infty)$  – установившаяся середня концентрація забруднюючих речовин в зоні обслуговування ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ).

$$\varepsilon_b^c = \frac{C_e(\infty)}{C_b(\infty)} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де:  $C_b(\infty)$  – установившаяся середня концентрація забруднюючих речовин в зоні дихання ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ).

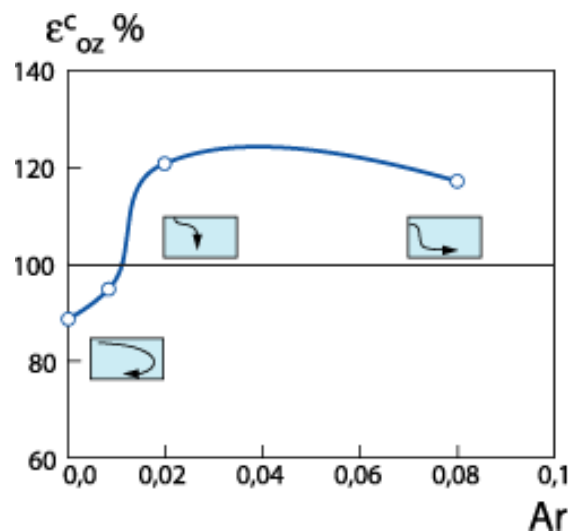
Знання закономірностей розповсюдження потоків повітря, в т. ч. забрудненого, дозволяє в певній ступені управляти



циркуляционными потоками и формировать в зданиях и помещениях наиболее эффективное распределение температуры и концентрации загрязняющих веществ.

Самые первые прогнозы движения воздушных потоков в помещении были сделаны в 1970-х годах. С тех пор работы в этой области значительно активизировались, в особенности из-за того, что стоимость вычислений каждые восемь лет снижается на порядок, и такая тенденция, вероятно, в ближайшие годы сохранится [6].

На рис. 2 представлен показатель качества воздуха  $\varepsilon_{oz}^c$  в помещении с двухмерным потоком при различных значениях критерия Архимеда ( $Ar$ ) (в данном случае  $C_{oz}$  является средним значением концентрации загрязняющих веществ на расстоянии 0,35 м от пола). Источник загрязняющих веществ и источник тепла равномерно распределены вдоль пола. Высокая эффективность удаления загрязняющих веществ наблюдается в том случае, когда струя воздуха проходит через середину помещения.



**Рис. 2 – Эффективность удаления загрязняющих веществ как функция критерия Архимеда в помещении с двухмерным потоком**

Такая структура воздушного потока является оптимальной для теплового комфорта, учитывая, что из помещения должно отводиться избыточное тепло. Несмотря на то что в данном примере используется упрощенная геометрия помещения, очевидно, что проведение необходимых измерений концентрации загрязняющих веществ в зоне обслуживания потребует больших затрат времени, поэтому вычислительные методы гидродинамики являются в дан-

ном случае полезным инструментом для оценки эффективности удаления загрязняющих веществ.

Для оценки распространения воздуха и загрязняющих веществ в СПС (зонах) может быть предложена следующая их классификация:

1) Зоны СПС, разделенные сплошными стенами (например, центр управления силами и средствами, пункт связи, пищеблок, пост технического обслуживания и др.), расположенные на одном уровне. В стенах могут быть специальные отверстия или щели, через которые происходит перетекание воздуха.

2) Зоны СПС, разделенные стенами, расположенные на разных уровнях (полы на разной высоте). Между такими зонами может существовать движение воздуха (например, по лестничным пролетам или по воздуховодам в гараже, караульном помещении и др.).

3) Зоны СПС в пределах одного помещения (не имеющего физического разделения), имеющие разные требования по чистоте воздуха («чистые» или «грязные» зоны) и расположенные на одном уровне (например, комната психологической разгрузки, спортивный зал, оздоровительный пункт и др.).

4) Зоны СПС, расположенные в пределах одного помещения на разных уровнях (например, актовый зал, учебные классы и др.). Эти зоны имеют разные значения температуры воздуха и/или концентрации загрязняющих веществ.

Причинами перемещения воздуха и загрязняющих веществ между различными зонами могут быть один или несколько факторов:

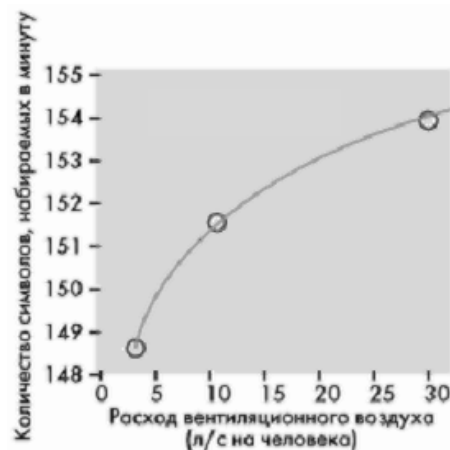
перепад статического давления между двумя зонами в результате несбалансированности подачи приточного воздуха и удаления отработанного воздуха в каждой зоне. Воздух и загрязняющие вещества перемещаются из зоны с более высоким статическим давлением в зону с более низким статическим давлением;

перепад статического давления между двумя зонами как результат действия ветрового давления на ограждения здания;

перепад статического давления между двумя зонами, расположенными на разных уровнях, как результат действия гравитационного давления или конвективные потоки, формирующие разность температур и концентраций загрязняющих веществ в воздухе между двумя зонами, расположенными на разных уровнях одного помещения;

циркуляция воздуха между зонами как результат турбулентности воздуха, генерируемой приточными струями, конвективными потоками или движущимися объектами. В этом случае баланс массы воздуха, перемещаемого между зонами, равен нулю.

Создание оптимальных условий обитаемости СПС определяется функционированием комплекса современных инженерных систем, которые должны обеспечить экологические нормы условий жизнедеятельности человека в течение установленного времени и требуемую работоспособность (производительность труда) (рис. 3).



**Рис. 3 – Влияние на производительность труда расхода вентиляционного воздуха, например, на количество символов, набираемых на компьютере**

Отмеченные системы, как правило, динамические и непрерывные, многоконтурные и многоканальные.

Усовершенствование процессов разработки, проектирования, испытания и эксплуатации этих систем нуждается во всестороннем теоретическом анализе их динамических свойств с учетом современных экологических нормативных требований и возможностей новейших технологий [7,8].

Результаты исследований позволяют определить следующие принципы формирования комфортной среды обитания в СПС:

1. Более высокое качество воздуха в помещении увеличивает производительность труда и уменьшает симптомы «нездорового» здания.
2. Все источники загрязнения внутреннего воздуха должны удаляться.

3. «Персональная вентиляция», т. е. подача чистого воздуха в небольших количествах, должна осуществляться очень мягко и индивидуально, вблизи зоны дыхания каждого человека.

4. Должно обеспечиваться индивидуальное управление климатическими параметрами в помещении.

**Выводы.** Необходимо учитывать совокупность факторов риска, которые могут способствовать понижению степени безопасности труда и ухудшению комфортности среды обитания личного состава органов и подразделений МЧС Украины в закрытых и вентилируемых служебных помещениях. В этих случаях должна проводиться оценка качества среды обитания на соответствие ее параметров медико-экологическим требованиям. Эта задача может быть решена с использованием математических и физических моделей процессов переноса воздушных масс, содержащих опасные агенты, которые и формируют поля загрязнений в СПС.

По результатам проведенных исследований определены возможные пути улучшения условий выполнения служебных обязанностей (задач по предназначению) личным составом органов и подразделений на объектах МЧС Украины. Это позволит обеспечить близкое к оптимальному сочетание требуемой комфортности и безопасности воздушной среды СПС, капитальных и эксплуатационных затрат на строительство объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України. – введені в дію наказом МНС України від 07.05.2007 р. № 312.
2. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей. – [http://www.abok.ru/for\\_specarticles.php](http://www.abok.ru/for_specarticles.php).
3. Барбашин В.В., Попов И.И., Толкунов И.А., Ромин А.В. Оценка экологического состояния среды обитания защитных сооружений гражданской обороны // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2006. -№ 4. – С. 54-61
4. Дмитриев М.Т., Казнина Н.И. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде. – М.: Химия, 1989. – 368 с.
5. Warden D. Наружный воздух – расчет и подача в помещение. – ASHRAE Journal (37)5: 1995. – p. 54-63.

6. Shilkrot E.O. Determination of Design Loads on Room Heating and Ventilation systems using the Methods of Zone-by-Zone balances // ASHRAE Transaction. 1993. Vol. 99, no. 1.
7. Каммерер Ю.Ю. и др. Защитные сооружения гражданской обороны. Устройство и эксплуатация – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 256 с.
8. Халамейзер М.Б. Основы автоматического регулирования установок искусственного климата. – М.: «Машгиз», 1963. – 278 с.

## УДК 502.5:504.062

*Прохач Э.Е., д-р техн. наук, директор  
ХФ ГП МО Украины «Военконверс-43»,  
Михальская Л.Л., канд. техн. наук, зам. директора  
ХФ ГП МО Украины «Военконверс-43»,  
Попов Н.П., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
ХФ ГП МО Украины «Военконверс-43»*

### **МЕТОД РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ФАКЕЛЕ ВЫБРОСОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ УСТАНОВОК ПО НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

Предложен метод расчета концентрации вредных примесей в атмосфере при отработке установок, в факеле выбросов которых могут содержаться высокотоксичные вещества. Метод обеспечивает априорную оценку необходимых при проведении испытаний размеров санитарной зоны при местных метеоусловиях

**Постановка проблемы.** В настоящее время ведется интенсивный поиск схем и конструкций установок по уничтожению жидких и твердых токсичных отходов, в частности, непригодных к использованию пестицидов и гербицидов. При этом, как правило, отдается предпочтение установкам мобильного типа. Особенностью подобных установок является небольшая (до 10 м) высота выходной трубы, высокая температура выбросов, использование в различных климатических условиях.

Об'єктивне заключення о роботі таких установок може бути дано лише на основі натурних випробувань. Для забезпечення безпеки населення при проведенні випробувань необхідно здійснити грамотний вибір границь санітарно-захисної зони території, на якій проходить обробка і випробування установок.

Для прогнозування розмірів санітарної зони і її характеристик необхідний метод розрахунку концентрації різних хімічних речовин, як по сеченню факела викидів, так і на рівні землі. Метод розрахунку повинен передбачувати використання достатньо простих і доступних вимірних приладів, можливість проведення розрахунків на ЕВМ, забезпечувати достатню точність розрахунків, крайню необхідну при високій токсичності домішок в викидах, враховувати місцеві метеорологічні умови.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теорія розсіяння шкідливих домішок, що містяться в факелах димових труб, радіоактивних викидів і т. п., в достатній ступені розроблена і доведена до створення нормативних документів [1]. Однією з моделей процесу розсіяння домішок в атмосфері є гауссова статистична модель, яка широко застосовується на практиці. Існують декілька методів розрахунку, оснований на цій моделі, що відрізняються способом задання вихідних даних [2, 3, 4].

При розгляді процесу розсіювання домішки виходять з того, що параметри процесу розсіювання є випадковими функціями, а закон розподілу частинки в факелі близький до нормального. Вважаючи розсіювання по осях  $y$  і  $z$  взаємно незалежними процесами, а дисперсії координат домішок  $\sigma_y^2$  і  $\sigma_z^2$  різними, математична модель процесу представляється в вигляді

$$q(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right], (1)$$

де  $q(x, y, z, h)$  - концентрація домішки в точці з координатами  $x, y, z$ , мг/м<sup>3</sup>;  $u$  - середня швидкість вітру, м/с;  $\sigma_y^2, \sigma_z^2$  - дисперсії випадкової величини координат по осях  $y, z$ , м<sup>2</sup>;  $M$  - масовий витіток

определенной примеси (химического вещества) на выходе из трубы установки, мг/с;  $h$  – эффективная высота подъема факела (м), равная  $h=h_{mp}+\Delta h$ ;  $h_{mp}$  – высота трубы, м.

Значения  $\sigma_y^2, \sigma_z^2$  связаны с расширением факела выбросов под влиянием турбулентности и поэтому являются функциями расстояния от источника ( $x$ ) в направлении ветра и параметров устойчивости атмосферы.

Наиболее полно, по мнению авторов, приведенным выше требованиям к методу расчета рассеяния примесей в атмосфере для низких высокотемпературных источников отвечает методический подход, предложенный Н.Л.Бызовой, Е.К.Гаргер и В.Н.Ивановым в [4]. В работе для определения дисперсий координат примесей использованы параметры и критерии подобия турбулентных процессов в атмосфере: динамическая скорость  $u_*$ , масштаб температуры  $T_*$ , масштаб длины  $L$  (масштаб Монина - Обухова), критерий устойчивости атмосферы  $\pi_1=\bar{z}/L$ , критерий подобия процессов переноса импульса и теплоты

$$\pi_2 = \frac{u_* t}{L} = \frac{u_* x}{uL} \quad (2)$$

(здесь  $t$  – время). Параметры подобия определялись на основе измерений пульсаций скорости и температуры в приземном слое атмосферы.

Экспериментальные исследования, проведенные авторами, позволили получить полуэмпирические зависимости для расчета дисперсии координат примесей в достаточно широком диапазоне состояний устойчивости атмосферы. На основе этих исследований А.В.Найденовым [5] получены интерполяционные зависимости для расчета  $\sigma_y$

$$\sigma_y^2 = \begin{cases} 1,56 \cdot (u_* t)^2 + 1,44 \cdot \left(\frac{u_* t}{|L|}\right)^3, & L < 0, \\ 1,56 \cdot (u_* t)^2 \cdot [1 + 0,24 \cdot \frac{u_* t}{L}]^{-1}, & L > 0. \end{cases} \quad (3)$$

Зависимости для расчета  $\sigma_z$  в экспериментах определялись для нескольких характерных диапазонов устойчивости атмосферы

от сильной неустойчивости до сильной устойчивости и представлены в табличном виде.

Несмотря на то, что предложенный в [4] подход к решению задачи позволяет обеспечить необходимую точность расчетов концентрации примесей при работе низких высокотемпературных источников, практическая реализация такого подхода затруднена. Трудности связаны с тем, что в настоящее время отсутствуют промышленные образцы аппаратуры с необходимыми характеристиками для измерения пульсационных характеристик воздушной среды. Кроме этого, имеющееся на сегодня описание изменения дисперсии координат  $\sigma_z$  в виде таблиц затрудняет аналитическую оценку влияния различных факторов на величину концентрации.

**Постановка задачи и ее решение.** Цель исследований – предложить усовершенствованный метод расчета рассеяния, позволяющий отказаться от измерения пульсаций скорости и температуры, а также получить интерполяционные зависимости для определения  $\sigma_z$ .

Для достижения поставленной цели при расчетах дисперсии координат  $\sigma_z$  нами предлагается использовать не пульсации параметров, а их осредненные значения. Подобный градиентный метод измерений параметров атмосферы, используется при исследовании физики атмосферы [6]. С учетом связи пульсационных характеристик в турбулентном слое атмосферы с осредненными параметрами воздушной среды при логарифмическом законе их изменения расчетные зависимости для определения параметров подобия можно представить в виде [7]

$$u_* = \frac{\chi}{\varphi_u} \frac{\Delta u}{\ln(z_2/z_1)}, \quad T_* = \frac{\chi}{\varphi_T} \frac{\Delta T}{\ln(z_2/z_1)}. \quad (4)$$

При этом параметр Монина - Обухова равен

$$L = -\frac{\varphi_T}{\varphi_u^2 g} \frac{\Delta u^2}{\Delta T} \bar{T} \frac{1}{\ln(z_2/z_1)}. \quad (5)$$

где  $\Delta T = T_2 - T_1$ ;  $\Delta u = u_2 - u_1$ ;  $\bar{T} = 0,5(T_2 + T_1)$ ;  $\varphi_u$ ,  $\varphi_m$  - универсальные функции, значения которых рассчитываются по известным зависимостям  $\varphi_u(\bar{z}/L)$  и  $\varphi_m(\bar{z}/L)$  вида



$$\begin{aligned} \varphi_u &= 1 + 6 \cdot \frac{\bar{z}}{L}; & \varphi_u &= (1 - 15 \cdot \frac{\bar{z}}{L})^{-1/4}; \\ & \text{при } \Delta T > 0; & & \text{при } \Delta T < 0. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \varphi_T &= 0,74 + 6 \cdot \frac{\bar{z}}{L}; & \varphi_T &= (1 - 9 \cdot \frac{\bar{z}}{L})^{-1/2} \end{aligned}$$

При  $\Delta T \approx 0$   $\varphi_u = \varphi_T = 1$ . Величина  $\chi = 0,4$  (постоянная Кармана).

В расчетах рассеяния обычно используют два уровня измерений  $z_2$  и  $z_1$ , равные  $z_2 = 2z$ ,  $z_1 = 0,5z$ . Значение  $z$  в большинстве случаев принимается равным 1 м.

Для расчета дисперсии координат в вертикальной плоскости нами получены интерполяционные зависимости вида

$$\begin{aligned} \sigma_z &= 1,1 \cdot (u_* \cdot t)^{3/2} \cdot |L|^{-1/2} \text{ при } \bar{z}/L < -3,3; \\ \sigma_z &= [0,36 + 0,6 \cdot (\bar{z}/L)^{3/4}] \cdot u_* \cdot t \text{ при } -3,3 \leq \bar{z}/L \leq 0,0; \\ \sigma_z &= [0,36 + 2,0 \cdot (\bar{z}/L)^{1/2}] \cdot (u_* \cdot t \cdot L)^{1/2} \text{ при } \bar{z}/L > 0,0. \end{aligned} \quad (7)$$

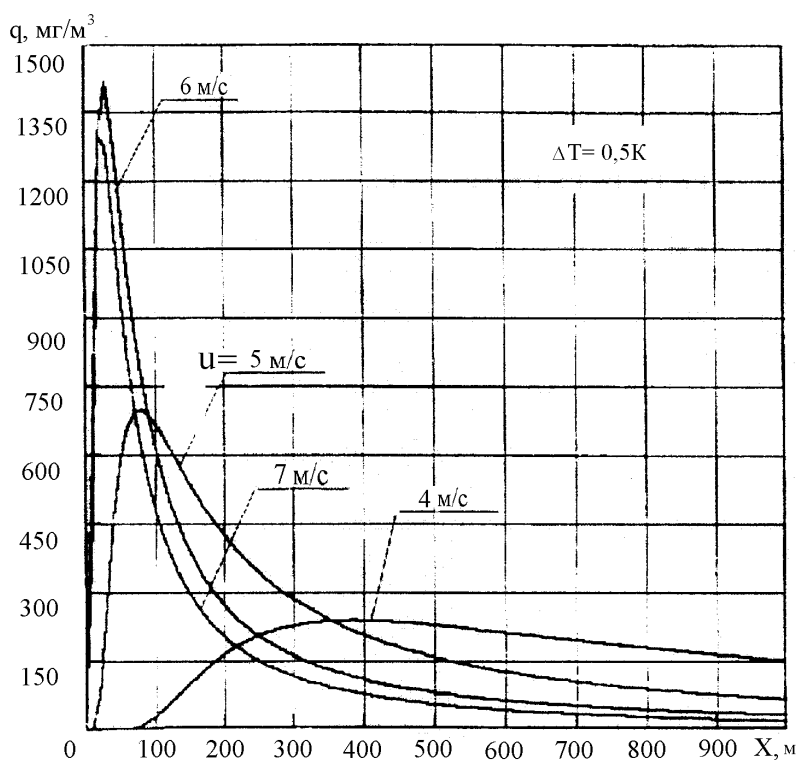
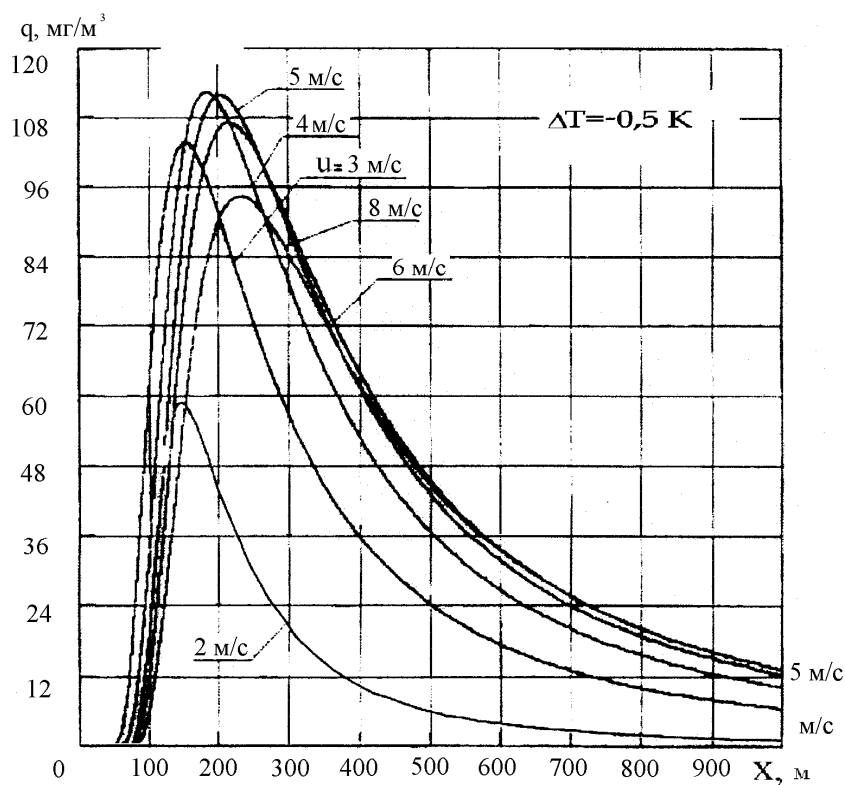
Зависимости получены путем обработки результатов экспериментальных исследований, приведенных в [4], они позволяют рассчитать значение  $\sigma_z$  при заданных метеоусловиях и состоянии устойчивости атмосферы.

Высота подъема факела над устьем трубы  $\Delta h$  определяется рядом факторов, основными из которых являются кинетическая энергия газового потока на выходе из трубы установки, архимедовы силы, обусловленные перегревом выходящих из трубы газов, сила трения при движении струи в невозмущенной среде, скорость ветра.

Для расчета подъема факела выбросов  $\Delta h$  воспользуемся формулой, приведенной в работе [8], которая нашла широкое применение в практических расчетах. Выражение для определения величины  $\Delta h$  имеет вид

$$\Delta h = \frac{1,5 \cdot W_0 \cdot R_0}{u} \left( 2,5 + \frac{3,3 \cdot g \cdot R_0 \cdot \delta T}{\bar{T} \cdot u^2} \right), \quad (8)$$

где  $R_0$  - радиус выходного сечения трубы;  $T_z$ ,  $W_0$  - температура и скорость газа на выходе из трубы;  $\delta T = T_z - \bar{T}$  - перегрев газа;  $g=9.81$ .



**Рис. 1 – Зависимость концентрации загрязняющих веществ от устойчивости атмосферы, скорости ветра и расстояния от источника**  
 Метод расчета концентрации вредных веществ в факеле выбросов при отработке установок по нейтрализации высокотоксичных химических веществ

Высота центра тяжести факела выбросов определяется по формулам, приведенным в [4]

$$\bar{z} - h = b_1 u \cdot t, \text{ где } b_1 = 0,4 - 0,66 \sqrt{\frac{\bar{z}}{L}} \text{ при } \frac{\bar{z}}{L} > 0,0;$$

$$\bar{z} - h = b_2 u^{3/2} t^{3/2} [L]^{-1/2}, \text{ где } b_2 = 0,4 + 0,051 \left( \frac{\bar{z}}{L} \right)^2 \text{ при } -3,3 \leq \frac{\bar{z}}{L} \leq 0. \quad (9)$$

Интерполяционные формулы для расчета коэффициентов  $b_1$ ,  $b_2$  получены аналогично (7).

Уравнения (1)–(9) представляют замкнутую систему, которая использовалась при разработке программы расчета на ЭВМ.

На рис.1 приведены графики зависимости концентрации примесей у поверхности земли от различных факторов: расстояния от источника  $x$ , скорости ветра  $u$ , состояния устойчивости, определяемого величиной и знаком  $\Delta T = T_2 - T_1$ .

Полученные результаты позволяют заключить следующее:

- концентрация примесей имеет максимум на некотором расстоянии от источника выбросов;
- концентрация примесей зависит от скорости ветра: существует опасная скорость ветра, при которой концентрация токсичных веществ максимальна;
- максимальная концентрация примесей при устойчивом состоянии атмосферы ( $\Delta T > 0$ ) почти на порядок превышает концентрацию при нейтральной стратификации ( $\Delta T = 0$ ), при этом максимум концентрации наблюдается вблизи источника примесей.

**Выводы.** Предложен усовершенствованный метод расчета рассеяния примесей в атмосфере, отличающийся тем, что при определении концентрации примесей в факеле дисперсии координат примеси рассчитывают по результатам достаточно простых измерений осредненных значений скорости и температуры воздуха по предложенным интерполяционным формулам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий. ОНД-86. – М.: Госкомгидромет, 1987. – 94 с.

2. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник. Ч.2 / Под ред. С. Кальверта и Г.М. Ингульда (русск. пер.). – М.: Металлургия, 1988. – 476 с.
3. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
4. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примесей. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 280 с.
5. Найденов А.В. Высота теплового подъема дымовой струи от наземного источника // Труды ИЭМ.- 1987.- Вып.10(131).- С. 90-98.
6. Орленко Л.Р. Строение планетарного пограничного слоя атмосферы. – Л.: Госкомгидромет, 1979. – 272 с.
7. Прохач Э.Е., Михальская Л.Л., Попов Н.П. Расчет рассеяния примесей в атмосфере на основе измерений локальных метеорологических параметров // Информатика. Вып. 7. – Харьков: НАН Украины, Институт проблем моделирования в энергетике, 1999. – С. 126-130.
8. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха / Под ред. М.Е. Берлянда. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 163 с.

## УДК 614.8

*Садковой В.П., канд. психол. наук, ректор, УГЗУ*

### **ВЫБОР МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

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

Решена задача идентификации математической модели объекта управления в системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера

**Постановка проблемы.** Среди чрезвычайных ситуаций техногенного характера большое место занимают пожары [1]. В этой связи можно выделить две проблемы: снижение риска возникновения такой чрезвычайной ситуации до минимально воз-

возможного уровня и минимизация ущерба при возникновении такой чрезвычайной ситуации. Решение второй проблемы связано с использованием систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций [2], к числу которых относятся и системы автоматического пожаротушения (САП).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Общий подход к синтезу САП рассмотрен в [3, 4]. Однако к числу основных новаций в этой отрасли следует отнести лишь использование более современного инструментария при создании таких систем.

Новые возможности на пути повышения эффективности САП открываются при реализации принципиально других принципов их построения [5]. Вполне естественно, что в этой связи резко возрастают акценты по отношению к математическому обеспечению процедуры синтеза систем такого типа [6]. В [7] решена задача идентификации математической модели всей САП как системы ослабления последствий аварий на АЭС, обусловленных пожаром. Важное место в этой модели занимает модель объекта управления, причем особо следует отметить, что эта модель является многопараметрической, а процедура ее построения сопряжена с весьма серьезными трудностями [8].

В [8] на одном из примеров показано, что модель такого типа включает комбинацию весьма специфических функций, которые серьезно затрудняют ее использование на практике.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является получение математической модели объекта управления системы ослабления последствий пожара применительно к случаю, когда имеет место горение жидкости в помещении при условии, что ее тушение осуществляется мелкораспыленной водой. В качестве ограничений используется: модель должна быть адаптирована для алгоритмов синтеза САП в терминах систем автоматического управления, процесс тушения является простейшим, т.е. он реализуется только за счет испарения капель воды на поверхности жидкости, а их проникновение в горящую жидкость отсутствует.

В этом случае процессы в объекте управления будут описываться уравнением вида

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

а начальные и граничные условия представим следующим образом

$$\theta(z,0) = 0; \left. \frac{\partial \theta}{\partial z} \right|_{z=0} = -\frac{IraK}{\lambda V(T_L - T_0)}; \theta|_{z=\infty} = 0, \quad (2)$$

где  $I$  – интенсивность орошения водой,  $r$  – теплота испарения воды,  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $V$  – линейная скорость распространения пламени,  $T_L$ ,  $T_0$  – температура кипения жидкости и окружающей среды,  $K$  – коэффициент использования воды.

Безразмерные параметры  $\tau$ ,  $z$  и  $\theta$  связаны с размерными параметрами  $t$ ,  $x$  и  $T$  следующими соотношениями

$$\tau = V^2 a^{-1} t, \quad z = Va^{-1} x, \quad \theta = (T_L - T)(T_L - T_0)^{-1}. \quad (3)$$

Используя подстановку

$$\theta(z, \tau) = W(z, \tau) \exp(-0,5z - 0,25\tau), \quad (4)$$

уравнение (1) и условия (2) можно переписать в виде

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 W}{\partial z^2}; \quad (5)$$

$$W(z,0) = 0; \left. \frac{\partial W}{\partial z} \right|_{z=0} = 0,5W(0, \tau) - \frac{IraK}{\lambda V(T_L - T_0)} \exp(0,25\tau); W|_{z=\infty} = 0. \quad (6)$$

После решения уравнения (5) с условиями (6) и последующего учета (4) решение уравнения (1) будет иметь вид

$$\begin{aligned} \theta(z, \tau) = & \frac{IraK}{\lambda V(T_L - T_0)} \exp(-0,5z) \int_0^\tau \left[ (\pi\xi)^{-0,5} \exp\left(-\frac{z^2}{4\xi}\right) - \right. \\ & \left. - 0,5 \exp(0,5z + 0,25\xi) \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{\xi}} + \frac{\sqrt{\xi}}{2}\right) \right] \exp(-0,25\xi) d\xi. \end{aligned} \quad (7)$$

Это выражение представляет собой математическую модель объекта управления САП, определяющую зависимость температуры горячей жидкости во времени и по ее глубине в условиях ее

тушения мелкораспыленной водой постоянной интенсивности для случая, когда коэффициент ее использования является постоянной величиной.

Для поверхности жидкости  $z = 0$ . Тогда модель (7) трансформируется следующим образом

$$\theta(\tau) = \frac{IraK}{\lambda V(T_L - T_0)} \left[ 1 + \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \exp(-0,25\tau) - (1 + 0,5\tau) \operatorname{erfc}(0,5\sqrt{\tau}) \right]. \quad (8)$$

Использование модели объекта управления в таком виде для синтеза САП не позволяет распространить на них такие апробированные методы как методы нелинейного программирования, моментов, порождающих функций и др. Это обстоятельство обусловлено тем, что все эти методы предполагают представление изображения по Лапласу функции  $\theta(z, \tau)$  в виде дробно-рациональной функции. Из (8) следует, что это не является возможным.

В этой связи возникает необходимость в решении задачи идентификации математической модели объекта управления САП в классе функций, обеспечивающих их представление по Лапласу в виде дробно-рациональных функций.

В качестве такой функции выберем функцию вида

$$\theta_0(\tau) = \frac{IraK}{kV(T_L - T_0)} [1 - \exp(-b\tau)], \quad (9)$$

где параметр  $b$  подлежит идентификации.

В качестве целевой функции наиболее часто используется [9]

$$J = \int_0^{\infty} [\theta_0(\tau) - \theta(\tau)]^2 d\tau, \quad (10)$$

минимальное или допустимое значения которой определяют величину искомого параметра  $b$ .

Однако и на этом этапе использование модели (8) приводит к трудностям вычислительного характера. Для разрешения этих трудностей в модели (8) составляющие  $\exp(-0,25\tau)$  и  $\operatorname{erfc}(0,5\sqrt{\tau})$  заменялись усеченными степенными рядами, включающими по

пять членов этих рядов, а верхний предел интегрирования в (10) заменялся на конечное значение, равное 3,3. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что при  $\tau = 3,3$  функция  $\theta(\tau)$  отличается от своего установившегося значения не более, чем на 7,0%. Такой подход приводит к тому, что целевая функция достигает своего минимального значения при  $b = 1,3875$ .

Следует заметить, что использование усеченных степенных рядов для аппроксимации функции (8) с числом членов рядов, равных пяти, обуславливает появление методической погрешности, которая не превышает 0,5%, вследствие чего для задач рассматриваемого типа эту составляющую погрешности можно не учитывать.

На рис. 1 приведены графики зависимостей (8) и (9) (в зависимости (9)  $b = 1,3875$ ) с точностью до масштабного множителя  $IraK(\lambda V(T_L - T_0))^{-1}$ .

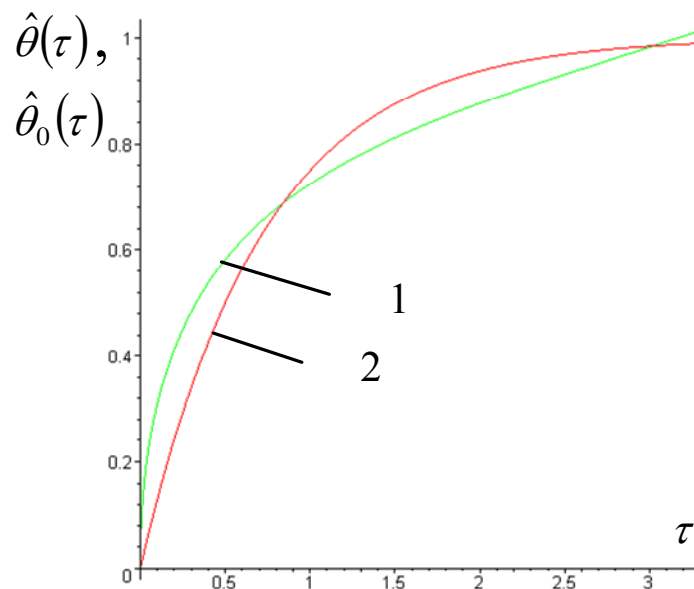


Рис. 1 – Графики относительных зависимостей (8) и (9): 1 – отн. зависимость (8); 2 – отн. зависимость (9)

Анализ этих зависимостей свидетельствует о достаточно хорошей адекватности модели (9). Максимальное значение погрешности несовпадения между моделями (8) и (9) не превышает 18,0%.

**Выводы.** Применительно к системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций на примере САП решена задача иденти-



фикации математической модели ее объекта управления. Задача решена в классе моделей, обеспечивающих их представление по Лапласу в виде дробно-рациональных функций, что открывает возможность для синтеза САП с использованием методов теории автоматического управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Тютюник В.В. и др. Основы мониторинга и управления в условиях чрезвычайных ситуаций. – Харьков: АГЗУ, 2005. – 257 с.
2. INSAG-12. Basis safety principles for nuclear power plans // 75-INSAG-3 Rev. 1. IAEA. – Viena, 1999.
3. Котов А.Г. Пожаротушение и системы безопасности. – 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., Абрамов Ю.А. Концептуальные основы построения систем автоматического пожаротушения // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновация. – Матер. межд. НПК. – Гомель: МЧС РБ, 2006. – с. 185-186.
6. Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Алгоритм синтеза систем автоматического пожаротушения // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2006. – Вип. 36. – С. 199-202.
7. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Идентификация математической модели автоматической системы ослабления последствий аварий на АЭС // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5. – С. 182-189.
8. Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Математические модели объекта управления системы водяного автоматического пожаротушения // Коммунальное хозяйство городов. – Київ: Техніка, 2007. – Вип. 74. – С. 413-419.
9. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики. – Харьков: ХИПБ, 1993. – 288 с.

*Созник А.П., д-р физ.-мат. наук, проф., УГЗУ*  
*Горносталь С.А., преп., УГЗУ*

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ АЭРОБНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ**

Рассмотрены основные математические модели, описывающие процессы, происходящие в аэробных сооружениях биологической очистки

**Постановка проблемы.** Бытовые и производственные сточные воды содержат значительные количества органических веществ, способных быстро гнить и служить питательной средой для различных, в том числе и патогенных, микроорганизмов; некоторые производственные сточные воды могут содержать также токсические примеси. Попадание сточных вод в водоемы без очистки или с недостаточной степенью очистки представляет серьезную угрозу для населения, то есть приводит к возникновению чрезвычайной ситуации. Такие чрезвычайные ситуации характеризуются наличием или угрозой гибели людей и животных, или значительным ухудшением условий их жизнедеятельности.

Проблема возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с нарушением технологических процессов сбора, передачи и очистки сточных вод в настоящее время уделяется повышенное внимание [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для расчета параметров очистных сооружений, и, прежде всего их оптимального объема, используется математическое моделирование [2].

Метод биологической очистки сточных вод основан на способности микроорганизмов в качестве источника питания использовать органические вещества, растворенные в сточных водах. Таким образом, происходит переход загрязнений в биомассу микроорганизмов - активный ил, который затем удаляется из очищенной воды в процессе отстаивания. Метаболизм загрязнений в клетках микроорганизмов населяющих активный ил обеспечивает их энергетические потребности, прирост биомассы и синтез клеточного вещества. Процессы биологической очистки осуществляются в системе аэротенк - вторичный отстойник. Высокая концен-

трация активного ила в аэротенке создается за счет его рециркуляции. Для того чтобы скорость процессов в аэротенке не лимитировалась концентрацией растворенного кислорода, производится постоянная аэрация всего объема сточных вод.

В процессе очистки микроорганизмы активного ила могут пребывать либо в дисперсном состоянии, либо образовывать колонии (хлопья). Активность дисперсных частиц выше, чем у хлопьев, однако, они практически не оседают на дно вторичного отстойника. Если процесс очистки вести только дисперсными бактериями, то весь прирост биомассы будет уходить вместе с очищенной водой через верх отстойника.

Процесс, ведущий к ухудшению седиментации активного ила, называется процессом вспухания. «Вспухший» ил, содержащий в основном дисперсные частицы, плохо оседает во вторичных отстойниках и выносится вместе с очищенной водой из сооружения, вследствие чего снижается общий эффект очистки и уменьшается концентрация ила в аэротенке. В то же время «вспухший» ил, обладая очень развитой поверхностью, эффективно очищает воду, но работа системы аэротенк – вторичный отстойник с ним крайне неустойчива.

Причины «вспухания» ила обусловлены многими факторами: изменением рН среды; недостаточным количеством биогенных элементов, то есть питательной среды; высокой концентрацией кислорода в отсутствие достаточного перемешивания; концентрацией загрязняющих веществ в очищаемом стоке; длительностью аэрации; различными видами взаимоотношений между микроорганизмами (симбиоз, конкуренция за пищу, хищничество).

**Постановка задачи и её решение.** Чтобы рассчитать полную систему аэротенк – вторичный отстойник, необходимо выбрать уравнения, описывающие кинетику процессов жизнедеятельности микроорганизмов и потребления субстрата. Итальянским математиком В.Вольтерра была предложена и детально разработана математическая теория борьбы за существование, которая учитывает различные виды взаимоотношений между видами [3]. Эта теория в определенной мере послужила основой для создания первых моделей процессов биологической очистки.

Простейшая система уравнений, описывающая рост биомассы ила на ограниченном количестве субстрата, - модель Моно

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\mu \cdot XL}{K_L + L}, \quad (1)$$

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{\mu \cdot XL}{Y(K_L + L)}, \quad (2)$$

где  $X$  - концентрация активного ила;  $L$  - концентрация загрязнений (субстрата);  $\mu$  - максимальная удельная скорость роста биомассы активного ила в результате потребления субстрата;  $K_L$  - константа полунасыщения, равная концентрации субстрата, при которой скорость процесса равна  $\mu/2$ ;  $Y = \left| \frac{dX}{dL} \right|$  - коэффициент трансформации субстрата в биомассу.

Эта модель была предложена для описания развития монокультуры и не отражает сложного видового состава биомассы активного ила, однако решение системы уравнений (1)-(2) достаточно хорошо на качественном уровне совпадает с экспериментальной кривой роста биомассы активного ила.

Развитием модели Моно явились модель Н.Д. Иерусалимского [4], в которой учтено влияние продуктов обмена на рост микроорганизмов, и модель Герберта [5], в которой рассматривается процесс отмирания микроорганизмов.

В модели Кенейла [5] сделана попытка уточнить видовую структуру активного ила. Модель учитывает два трофических уровня и субстрат, пищевая цепь выглядит следующим образом



где  $L$  - субстрат,  $X$  - бактерии,  $P$  - простейшие.

Система дифференциальных уравнений, описывающая эту схему, имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dt} &= -\frac{\mu \cdot XL}{Y(K_L + L)}, \\ \frac{dX}{dt} &= \frac{\mu \cdot XL}{K_L + L} - \frac{f \cdot XP}{g(K_X + X)}, \\ \frac{dP}{dt} &= \frac{f \cdot XP}{K_X + X}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $f$  - максимальная удельная скорость роста простейших;  $g$  - коэффициент трансформации бактерий в простейшие;  $K_X$  - константа полунасыщения бактерий;  $P$  - концентрация простейших.

Модель Кенейла лучше соответствует физической сущности процесса очистки и лучше, чем модели Герберта и Иерусалимского, описывает экспериментальную кривую роста биомассы активного ила.

Модификация модели Кенейла, предложенная в [6], учитывает наличие в культуре двух видов микроорганизмов, из которых один вид – простейшие – является хищником для другого – бактерий

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= \frac{\mu_m SX}{K_S + S} - \frac{N}{W} \frac{X(Z - K_a X)}{L + K_a X}, \\ \frac{dZ}{dt} &= \frac{K_a \mu_m SX}{K_S + S} + \left( N - \frac{N}{W} \right) \frac{K_a X(Z - K_a X)}{L + K_a X}, \\ \frac{dS}{dt} &= -y \frac{K_a \mu_m SX}{K_S + S},\end{aligned}\quad (4)$$

где  $Z$  - концентрация ила по сухому веществу;  $N$  - максимальная удельная скорость роста простейших;  $K_a$  - коэффициент пропорциональности между дегидрогеназной активностью и весом сухих бактерий;  $W$  - отношение количества образовавшихся простейших к количеству поглощенных ими бактерий;  $L$  - коэффициент, численно равный концентрации бактерий, при которой скорость роста простейших равна  $N/2$ .

Отметим, что модели (3) и (4) были предложены для описания процессов очистки в аэротенках периодического действия.

В работе [7] была предложена обобщенная модель аэробной биологической очистки, в основе которой лежало утверждение о том, что состав микроорганизмов в сооружениях, осуществляющих процесс очистки, зависит от спектра «обрабатываемых» загрязнений. Этот спектр определяется не только типом сточных вод, но и зависит от режима функционирования сооружения.

Общий вид модели запишется в виде

$$\begin{aligned}dX_i^{(n)} / dt &= (\mu_i - b_i) X_i^{(n)}, \\dL_i / dt &= -k_i X_i^{(n)}, \\d\tilde{X}_i / dt &= \alpha_i b_i X_i^{(n)},\end{aligned}\tag{5}$$

где  $\tilde{X}_i^{(n)}$  - концентрация инертной биомассы, образующейся при отмирании  $i$ -го вида,  $b_i$  - константа скорости отмирания и самоокисления,  $\alpha_i$  - коэффициент трансформации активной биомассы в инертную,  $k_i = \mu_i / Y_i$  ( $Y_i$  - коэффициент трансформации).

Эта модель адаптации активного ила к многокомпонентному загрязнителю показывает зависимость видового состава микрофлоры активного ила от величины нагрузки на ил, а также преимущества многоступенчатой очистки, при которой на каждой ступени формируется свой видовой состав микроорганизмов. С её помощью можно изучать распределение видов микроорганизмов в активном иле при различных технологических режимах.

Рассмотренные модели дают только приближенное описание реальных процессов биохимического окисления многокомпонентных сточных вод. При этом константы моделей не являются строго постоянными и существенным образом зависят от режима проведения и начальных условий процесса очистки. Основная проблема в использовании указанных моделей заключается в следующем. Во-первых, каждая из них является более-менее удовлетворительной только при определенных строго ограниченных условиях очистки. Во-вторых, большинство из них применимы для многоступенчатых процессов очистки в сооружениях типа аэротенк – аэротенк - вторичный отстойник. Такие модели не в достаточной степени отражают процессы очистки сточных вод, которые на большинстве очистных сооружений Украины осуществляются по схеме аэротенк – вторичный отстойник в режиме непрерывного действия.

**Выводы.** Существующие в Украине сооружения биологической очистки запроектованы в основном без учета особенностей взаимодействия активный ил – субстрат, а при расчетах основных параметров строящихся сооружений руководствуются эмпирическими соображениями и опытом действующих.

Поэтому на большинстве таких сооружений, и в частности, в Харькове и Харьковской области, ежегодно (чаще в летний период) возникают чрезвычайные ситуации, связанные со сбросом в ес-

тественные водоемы либо недостаточно очищенной воды, либо практически не очищенной.

Для решения сложных задач управления процессами, происходящими в очистных сооружениях и борьбы с такими явлениями как вспухание и вынос ила, необходимо провести детальные расчеты существующих систем аэротенк – вторичный отстойник. Модель, описывающая процесс биологической очистки в такой системе должна учитывать следующие основные факторы:

1. многокомпонентность состава сточных вод и многовидовой состав активного ила;
2. взаимодействие между основными видами микроорганизмов (симбиоз, конкуренцию и взаимное хищничество);
3. возможность параллельного и последовательного изъятия активным илом компонентов, находящихся в сточной жидкости;
4. зависимость свойств активного ила от условий проведения процесса очистки (скорости подачи сточных вод и кислорода в аэротенк);
5. механизмы образования и распада хлопьев активного ила;

Влиять на реальный процесс очистки возможно путем изменения времени и интенсивности аэрирования, нагрузки на сооружения и времени нахождения смеси сточной жидкости с активным илом в системе аэротенк – вторичный отстойник. Поэтому математическая модель, описывающая систему аэротенк – вторичный отстойник должна быть в состоянии описывать указанные величины, а применение результатов расчетов по такой модели позволит провести практические мероприятия по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций.

Нами предполагается при проведении расчетов усовершенствовать рассмотренные выше модели с учетом указанных в пунктах 1÷5 факторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Таварткіладзе І. М., Федорець М. В., Чібіряков В. К. Розрахунок балансового рівняння для визначення віку біоценозу. Зб. наук. пр. “Науково-практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій”. – Київ. - №5, 2002. – С.115 – 118.
2. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. М.: Наука, 1983. – 158 с.

3. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1976. - 288 с.
4. Иерусалимский Н.Д. Основы физиологии микробов. М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 244 с.
5. Вавилин В.А. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. М.: Наука, 1976. – 119 с.
6. Гюнтер Л.И., Запрудский Б.С. К выбору математической модели процесса биохимической очистки сточных вод. – Микробиологическая промышленность, 1971, №5 – С.14 - 18.
7. Вавилин В.А. Обобщенная модель и механизм аэробной биологической очистки – ДАН СССР, 1981, т.258, №5, С.1269 – 1273.

## УДК 331.101

*Стрелец В.М., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Ковалев П.А., канд. техн. наук, зам. нач. каф., УГЗУ,  
Нередков Р.А., зам. нач. уч. центра ГУМНСУ в Луганской обл.*

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

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

Впервые показано, что распределения времен проведения работ с использованием специализированной аварийно-спасательной техники характеризуются нормальным законом, если при рассмотрении технологических процессов исключить результаты, существенно отличающиеся от остальных в выборке. При этом отмечена целесообразность их учета, когда необходимо получить прогнозные оценки

**Постановка проблемы.** Проведение аварийно-спасательных работ требует использования личным составом пожарно-спасательных и специальных подразделений достаточно специфического оборудования, которое существенно отличается от стандартного набора пожарно-технического вооружения. Вследствие этого закономерности выполнения работ с его помощью имеют ряд особенностей, которые надо учитывать как при планировании



и оценке всего комплекса аварийно-спасательных работ, так и в процессе подготовки спасателей, например, для обоснования соответствующих нормативов оценки качества выполнения отдельных операций и процессов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** К настоящему времени разработан научно-методический аппарат имитационного моделирования экстремальной деятельности [1,2] и обоснования нормативов [3,4] для оценки уровня подготовленности спасателей при выполнении, как операций, так и процессов, которые составляют общий комплекс аварийно-спасательных работ. Он опирается на оценки распределения времен выполнения операций и процессов.

В частности, в [1,2] показано, что распределения времен выполнения, как операций, так и процессов оперативно-диспетчерским персоналом имеют нормальное распределение. Работа пожарных рассматривалась в [3,4], где отмечено, что для описания распределения времени выполнения отдельных операций, а также простых процессов (которые содержат совокупность, не превышающую пяти отдельных операций) целесообразно использовать  $\beta$ -распределение, а для всех более сложных процессов – нормальное. В [5], где рассматриваются особенности проведения аварийно-спасательных работ в метрополитене, показано, что без потери точности вместо  $\beta$ -распределения времени выполнения отдельных операций можно использовать смещенное распределение Эрланга.

Однако при этом особенности работы с аварийно-спасательным оборудованием, связанные со спецификой деятельности задействованного персонала (выполнение тяжелых и эмоционально напряженных физических работ; для достижения одной и той же цели могут использоваться разнообразные комбинации, включающие большое количество простых операций; недостаточная тренированность личного состава...), не рассматривались.

**Постановка задачи и ее решение.** Исходя из этого, основной задачей статьи является сравнительная оценка того, как отличаются распределения времен выполнения типовых операций и процессов, используемых при проведении аварийно-спасательных работ, от тех, которые имеют место в случае использования пожарно-технического вооружения.

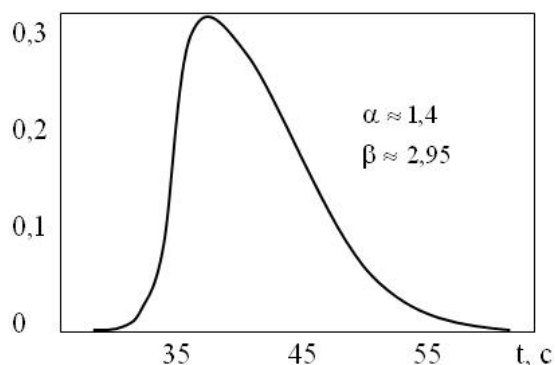
Результаты экспериментальных исследований, в которых принимали участие сорок восемь испытуемых из числа курсантов учебного центра ГУ МЧС Украины в Луганской области, показали, что имеют место существенные отличия.

Так, анализ распределения времени выполнения типовых операций с пожарной техникой подтвердил [3], что даже после непродолжительной подготовки личного состава распределение времени выполнения типовых операций, связанных с использованием пожарной техники, достаточно хорошо описывается  $\beta$ -распределением с положительной скошенностью. В частности, распределение времени выполнения боевой проверки (см.рис.1) имеет вид

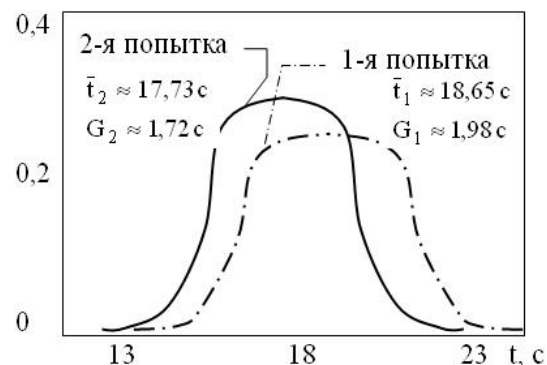
$$\beta(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \int_0^x x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dy =$$

$$= \frac{1}{B(1.4; 2.95)} \int_0^x x^{0.4} \cdot (1-x)^{1.95} dy \quad (1)$$

Параметры распределения (1)  $\alpha=1,4$  и  $\beta=2,95$  в рамках статистической погрешности с уровнем значимости 0,05 можно считать равными тем, которые приведены в [4] .



**Рис. 1 – Распределение времени выполнения боевой проверки АСВ**

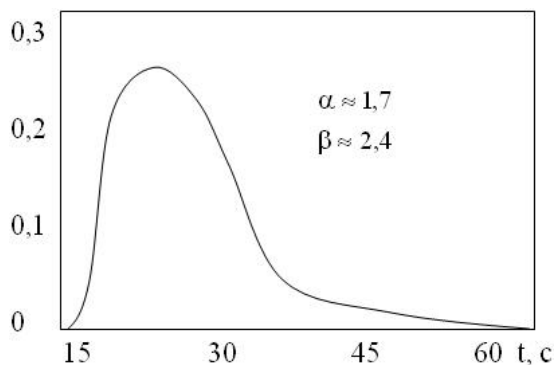


**Рис. 2 – Распределение времени перерезания арматуры гидрорезницами**

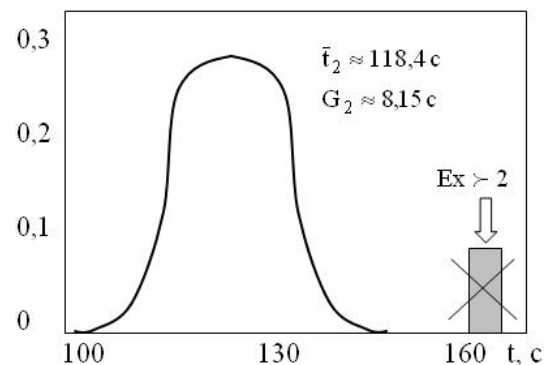
В то же время для описания распределения времени выполнения простых операций, связанных с использованием специальной аварийно-спасательной техники целесообразно использовать нормальный закон. Так, на рис.2 приведены распределения вре-

мени перерезания арматуры гидроножницами (первая попытка – сплошная линия; вторая попытка – штрих-пунктирная линия). Видно, что распределения являются симметричными, а время выполнения операции может принять любое значение (является непрерывной случайной величиной), т.е. соответствуют требованиям [6], которые предъявляются к тем случаям, когда для их описания целесообразно использовать нормальный закон (для первой и второй попыток на рис.2-6 приведены параметры нормального распределения:  $\bar{t}$  - математическое ожидание времени выполнения, с;  $G$  - среднеквадратическое отклонение, с).

Аналогичная ситуация имеет место (см. рис.3, 4) и в случае выполнения простых процессов. Однако при этом в ходе выполнения характерных для проведения аварийно-спасательных работ процессов, в отличие от работ с пожарно-техническим вооружением, имеют место результаты, которые существенно, в худшую сторону, отличаются от общего массива. Свидетельством их разнородности может служить [6] то, что эксцесс общего распределения  $Ex \approx 2,3$  больше показателя «два». Тем не менее, если исключить «выбросы», оставшиеся результаты хорошо описываются нормальным законом распределения (параметры последнего для случая подъема трехтонной бетонной плиты с помощью пневмоподъемника приведены на рис.4).



**Рис. 3 – Распределение времени боевого развертывания автотасоса**

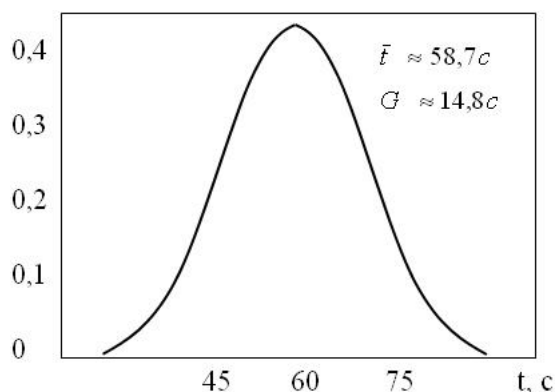


**Рис. 4 – Распределение времени подъема плиты пневмоподъемником**

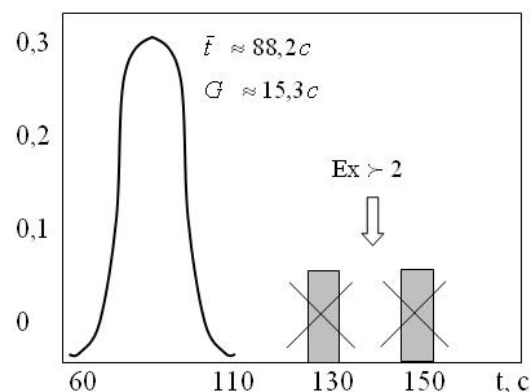
При этом полученные параметры нормального распределения целесообразно использовать, учитывая многократную повторяемость рассматриваемых процессов в процессе обучения и тренировок, для обоснования нормативов [7], которые будут положены в основу оценки уровня подготовленности спасателей. В то же

время, в случае планирования работ руководством штаба по ликвидации чрезвычайной ситуации или использования экспериментальных результатов в ходе имитационного моделирования нельзя исключать результаты, существенно отличающиеся от остальных, поскольку они носят не случайный характер и могут быть объяснены человеческим фактором: ошибками персонала или неправильным восприятием поставленной задачи.

В случае выполнения типовых процессов (для пожарно-технического вооружения это [3], как правило, процессы, содержащие более 5 операций) и в одном (см. рис.5), и в другом (см. рис.6) случае целесообразно использовать нормальный закон распределения.



**Рис. 5 – Распределение времени боевого развертывания двух стволов ГПС-600 от АЦ**



**Рис. 6 – Распределение времени подготовки маслостанции HOLMATRO к работе с пневморазжимом**

В то же время, среди результатов, связанных с использованием аварийно-спасательной техники, может быть несколько «выбросов», существенно отличающихся между собой, которые в случае использования экспериментальных данных для обоснования рекомендаций по подготовке персонала, надо предварительно исключить. Однако, как и в предыдущем случае, они должны учитываться в случае выработки прогнозных управленческих решений.

### **Выводы.**

– Несмотря на то, что распределения времен выполнения спасателями типовых операций, связанных с использованием пожарной техники, достаточно хорошо описывается  $\beta$ -распределением, для описания распределения времени выполне-

ния простых операций и процессов, связанных с использованием специальной аварийно-спасательной техники, целесообразно использовать нормальный закон;

– среди результатов, связанных с использованием аварийно-спасательной техники могут быть такие, которые существенно отличаются от остальных. Они должны учитываться в процессе планирования работ и прогнозирования результатов их выполнения;

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

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелец В.М. Имитационный анализ системы «человек-машина» как метод эргономической оценки функционирования аварийных служб./ Радиоэлектроника и информатика: Научно-технічний журнал. – 2001. – № 3(16) – Харьков, ХНУРЭ, 2001. – С.125-128
2. Фокин Ю.Г. Оператор – технические средства: обеспечение надежности. – М.: Воениздат, 1985. – 292 с.
3. Стрелец В.М., Грицай Т.Б. Статистический метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения./ Право і безпека: Науковий журнал. – 2002. – Вип.1 – С. 165-171
4. Чуковский В.Н. Разработка методов обоснования штатной численности боевых расчетов пожарных автомобилей: Диссертация, канд. техн. наук/ ХИПБ; Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ю.А. Абрамом. – Харьков, 1998. – 155 с.
5. Иванов В.Г., Стрелец В.М., Бородич П.Ю. Особенности представления исходных данных для моделирования пожаротушения на станциях метрополитена с помощью аппарата Е-сетей./ Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Харьков, АПБУ, 2003. – Вып. 14. – С. 177-182
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1962. – 564 с.
7. Ковалев П.А., Нередков Р.А., Стрелец В.М. Особенности обоснования комплексных нормативов для практических занятий./ Проблеми надзвичайних ситуацій. – № 5 – Харків, Фоліо, 2006 – С. 129-133

*Третьяков О.В., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ*

## **ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

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

Розроблена модель карбонатно-кальцієвого накипи утворення, яка дає не тільки надійний прогноз розвитку процесу, а і можливість управління їм за рахунок дії на параметри водно-хімічного режиму, чим забезпечує підвищення безпеки експлуатації теплообмінного обладнання

**Постановка проблеми.** Безпечність, надійність і економічність експлуатації сучасних теплових і атомних енергетичних установок визначається утворенням відкладень важкорозчинних сполук на теплопередаючих поверхнях відповідного обладнання. Утворення відкладень на тепло передаючих поверхнях парогенеруючих агрегатів та іншого теплообмінного обладнання як результат процесу гомогенної кристалізації призводить до місцевого перегріву металу, в силу високого термічного опору останніх, і як наслідок до руйнування металу, що обумовлює аварії на цьому обладнанні. Крім того, утворення відкладень карбонату кальцію на тепло передаючих поверхнях пікових бойлерів, конденсаторів турбін та іншого теплообмінного обладнання ТЕС і АЕС у великій мірі визначає економічні показники експлуатації цих станцій [1]. Для вірної організації водно-хімічних режимів різних систем теплових і атомних станцій, які б забезпечували безаварійну роботу теплообмінного обладнання, необхідна як достовірна оцінка накипи утворюючих властивостей теплоносіїв, так і надійний прогноз швидкості накипи утворення, та можливість управління цими процесами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для оцінки накипи утворюючих властивостей розроблені і знаходять практичне застосування різні критерії: карбонатна жорсткість  $J_k$ , недостатня вуглекислота  $\Delta CO_2$ ,  $pH$  насичення  $pH_s$  [2], індекс насичення Ланжелє  $I_s$  [3], індекс стабільності Різнара  $I_{st}$  [4] та інші. Таке різноманіття критеріїв свідчить про те, що застосування їх на практиці не завжди забезпечує надійну оцінку накипи утворюючих властивостей води і можливість кількісного прогнозування

накипи утворення. У 1979 році для оцінки накипи утворюючих властивостей води було запропоновано показник, який отримав назву – кристалізаційний напір [5], що витікає з термодинамічного рівняння Освальда – Фройндліха [6], яке відображає зв'язок між рівноважним розміром частки твердої фази, що утворюється у розчині, і складом рідкої фази, та визначається як

$$\eta = \frac{[Ca^{2+}]f_{Ca^{2+}}[CO_3^{2-}]f_{CO_3^{2-}}}{PP_{CaCO_3}}, \quad (1)$$

де  $[Ca^{2+}]$ ,  $[CO_3^{2-}]$  – концентрації відповідних іонів;  $f_{Ca^{2+}}$ ,  $f_{CO_3^{2-}}$  – коефіцієнти активності відповідних іонів;  $PP_{CaCO_3}$  – добуток розчинності карбонату кальцію.

При рівновазі кристалізаційний напір дорівнює одиниці. Ненасичений по карбонату кальцію розчин, в якому утворення твердої фази не можливо, характеризується значеннями  $\eta < 1$ . При  $\eta > 1$  розчин пересичений по карбонату кальцію – можливе утворення твердої фази. Враховуючи термодинамічний характер цього показника ряд дослідників вважають, що він може бути застосований тільки для якісної оцінки накипи утворюючих властивостей води [2]. Але, як показали проведені нами дослідження, швидкість утворення накипи карбонату кальцію прямо пропорційна пересиченню розчину по карбонату кальцію [7]

$$W = \beta C_0 \ln \eta, \quad (2)$$

де  $W$  – швидкість утворення накипи карбонату кальцію;  $\beta$  – коефіцієнт масовіддачі;  $C_0$  – концентрація іонів кальцію у розчині.

Тобто, кристалізаційний напір може бути застосований для достовірного прогнозування швидкості накипи утворення карбонату кальцію, якщо визначено коефіцієнт масовіддачі для конкретних умов експлуатації теплообмінного обладнання та складу теплоносія, і мається надійне визначення самого значення кристалізаційного напору в експлуатаційних умовах. Складність визначення фактичного значення кристалізаційного напору заключається в тому, що  $Ca(II)-CO_2-H_2O$  поряд з іонами  $Ca^{2+}$ ,  $CO_3^{2-}$  в умовах експлуатації теплообмінного обладнання утворюються заряджені і нейтральні іонні асоціати, що знижують ступінь пересичення розчину по карбонату кальцію –  $CaOH^+$ ,  $CaHCO_3^+$ ,  $CaCO_3^0$ ,

вміст яких залежить від складу і параметрів теплоносія. До нормуємих та оперативно контролюємих показників водно-хімічного режиму енергетичних установок відносяться: жорсткість (*Ж*), лужність (*Щ*) та *pH* теплоносія. Кожен з них окремо і всі вони разом не дозволяють оперативно визначати кристалізаційний напір в поточних експлуатаційних умовах. Все це обумовлює відсутність надійного оперативного контролю за процесом утворення накипи на теплообмінних поверхнях енергетичних установок і знижує безпечність і безаварійність їх експлуатації.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для підвищення безпеки безаварійної експлуатації теплообмінного енергетичного обладнання розробити систему оперативного визначення поточного значення кристалізаційного напору на основі інструментально визначених показників контролю водно-хімічного режиму теплоносія та вибрати шляхи оперативного управління водно-хімічним режимом цього обладнання для забезпечення без накипного режиму експлуатації.

Для вирішення поставленої задачі було побудовано термодинамічну модель системи  $Ca(II)-CO_2-H_2O$  з урахуванням утворення асоціатів  $CaOH^+$ ,  $CaHCO_3^+$ ,  $CaCO_3^0$  в основу якої покладені рівняння:

– дисоціації

$$[H^+] \cdot f_{H^+} \cdot [OH^-] \cdot f_{OH^-} = K_W; \quad (3)$$

$$[H^+] \cdot f_{H^+} \cdot [HCO_3^-] \cdot f_{HCO_3^-} = K_1 \cdot [CO_2^0] \cdot f_{CO_2}; \quad (4)$$

$$[H^+] \cdot f_{H^+} \cdot [CO_3^{2-}] \cdot f_{CO_3^{2-}} = K_2 \cdot [HCO_3^-] \cdot f_{HCO_3^-}; \quad (5)$$

$$[Ca^{2+}] \cdot f_{Ca^{2+}} \cdot [OH^-] \cdot f_{OH^-} = K_{CaOH^+} \cdot [CaOH^+] \cdot f_{CaOH^+}; \quad (6)$$

$$[Ca^{2+}] \cdot f_{Ca^{2+}} \cdot [HCO_3^-] \cdot f_{HCO_3^-} = K_{CaHCO_3^+} \cdot [CaHCO_3^+] \cdot f_{CaHCO_3^+}; \quad (7)$$

$$[Ca^{2+}] \cdot f_{Ca^{2+}} \cdot [CO_3^{2-}] \cdot f_{CO_3^{2-}} = K_{CaCO_3^0} \cdot [CaCO_3^0] \cdot f_{CaCO_3^0}; \quad (8)$$

– матеріального балансу:



$$[Ca^{2+}] + [CaOH^+] + [CaHCO_3^+] + [CaCO_3^0] = \mathcal{J}; \quad (9)$$

$$[HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+] = \mathcal{I}; \quad (10)$$

– електронейтральності:

$$\begin{aligned} [H^+] + [CaOH^+] + [CaHCO_3^+] + 2 \cdot [Ca^{2+}] = \\ = [OH^-] + [HCO_3^-] + 2 \cdot [CO_3^{2-}]. \end{aligned} \quad (11)$$

Рішення цієї системи рівнянь для побудови термодинамічної моделі треба проводити для умов, що характеризують експлуатаційні показники теплоносія (високі температура і тиск). При переході від стандартних термодинамічних параметрів середовища ( $T = 293 \text{ K}$ ,  $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ) до підвищених ( $T = 433 \text{ K}$ ,  $P = 6,18 \cdot 10^5 \text{ Па}$  – для умов експлуатації пікових бойлерів), виникає складність у визначенні констант дисоціації і констант усталеності іонних асоціатів. В останні часи розроблено методи термодинамічного розрахунку енергії Гіббса утворення іонів, заряджених і нейтральних іонних асоціатів у водневих розчинах при підвищених параметрах середовища, такі як “принцип відповідності” Крісса-Коббла [8], метод Ходаковського [9], або метод розроблений В.І. Зарембо [10], які дозволяють визначити необхідні константи в широкому діапазоні температур і тисків.

При побудові термодинамічної моделі системи  $Ca(II)-CO_2-H_2O$  для умов експлуатації пікових бойлерів ( $T = 433 \text{ K}$ ,  $P = 6,18 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ) для розрахунку констант рівноваги було обрано метод Крісса-Коббла [8].

Коефіцієнти активності іонів і іонних асоціатів розраховувались за модифікованим рівнянням Дебая-Хюккеля [11]. Рішення системи рівнянь (3)-(11) здійснювали методом ітерацій. Для розрахунку діаграми стану системи  $Ca(II)-CO_2-H_2O$  та побудови термодинамічної моделі була створена комп'ютерна програма “ТОМОР”.

Діаграма стану системи  $Ca(II)-CO_2-H_2O$  (рис. 1) представляє собою множину ізолій  $[CO_2] = \text{const}$  і  $\eta = \text{const}$  в координатах  $\mathcal{J} - pH_m$  і  $\mathcal{I} - pH_m$ . При заданих значеннях будь-якої змінної цієї системи ( $\mathcal{J}$ ,  $pH_m$ ,  $\mathcal{I}$ ,  $[CO_2]$ ,  $\eta$ ) функції є неперервними, що витікає з аналізу системи рівнянь (3)-(11). Таким чином, усі змінні безперервно змінюються від точки до точки на діаграмі, а кожна точка од-

нозначно характеризує стан розглядаємої системи. Крива  $\eta = 1$  характеризує насичений стан теплоносія по карбонату кальцію, нижче кривої – теплоносієм ненасичений, вище – пересичений по карбонату кальцію.

Проведенні дослідження впливу складу теплоносія на швидкість утворення відкладень карбонату кальцію при параметрах експлуатації пікових бойлерів показали, що швидкість накипи утворення прямо пропорційна його ступеню пересичення по карбонату кальцію (рис. 2), тобто підкоряється рівнянню (2). Отримані результати досліджень процесу накипи утворення карбонату кальцію в пікових бойлерах свідчать про те, що лімітуючою стадією утворення відкладень  $CaCO_3$  в цих умовах є утворення зародків твердої фази в об'ємі теплоносія. В цьому випадку коефіцієнт масовіддачі, знання якого край необхідно задля надійного прогнозування швидкості накипи утворення, залежить від броунівської дифузії і розміру часток, які зароджуються, тобто в кінцевому рахунку, від температури теплоносія. Це підтверджує лінійний характер залежності  $\ln \beta = f(1/T)$ , отриманої внаслідок аналізу експериментальних результатів в діапазоні температур 293 – 598 К, що апроксимується рівнянням

$$\ln \beta = 0,8 - \frac{4224,4}{T}, \quad (12)$$

з коефіцієнтом кореляції 0,97 при середньоквадратичному відхиленні середнього 0,47.

Таким чином, діаграма стану системи  $Ca(II)-CO_2-H_2O$  дозволяє не тільки оперативно визначати ступень пересичення теплоносія по карбонату кальцію, а і досить надійно прогнозувати швидкість накипи утворення на теплообмінних поверхнях пікових бойлерів та іншого теплообмінного обладнання.

Побоювання деяких дослідників [5] про те, що у випадку присутності у теплоносії інших іонів крім зазначених вище, наприклад  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ , достовірність оцінки накипи утворюючих властивостей теплоносія суттєво знизиться, визначилися не зовсім обґрунтованими. У випадку, коли визначаючим накипи утворювачем є карбонат кальцію (до 80% у відкладеннях) присутність інших іонів може бути врахована за рахунок введення в систему рівнянь (3)-(11) додаткових рівнянь дисоціації. Розширення рівнянь матеріального балансу і електронейтральності. При цьому розрахунок діаграми стану за розробленим алгоритмом ускладнюється

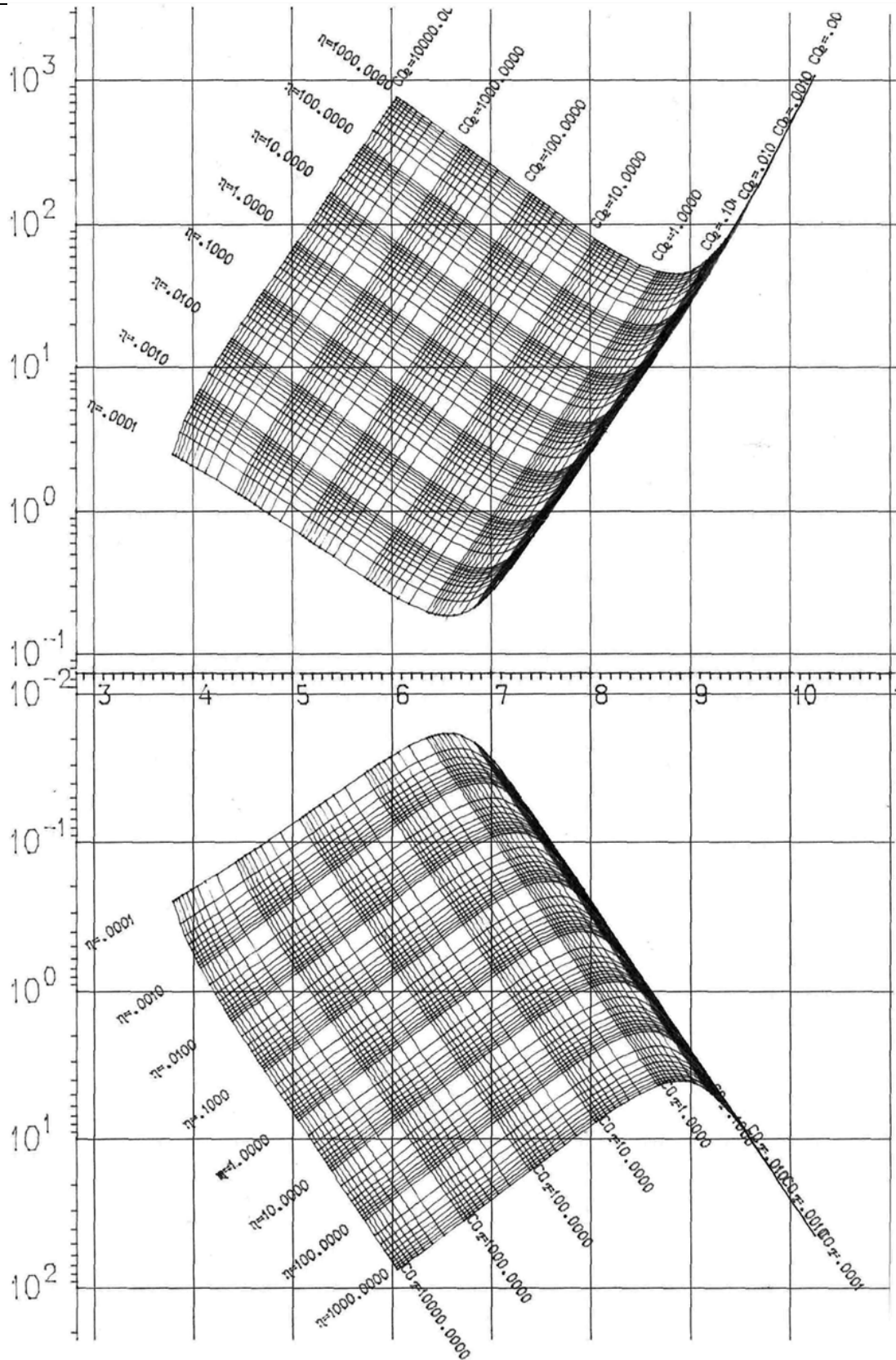


Рис. 1 – Діаграма стану системи  $Ca(II)-CO_2-H_2O$  для умов експлуатації пікових бойлерів ( $T = 433\text{ K}$ ,  $P = 0,618\text{ МПа}$ )

незначно, а достовірність оцінки величини кристалізаційного напору практично не знижується. Це було підтверджено співставленням розрахункових значень швидкості накипи утворення на тепло передаючих поверхнях пікових бойлерів, отриманих за розробленою моделлю, з експлуатаційними значеннями цього показнику. Реальні відкладення містили до 4% магнію у перерахунку на  $MgO$ , а неспівпадіння розрахункових і експлуатаційних величин швидкості накипи утворення не перебільшували  $\pm 10\%$ .

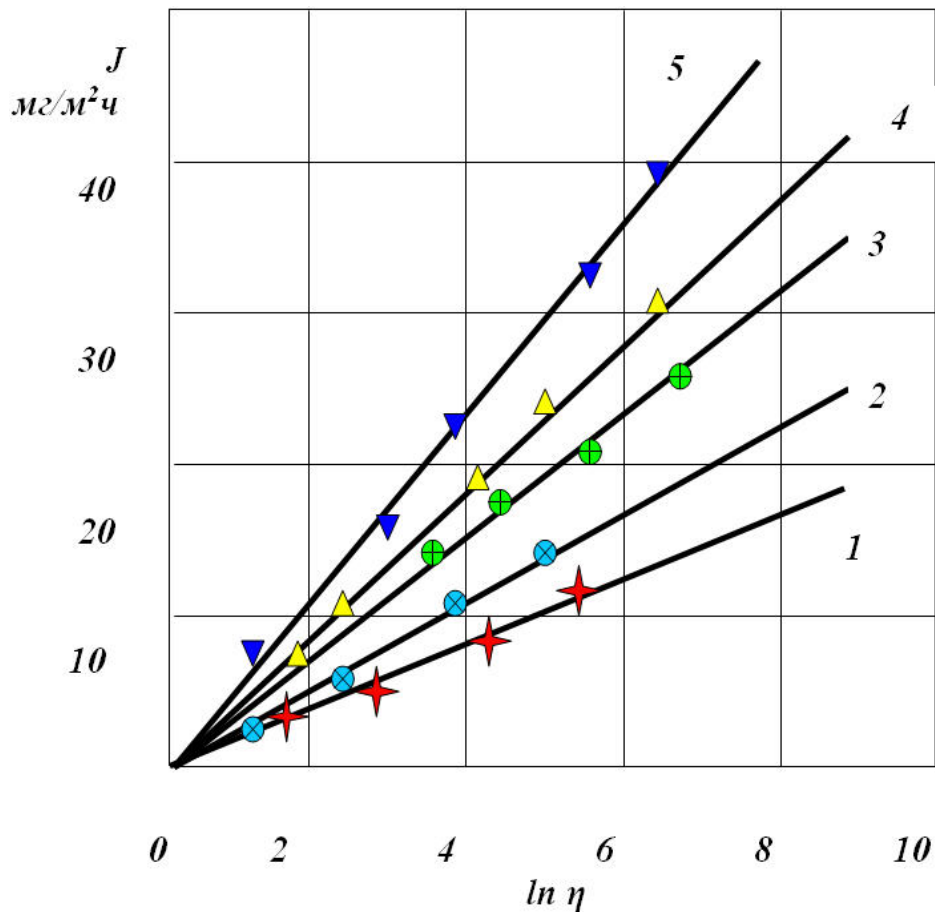


Рис. 2 – Залежність швидкості утворення накипи карбонату кальцію від ступеню пересичення теплоносія при  $T = 433 \text{ K}$  і  $P = 0,618 \text{ МПа}$ , при концентрації накипи утворювача,  $\text{г/м}^3$ : 1 – 25, 2 – 50, 3 – 75, 4 – 100, 5 – 125

Аналіз водно-хімічного режиму циркуляційного контуру охолодження конденсаторів турбін п'ятого блоку Ново-Воронезької АЕС, де основним накипи утворювачем є карбонат кальцію, дозволив виявити лінійну кореляцію між швидкістю зміни вакууму у турбіні і швидкістю зміни кристалізаційного напору. Збільшення вакууму у турбіні відповідає ненасиченому стану циркуляцій-

---

Підвищення безпеки експлуатації теплообмінного обладнання енергетичних установок

ної води по карбонату кальцію ( $\eta < 1$ ), а зниження вакууму – спостерігається при пересиченні циркуляційної води по карбонату кальцію ( $\eta > 1$ ) [12]. Ці результати також підтверджують вірність обраного підходу до оцінки накипи утворюючих властивостей теплоносіїв та дієздатність розробленої моделі не тільки для надійного прогнозування накипи утворення на тепло передаючих поверхнях енергетичного обладнання, а і управління цим процесом за рахунок оперативної зміни в той чи інший бік показників стану теплоносія, які вимірюються безперервно ( $\mathcal{J}$ ,  $\mathcal{I}$ ,  $pH$ ).

Запропонована термодинамічна модель дозволяє провести розрахунки накипи утворюючих властивостей теплоносіїв в широкому діапазоні температур і тисків ( $T = 293 - 472$  К,  $P = 0,1 - 1,56$  МПа), тобто для широкого спектру теплообмінного обладнання теплових і атомних електростанцій. Забезпечити, за рахунок оперативного контролю і управління процесом накипи утворення, уникнення аварійних ситуацій на цьому обладнанні, підвищити безпеку експлуатації енергетичних виробництв в цілому і може бути покладена в основу для створення автоматизованої системи управління водно-хімічним режимом енергетичних установок.

**Висновок.** В результаті проведених досліджень створена система оперативного визначення поточного значення кристалізаційного напору на основі інструментально визначених показників контролю водно-хімічного режиму теплоносія та встановлені можливі оперативного управління водно-хімічним режимом цього обладнання для забезпечення без накипного режиму експлуатації, що дозволяє уникнути утворення відкладень на теплопередаючих поверхнях і підвищити безпечність, безаварійність та надійність експлуатації цього обладнання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Маргулова Т.Х., Мартынова О.И. Водные режимы тепловых и атомных электростанций М.: Высшая школа. 1987. – 319 с.
2. Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей.- М.: Энергоиздат, 1982. – 200 с.
3. Langelier W.F. The analytical control of anti-corrosion water treatment // JAWWA, 1936, v. 28, N 10, p. 548 – 572.

4. Ryznar J.W. A new index for determining of amount of calcium carbonate scale formed by a water // JAWWA, 1944, v. 34, p. 276 – 281.
5. Боднарь Ю.Ф. Выбор критерия для оценки накипеобразующих свойств охлаждающей воды // Теплоэнергетика, 1979, № 7, с. 65 – 68.
6. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления.- Л.: Химия, 1967. – 388 с.
7. Третьяков О.В., Крицкий В.Г. Закономерности гомогенной кристаллизации из растворов // Украинский химический журнал. 1990, т. 56, № 6, с. 567-571.
8. Criss C., Cobble J. The thermodynamic properties of high temperature aqueous solutions. IV. Entropies of the ions up to 200<sup>0</sup> and the correspondence principle // J. Amer. Chem. Soc., 1964, v. 86, p. 5385 – 5390.
9. Ходаковский Л.И. Термодинамика водных растворов электролитов при повышенных температурах (энергия ионов при повышенных температурах) // Геохимия, 1969, № 1, с. 57 – 63.
10. Зарембо В.И., Пучков Л.В. Стандартные значения энергий Гиббса образования ионов и ионных ассоциатов в водном растворе при высоких параметрах состояния // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ, ТФЦ.- М.: ИВТАН, 1984, № 2(46). – 106 с.
11. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Основы теоретической электрохимии.- М.: Химия, 1984. – 239 с.
12. Крицкий В.Г., Третьяков О.В., Крепак А.С., Осипов В.Н. Оценка накипеобразующих свойств воды с помощью диаграммы состояния карбоната кальция. В сб.: Вопросы атомной науки и техники. Физика и техника ядерных реакторов. 1987, вып. 5, с. 57 – 60.

УДК 628.1.033

*Третьяков О.В., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,  
Андронов В.А., д-р техн. наук, нач. фак., УЦЗУ*

## **ЗАПОБІГАННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ НЕЯКІСНОЇ ПИТНОЇ ВОДИ З ПОВЕРХНЕВИХ ДЖЕРЕЛ В СУЧАСНИХ УМОВАХ**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

Визначені основні причини погіршення якості питної води при використанні води поверхневих джерел як вихідної в системах з традиційною схемою водопідготовки. Розроблені рекомендації по усуненню цих недоліків, покращенню якості питної води без суттєвих змін в існуючих системах підготовки питної води

**Постановка проблеми.** Основа життя на Землі є вода. Тому переоцінити значення питної води у житті людини дуже і дуже складно. Фактично можна впевнено казати, що якість питної води обумовлює стан здоров'я людей, які її вживають. Якість питної води залежить від складу домішок і якості вихідної води природного джерела, що використовується для приготування питної води і технології її обробки, яка застосовується на станціях водопідготовки. Питне водопостачання в Україні здійснюється за рахунок як поверхневих (70%), так і підземних джерел (30%). Більшість поверхневих вод, які використовуються для питних потреб, за гідрохімічними показниками в основному належать до II – III класу, значна їх частина взагалі належить до IV класу якості і є проблемною для використання [1].

Головним поверхневим джерелом природної води для виготовлення питної в Україні є річка Дніпро – головна водна артерія країни, що протягом 1 205 км тече по її території і має площу басейну на цій території 291,4 тис. кв. км., тобто 48,2% площини країни. Більше ніж 53% населення України вживають питну воду, що готується з дніпровської води. Спорудження дніпровського каскаду гідроелектростанцій і водосховищ стали причиною значних змін стану як самої дніпровської води, так і природи на значній території. Ці зміни мають відповідні відбитки в атмосфері, гідросфері, літосфері і біосфері в цілому. Внаслідок підняття ґрунтових вод має розвиток заболоченість і підтоплення берегових зон. Бурхливий розвиток біопланктону сине-зелених водоростей провокує цвітіння води на мілководді водосховищ, які складають понад 20%

їх території. В умовах пересичення дніпровської води органічними і біогенними речовинами посилюються процеси відмирання, гниття, розкладу водоростей і тварин, що обумовлює погіршення кисневого режиму, зниження рН води у придонному шарі і, як наслідок, підвищується концентрація іону мангану у вигляді  $Mn^{2+}$  у дніпровській воді, яка подається на станції водопідготовки питної води у населених пунктах. Концентрація мангану в період липень – серпень збільшується у порівнянні з зимовим періодом у 3 – 10 разів і складає  $1,9 \div 7,0$  мг/л [2, 3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні часи аналогічні тенденції спостерігаються і на інших водосховищах, води яких також використовуються для приготування питної води. Так аналіз стану води Карачунівського водосховища (м. Кривий Ріг), яке утворено на злитті рік Інгулець, Бічна і Боковенька і має проектний об'єм – 308,5 млн. м<sup>3</sup>, показав, що між концентрацією іону-мангану та біологічним споживанням кисню (БПК) існує досить чітка кореляція (рис.1). Тенденцію взаємозв'язку між розвитком і життєдіяльністю водоростей і концентрацією іону мангану у воді цього водоймища підтверджується також залежністю концентрації іону-мангану від кількості фітопланктону в 1 см<sup>3</sup> вихідної води (рис.2).

Це становить дуже складну проблему для забезпечення якісної питної води, тому що вимоги державного стандарту саме по вмісту мангану  $Mn^{2+}$  у питній воді –  $\leq 0,1$  мг/л [4].

Більшість існуючих станцій водопостачання питної води працюють за спрощеною технологією обробки води: механічні фільтри грубої очистки – механічні фільтри тонкої очистки (насіпні або барабанні) – обеззараження (частіше за все хлорування). Неважко побачити, що жодна з цих стадій водопідготовки непристосована до виділення мангану зі складу вихідної води. Слід також зазначити, що в літній період, коли зростає загроза різноманітних інфекційних захворювань внаслідок розвитку інфекцій у воді, виробники питної води переходять до суперхлорування із забезпеченням концентрації залишкового хлору на самому віддаленому участку постачання питної води на рівні  $1,0 \div 10,0$  мг/л [5]. Саме поєднання таких причин як погіршення якості вихідної води поверхневих джерел (збільшення вмісту мангану) і застосування хлорування як основного процесу бактерицидної обробки призводить до суттєвого погіршення якості питної води у літній період, що спостерігається навіть органолептичними методами. Змінюєть-



ся колір питної води на світло-бурий, утворюється бурий осад після відстоювання, що викликає численні нарікання населення, а в деяких місцях навіть приводить до соціальних конфліктів.

**Постановка завдання та його вирішення.** Головним завданням цих досліджень було – розібратися в механізмі вище наведених негараздів і виявити можливість їх усунення без суттєвих змін технології водопідготовки на існуючих станціях, які, як правило, не мають суттєвих коштів для переоснащення і переходу на новітні технології підготовки питної води, спрямовані на забезпечення виділення іонів важких металів і уникнення хлорування, як основної стадії бактерицидної обробки води.

Перш за все слід зазначити, що іон мангану  $Mn^{2+}$  відноситься до складу досить сильних відновників. Реакція  $MnO_2 + 4H^+ + 2e^- = Mn^{2+} +$

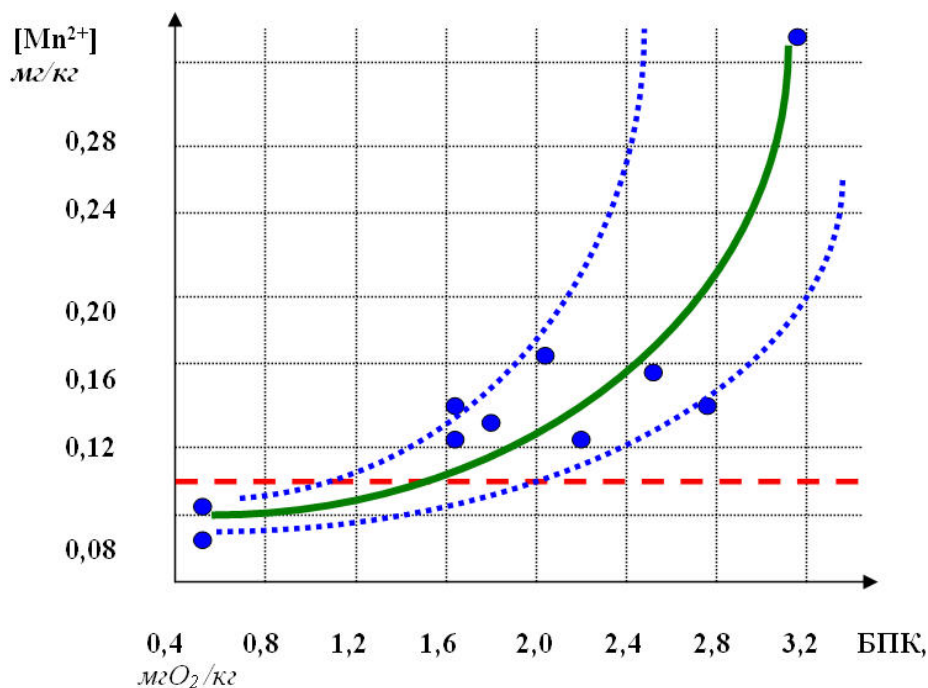


Рис. 1 – Залежність концентрації іону мангану у воді Карачунівського водосховища від біологічного споживання кисню

$2H_2O$  характеризується значенням Red-Ох потенціалу  $E^0 = 1,23$  В. Але в умовах літнього періоду, коли концентрація кисню у воді поверхневих джерел значно зменшується, природного окислювача (кисню) у воді не вистачає для того, щоб перевести добре розчинний у воді іон мангану  $Mn^{2+}$  до важко розчинної сполуки  $MnO_2$ , яка б мала змогу бути затримана на механічних фільтрах

тонкої очистки на станції водопідготовки. Таким чином, практично весь манган у вигляді іону  $Mn^{2+}$  проходить усі стадії процесу підготовки питної води і тільки на останній стадії – хлоруванні починаються його перетворення. Саме активний хлор, що застосовується на цій стадії і виконує функцію окислювача, який забезпечує перетворення іону  $Mn^{2+}$  у  $MnO_2$  незалежно від того який саме реагент використовується рідкий хлор, або гіпохлорит:

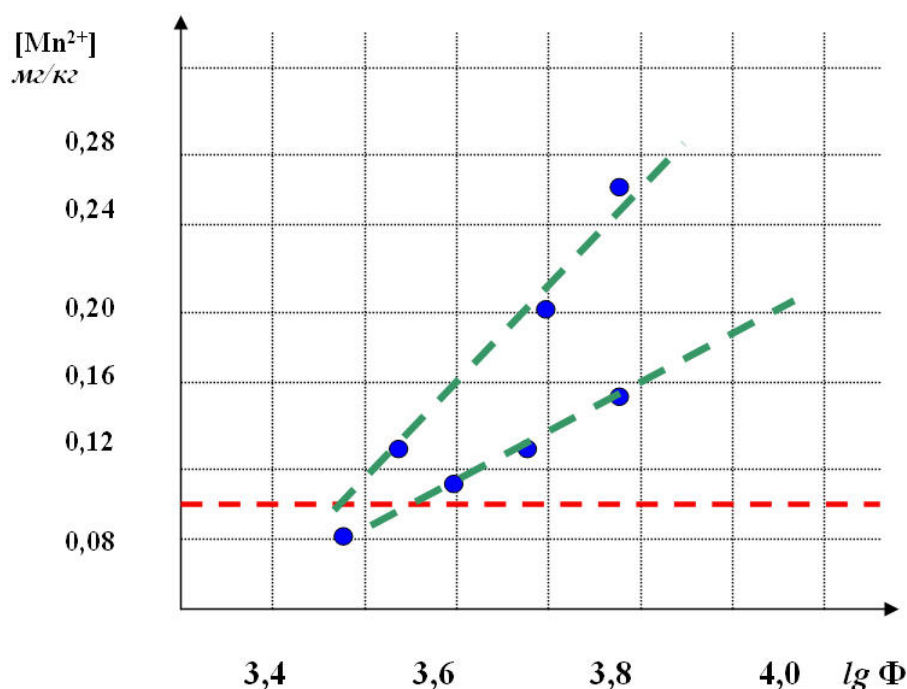
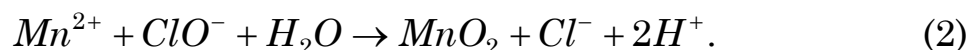
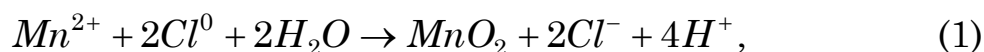
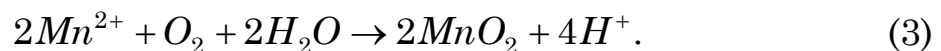


Рис. 2 – Залежність концентрації іону мангану у воді Карачунівського водосховища від вмісту фітопланктону

Утворений на цій стадії двооксид мангану вже не може бути затриманий ніякими фільтрами, а прямує по системі водопостачання питної води до споживача, обумовлюючи при цьому колір питної води, наявність осаду і, відповідно, обурення населення.

Яким чином можна було б позбавитися цих проблем? Досконалий аналіз причин цих недоліків існуючої системи підготовки питної води дозволяє визначити основні шляхи їх позбавлення. Основне завдання – виведення мангану з вихідної води поверхневого джерела до стадій фільтрування у вигляді важкорозчинної

сполуки бажано без застосування додаткових реагентів. Для досягнення цієї мети в системі не вистачає окислювача, який забезпечував би цей перехід. Основний природний окислювач це кисень, якого недостатньо у воді природного джерела влітку, але достатня кількість у навколишньому повітрі. Нажаль поверхневого контакту дзеркала води водосховищ з повітрям недостатньо для забезпечення необхідної концентрації кисню для повного окислення мангану до двооксиду у воді. Тому для ефективного використання повітряного кисню у якості окислювача мангану у воді треба забезпечити підвищення його концентрації у воді влітку. Це можна забезпечити шляхом аерації повітрям вихідної води будь-яким способом. Як показали попередні дослідження найпростішим способом аерації води в умовах станцій водопідготовки можуть бути: роздрібнення потоку води у вигляді дрібних крапель над поверхнею прийомного водоймища станції за допомогою будь-яких технічних засобів. Головна умова – кількість води поверхневого джерела, що подається на стадію фільтрування, обов'язково повинна пройти стадію аерації. За цих умов до стадії фільтрації буде відбуватися окислення іону мангану



При цьому забезпечуються умови повного формування твердої фази двооксиду мангану ще до стадії тонкого фільтрування, внаслідок чого, весь двооксид осідає на механічних фільтрах тонкої очистки незалежно від їх конструкції (насипних чи барабанних). Саме ці дві стадії (попередня аерація води і фільтрація) гарантують, що манган у вигляді іону  $Mn^{2+}$  практично буде відсутній у воді на стадії хлорування і, таким чином, питна вода буде повністю позбавлена усіх негараздів, пов'язаних з присутністю мангану в ній. Крім цього, при використанні запропонованої стадії аерації вихідної води і осадженні двооксиду мангану на механічних фільтрах тонкої очистки, буде досягнуто додаткового ефекту по виведенню з води різноманітних органічних сполук (фенолів, хлорорганічних сполук тощо) і деяких важких металів за рахунок високої сорбційної ємності свіжоутвореного двооксиду мангану по відношенню до них. Таким чином, стадія тонкої механічної очистки питної води додатково стає ще стадією сорбції різноманітних сполук, що відповідно покращує якість виробленої питної води.

**Висновок.** На основі проведених досліджень визначені основні причини погіршення якості питної води при використанні води поверхневих джерел як вихідної в системах з традиційною схемою водопідготовки. Запропоновано рекомендації по усуненню цих недоліків, покращенню якості питної води без суттєвих змін у існуючих системах підготовки питної води.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році. – К.: 2007. – 236 с.
2. Хвесик М.А., Файфура В.В. Актуальные проблемы охраны и воспроизводства водных ресурсов Украины // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы охраны окружающей среды от антропогенного воздействия» 18-20 мая 1994 г. г. Кременчуг, с. 85 – 93.
3. Верниченко А.А., Васенко А.А., Колдоба И.В. Экологический мониторинг поверхностных вод Украины // Там же с. 54 – 59.
4. ДСТУ 878 – 93. Вимоги до якості питної води.
5. Кульский Л.А., Горонковский И.Т., Когановский А.М., Шевченко М.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. В 2 частях. – К.: Наукова думка, 1980. – 1206 с.

УДК 621.373:772

*Третьяков О.В., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,  
Андронов В.А., д-р техн. наук, нач. фак., УЦЗУ,  
Малютін М.М., ад'юнкт, УЦЗУ*

**НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ  
НЕБЕЗПЕК ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ОБ'ЄКТАХ КОКСО-ХІМІЧНОГО І  
МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВ ПРИ ЇХ ОДНО  
ТЕРИТОРІАЛЬНОМУ РОЗТАШУВАННІ**

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

Розглянуто причини необхідності підвищення надійності оцінки небезпек виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на коксохімічних і металургійних підприємствах при їх одно територіальному розташуванні з урахуванням синергізму небезпечних хімічних і фізичних факторів. Сформульована задача та вибрані напрями наукових досліджень для забезпечення надійного прогнозу та уникнення таких надзвичайних ситуацій

**Постановка проблеми.** Підприємства коксохімічного і металургійного виробництв являють собою складні комплекси технологічних процесів і відносяться до екологічно небезпечних, що визначають внаслідок значних викидів у атмосферу широкого спектру шкідливих та небезпечних речовин та скидів їх у водоймища екологічну ситуацію регіонів розташування. Крім того, підприємства коксохімічного і металургійного виробництв у відповідності з чинною нормативно технічною документацією відносяться до категорії – пожежо- та вибухонебезпечних виробництв [1]. Для цих підприємств в силу вище означених причин є обов'язковими розробка Проекту гранично допустимих викидів (ГДВ), Проекту гранично допустимих скидів (ГДС) та Плану локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) [2], які повинні забезпечувати мінімізацію впливу їх на довкілля та забезпечення уникнення техногенних надзвичайних ситуацій.

Технологічні взаємозв'язки цих виробництв обумовили одно територіальне розташування підприємств у безпосередній близькості, що потребує відповідного врахування при оцінці впливу їх виробництв як на довкілля, так і при визначенні небезпек виникнення техногенних надзвичайних ситуацій. Врахування викидів та скидів небезпечних речовин односпрямованої дії від обох під-

Третьяков О.В., Андронов В.А., Малютін М.М.

приємств потребує вирішення тільки організаційних питань – яке з них буде забезпечувати це врахування при розробці ГДВ, ГДС та ПЛАС. Але при такому підході зовсім виключається з розгляду найбільш важливі питання, пов'язані з поєднанням і сумісною дією хімічних (парів легкозаймистих та вибухонебезпечних речовин) та фізичних небезпечних факторів (підвищеної температури неорганізованих джерел забруднення) впливу на навколишнє середовище підприємств коксохімічного та металургійного виробництва. Синергізм дії таких факторів може приводити до появи нових небезпечних факторів, які будуть здійснювати негативний вплив на довкілля, та створювати умови виникнення надзвичайних ситуацій техногенного походження як на території цих підприємств, так і за її межами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Закрите акціонерне товариство “Єнакієвський коксохімпром” розташовано у центральній частині міста на території 2,8 кв. км і з південної та південно-західної частини граничить з групою підприємств Єнакієвського металургійного заводу. У відповідності з інвентаризацією ЗАТ “Єнакієвський коксохімпром” має 132 джерела викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря, з яких 59 – неорганізовані. Серед основних речовин, що викидаються цим підприємством у повітря – пил неорганічного та органічного походження, оксид карбону, оксиди нітрогену, оксиди сульфуру, аміак, сульфід гідрогену, бензол, фенол, нафталін та інші. Група підприємств “Єнакієвський металургійний завод”, до якої входять Відкрите акціонерне товариство “Єнакієвський металургійний завод” та Українсько-швейцарське спільне підприємство “Метален”, як підприємства з повним металургійним циклом мають відповідно – 196 джерел викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря, з яких 77 – неорганізовані та 47 джерел, з яких 17 неорганізовані. Ця група підприємств також викидає у атмосферне повітря наступні забруднюючі речовини – пил неорганічного та органічного походження, оксид карбону, оксиди нітрогену, оксиди сульфуру, аміак, сульфід гідрогену та інші. Для кожного з підприємств як коксохімічного виробництва, так і металургійного, у відповідності з чинною нормативно-технічною документацією встановлені ліміти викидів забруднюючих речовин у атмосферу, які розраховані окремо для кожного промислового об'єкту з урахуванням фонових концентрацій у приземному шарі по цим речовинам.

---

Напрями підвищення надійності прогнозування небезпек виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах коксо-хімічного і металургійного виробництва при їх одно територіальному розташуванні

Незважаючи на те, що ще при введенні в країні обов'язкового лімітування викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря міст, проведення спільного урахування поряд розташованих підприємств, які викидають з джерел однакові або речовини односпрямованої дії на людину, для надійного прогнозування концентрації цих речовин у приземному шарі [3], та встановлення загальних лімітів викидів, для вищезгаданих підприємств міста Єнакієве цього зроблено не було. Тим більше, що навколо територій цих підприємств розташовані райони проживання мешканців міста. Аналогічна картина спостерігається в усіх містах України де маються коксохімічне і металургійне виробництва.

Крім того, слід зазначити, що при розробці ПЛАС коксохімічних і металургійних виробництв зовсім не приймається до уваги можливість спільного впливу небезпечних факторів обох виробництв, і не проводиться не тільки оцінка ймовірності виникнення за рахунок цього аварійних ситуацій техногенного походження. Так, наприклад, при аварійному вихіді чи викиду деякої кількості таких шкідливих речовин, що виробляються на коксохімічних підприємствах – бензол, фенол, толуол при суміщенні з великою температурою (температура спалаху цих речовин складає від  $-11^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$ , а самозаймання від  $520^{\circ}\text{C}$  до  $595^{\circ}\text{C}$ , при цьому нижча концентраційна межа має значення від 0,9% до 1,52%) та складом шлакових відвалів металургійного виробництва, розташованому на відстані 300-400 метрів, при визначених метеорологічних умовах може призвести не тільки до аварійного спалаху, а і до синтезу нових небезпечних речовин. Щодоби на «конвертерне звалище» тільки з конвертерного цеху СП ТОВ «Метален» вивозиться більше 1100 тон конвертерного шлаку який має температуру  $1620-1650^{\circ}\text{C}$ , и обсяг скидів шлаку доменого виробництва у 3-4 раза більше. Одноразово проводиться злив 70-80 тон шлаку, на відкритій площі 150-200 кв.м.

Згідно задекларованих ЗАТ «Єнакієвський коксохімпром» показників викидів речовин складають на рік: бензолу-більш 170т., фенолу 258т., нафталину 130т., оксиду вуглецю 1600т., сірчаного ангідриду 3727т., діоксиду та оксиду азоту 688 та 122 т. відповідно; ВАТ «Єнакіївський металургійний завод» та СП ТОВ «Метален» відповідно: оксиду вуглецю 24743т. та 1904т., діоксиду азоту 410 т. та 49т., сірчаного ангідриду 1144т. та 22т.

Таким чином, можна заключити, що на сучасному етапі оцінка впливу коксохімічних і металургійних виробництв при їх одно

територіальному розташування на довкілля, оцінка небезпеки виникнення аварій та розробка заходів з локалізації та ліквідації можливих аварій проводиться недостатньо надійно без врахування усіх можливих небажаних ситуацій.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для забезпечення надійного прогнозування впливу коксохімічного і металургійного виробництв при одно територіальному розташуванні на довкілля в наслідок спільної дії їх небезпечних хімічних та фізичних факторів необхідно проведення глибокого попереднього теоретичного аналізу такого впливу, визначення напрямків проведення експериментальних досліджень для подальшої розробки рекомендацій щодо застосування результатів цих досліджень у відповідній нормативно-технічній документації.

Перш за все для більш достовірного врахування впливу викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин доцільно проведення розробки спільних проектів ГДВ і ПЛАС для підприємств коксохімічного і металургійного виробництв одно територіального розташування, що дозволить отримувати більш надійніший прогноз концентрацій цих речовин у приземному шарі прилеглих районів мешкання при різноманітних кліматичних умовах.

Більш суттєвих та глибоких досліджень потребує визначення можливих факторів обох виробництв, спільна дія яких може призводити до утворення нових небезпечних та шкідливих факторів, а також викликати небезпеку виникнення аварійних ситуацій. Так, для різноманітних кліматичних умов, необхідно враховувати можливість контакту повітря, що містить пари таких речовин як бензол, фенол, толуол, нафталін, які характерні для викидів коксохімічного виробництва і мають досить низьку температуру та нижню концентраційну границю спалаху, та відкритих складів конверторного шлаку, які мають температуру 1620–1650°C. Враховуючи площу поверхні цих відкритих складів конверторного шлаку, доцільно враховувати також вплив температурних полів від них на розсіяння парів шкідливих речовин від коксохімічного виробництва у повітрі, тому що вони суттєво змінюють рух потоків повітря.

При розробці ПЛАС необхідно враховувати можливість взаємодії великої кількості бензолу у випадку аварійної ситуації з відкритими складами конверторного шлаку і розробити заходи локалізації і ліквідації наслідків такої аварії. Тим більше, що у діючо-



му ПЛАС Єнакієвського коксохімпрому розглядається аварійна ситуація з виходом біля 650 тон бензолу на територію підприємства [4].

Найбільш складним виявляється дослідження можливого синтезу складних похідних ароматичних вуглецевих сполук, які можуть утворюватися на поверхні відкритих складів конверторного шлаку при характерній для них температурі. В цих умовах на поверхні шлаків при високій температурі за участю бензолу, фенолу аміаку можуть утворюватися такі канцерогенні речовини як бенз- $\alpha$ -пірен, анілін та його похідні [5]. Функцію каталізатора у цих реакціях можуть виконати речовини, що містяться у конверторному шлаку. Це питання потребує ретельного експериментального дослідження для прийняття остаточного рішення про необхідність урахування такого синергізму небезпечних факторів обох виробництв та його урахування при розробці як проекту ГДВ так і ПЛАС.

Таким чином, проведений попередній теоретичний аналіз дозволяє заключити, що для забезпечення надійної оцінки безпеки виникнення надзвичайних ситуацій техногенного походження на об'єктах коксохімічного та металургійного виробництв при їх одно територіальному розташуванні, необхідно враховувати синергізм небезпечних та шкідливих факторів обох виробництв та можливість виникнення додаткових небезпечних факторів, які можуть бути самостійним джерелом виникнення надзвичайних ситуацій. Задля повномірної оцінки такого впливу необхідно провести комплекс наукових досліджень:

- розробити методики оцінки ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру при сумісній дії небезпечних та шкідливих факторів коксохімічного та металургійного виробництв;

- створити математичну модель розвитку надзвичайних ситуацій техногенного характеру при сумісній дії небезпечних та шкідливих факторів коксохімічного та металургійного виробництв;

- провести натурні експериментальні дослідження з визначення можливості виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру при сумісній дії небезпечних та шкідливих факторів коксохімічного та металургійного виробництв;

- розробити рекомендації по внесенню змін у нормативні та нормативно-технічні документи з паспортизації об'єктів підвище-

ної небезпеки та розробки ПЛАС об'єктів коксохімічного та металургійного виробництв при їх сумісному розташуванні.

**Висновки.** Проведений аналіз необхідності підвищення надійності оцінки небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій техногенного походження на об'єктах коксохімічного та металургійного виробництв при їх одно територіальному розташуванні дозволив визначити актуальність і необхідність проведення розробок в цьому напрямку та забезпечив формулювання основних етапів проведення наукових досліджень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ОНТП-24-86. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. М., 1986.
2. ДНАОП 0.00-4.33-99. Положення з розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій. – К.: 1999.
3. Гамота В.С. Проблемы разработки и внедрения нормативов предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу. – К.: 1986.
4. План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій цеху уловлювання ЗАО «ЕКХП». – Єнакієво 2004.
5. Физер Л., Физер М. Органическая химия. Углубленный курс. В 2-х томах. – М.: Химия, 1969.

УДК 504.056:331.461.2

*Шматко А.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Говаленков С.С., ад'юнкт, УГЗУ*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОБИТ-ФУНКЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНОГО ПОРАЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ**

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

В работе предлагается использование пробит-функции для определения вероятности поражения личного состава при авариях на химически опасных объектах, связанных с выбросом или проливом химически опасных веществ. Исследование предложенных моделей позволит решать задачу оценки предельно допустимых значений концентраций химических веществ, а также определить предельно допустимое время нахождения личного состава, участвующего при ликвидации аварии в зоне проведения работ

**Постановка проблемы.** Аварии на химически опасных объектах (ХОО) могут приводить к разливам, пожарам, взрывам химически опасных веществ (ХОВ), когда главным поражающим воздействием является токсическое воздействие на людей и окружающую среду. Поэтому актуальной проблемой является достоверное прогнозирование уровней предельно допустимых концентраций ХОВ в зоне аварии (поля концентраций), определение времени эвакуации людей из этой зоны, а также предельно допустимого времени работы в зоне ликвидаторов аварии.

**Анализ последних исследований и публикаций.** К числу основных источников негативного воздействия на людей и окружающую среду при рассматриваемых авариях относятся: истечение жидкости через отверстие, перелив жидкости через обвалование при квазимгновенном разрушении резервуара, испарение жидкости, образование газопаровоздушного облака, «пожар-вспышка», взрыв резервуара с перегретой жидкостью в очаге пожара, пожар пролива, «огненный шар», факельное горение газовой и жидкостной струи, вскипание горячей жидкости в резервуаре [1]. В настоящее время разработано большое количество методик и руководящих документов для оценки последствий аварий на ХОО [2-6]. Основой описания физико-химических явлений и процессов, которые протекают в сложных технических системах, к числу которых относятся и ХОО, являются методы математического

Шматко А.В., Говаленков С.С.

моделирования и прогнозирования. Для оценки степени поражения людей наибольшее распространение получили численные и вероятностные методы. Как отмечается в работах В. Маршалла, Ф. Дж. Мартина, Н.Н. Брушлинского, В.А. Колосова, А.П. Шевчука, В.М. Колодкина, Л.В. Дранишникова и др. авторов, использование вероятностных критериев для анализа поражения людей, зданий и оборудования — одно из наиболее перспективных и широко используемых направлений при моделировании чрезвычайных ситуаций (ЧС). В то же время эти методы используются, в основном, для прогнозирования поражения людей при авариях вследствие влияния теплового излучения и ударной волны [1,7]: при давлении во фронте ударной волны равном 70 кПа, возможны контузии людей, в случае термического воздействия теплового потока интенсивностью 37 кВт/м<sup>2</sup> при длительности воздействия 30 секунд, будут смертельно поражены 90% людей, попавших в зону облучения.

**Постановка задачи и ее решение.** Рассмотрим задачу определения оценки уровня токсической опасности относительно человека и конкретной меры ущерба. В качестве меры ущерба может быть принят определенный уровень поражения, в данном случае будем рассматривать крайнюю меру «ущерба» — летальный исход. Рассмотрим токсическое воздействие ХОВ. Экспериментально установлено, что зависимость между дозой вещества, полученной организмом человека, и его реакцией на это воздействие, выражается S-образной кривой [8]. В общем случае токсического воздействия на человека величина вероятности поражения  $P_{пор}$  определяется функцией Гаусса

$$P_{пор} = f(P_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_r^{-5}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (1)$$

Верхней границей интеграла является пробит-функция, которая отображает связь между вероятностью поражения и дозой негативного влияния [7] и имеет вид

$$Pr = a + b \cdot \ln D, \quad (2)$$

где  $P_r$  — вероятностная единица (пробит),  $a$  и  $b$  — эмпирические коэффициенты, которые характеризуют специфику и степень опас-

Применение пробит-функции для прогнозирования возможного поражения людей при авариях на химически опасных объектах

ности вещества или процесса,  $D$  – доза негативного влияния.

В случае пребывания человека в атмосфере с постоянной концентрацией токсиканта и его воздействия на человека величина вероятности поражения  $P_{пор}$  определяется соотношением [7]

$$Pr = a + b \cdot \ln(C_t^n \cdot \tau), \quad (3)$$

где  $n$  – показатель степени (эксперимент),  $\tau$  – время воздействия, мин.,  $C_t$  – концентрация токсиканта, которая связана с концентрацией ХОВ соотношением [7]

$$C_t = \frac{C \cdot (273,15 + t)}{12,187 \cdot M}, \quad (4)$$

где  $C$  – концентрация ХОВ (мг/л),  $t$  – температура смеси, °С,  $M$  – молекулярная масса ХОВ.

Рассмотренные модели имеют ряд недостатков, обусловленных тем, что коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $n$  являются усредненными, так как результаты токсикологического воздействия существенно зависят от конкретного состояния человека, его возраста, физических и других данных. В частности, экспериментальные данные значений коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $n$  справедливые для взрослых отличаются от данных для детей и людей пожилого возраста [7]. Кроме того, при одновременном воздействии нескольких ХОВ определение вероятности поражения с помощью выражений (3)-(4) затруднительно.

Для нахождения вероятности поражения человека предлагается использовать модель вида

$$U(D) = \frac{1}{2} \left( 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{1}{\sigma \sqrt{2}} \cdot \ln \frac{D}{LC_{\tau 50}} \right) \right), \quad (5)$$

где  $U(D)$  – вероятность поражения человека от полученной токсической дозы,  $\sigma$  – дисперсия закона токсичности,  $LC_{50}$  – средняя смертельная концентрация, вызывающая летальный результат у 50% пораженных (мг/л).

Величина токсической дозы  $D$  отвечает интегралу

$$D(x, y, z) = \int_0^{t_0} c^n(x, y, z, t) dt, \quad (6)$$

где  $t_0$  - время экспозиции. Для нахождения вероятности поражения человека  $U(D)$  используем следующее выражение

$$U(D) = 1 / [1 + (LC_{\tau 50} / D)^\beta], \quad (7)$$

где  $\beta = 1,667 / \ln S$ ,  $S$  – функция токсичности,  $\ln S = \sigma$ ,  $D = c^n \cdot t_0$ . Функция токсичности  $S$  характеризует устойчивость организма к токсическому воздействию и определяется выражением [3]

$$S = 0,5(LD_{84} / LD_{50} + LD_{50} / LD_{16}), \quad (8)$$

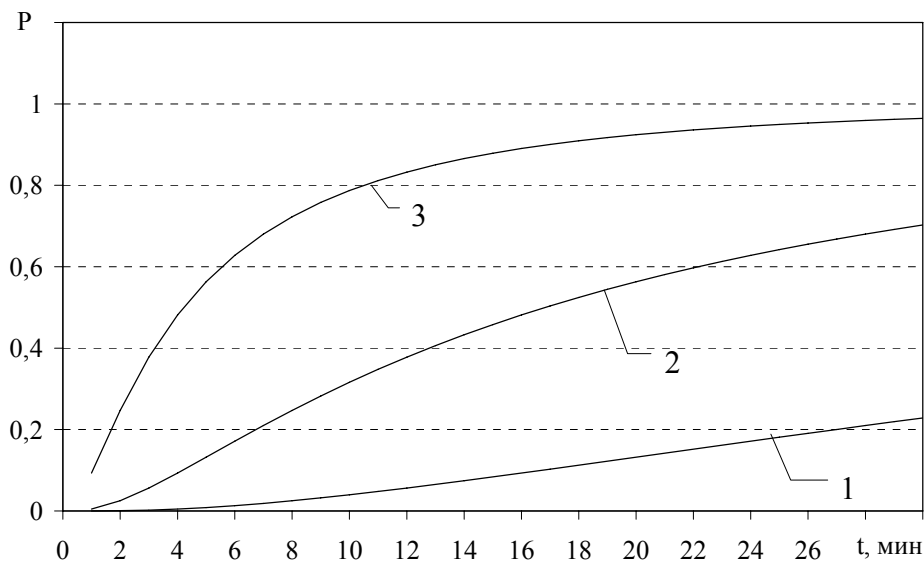
где  $LD_{84}$ ,  $LD_{50}$ ,  $LD_{16}$  - средние смертельные токсические дозы, вызывающие летальный результат соответственно у 84%, 50% и 16% пораженных при 30-минутной продолжительности воздействия ХОВ для незащищенного личного состава.

На рис. 1 представлен график зависимости вероятности поражения людей ( $P$ ) от уровня концентрации хлора и его токсическое воздействие в зоне аварии на протяжении 30 минут. Вероятность поражения людей с летальным исходом через указанное время при концентрации хлора 50 мг/м<sup>3</sup> составит 22,85%, при концентрации 100 мг/м<sup>3</sup> – 70,25% и при концентрации 200 мг/м<sup>3</sup> – 96,46%.

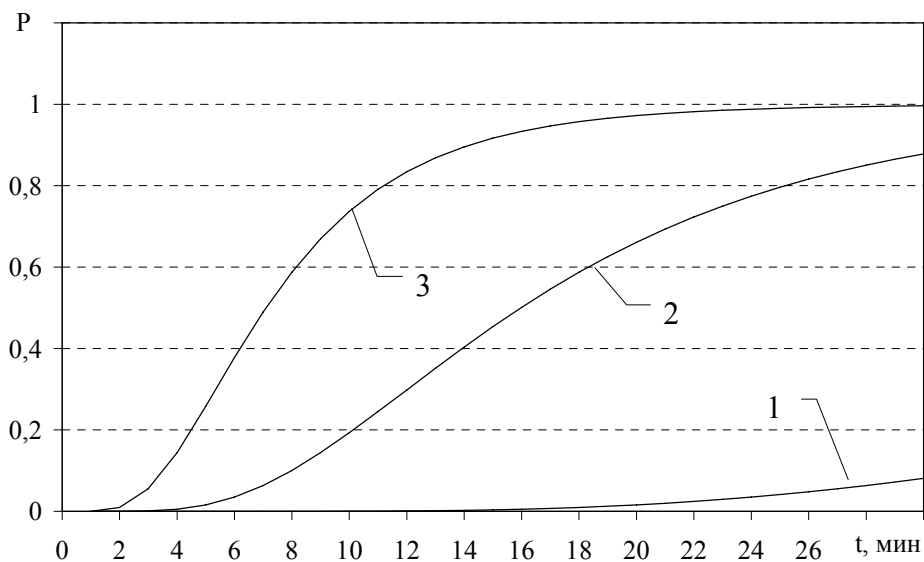
На рис. 2 представлен график зависимости вероятности поражения людей ( $P$ ) от уровня концентрации аммиака и его токсическое воздействие в зоне аварии на протяжении 30 минут. Вероятность поражения людей с летальным исходом через указанное время при концентрации аммиака 500 мг/м<sup>3</sup> составит 8,09%, при концентрации 1000 мг/м<sup>3</sup> – 87,81% и при концентрации 1500 мг/м<sup>3</sup> – 99,61%.

На рис. 3 представлен график зависимости вероятности поражения людей ( $P$ ) от уровня концентрации окиси углерода и его токсическое воздействие в зоне аварии на протяжении 30 минут. Вероятность поражения людей с летальным исходом через указанное время при концентрации окиси углерода 40 мг/м<sup>3</sup> составит

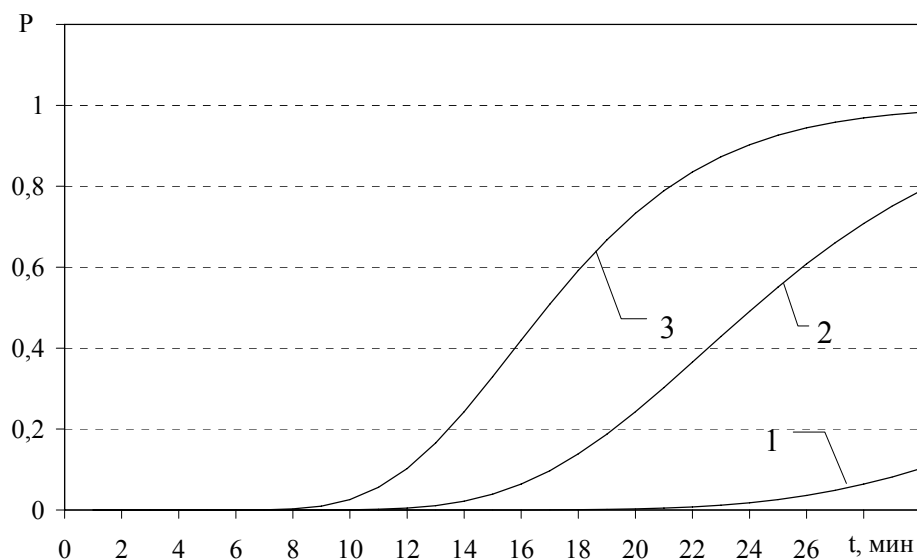
10,26%, при концентрації  $70 \text{ мг/м}^3$  – 78,92% и при концентрації  $100 \text{ мг/м}^3$  – 98,31%.



**Рис. 1 – Залежності ймовірності ураження людей від часу впливу хлору для різних концентрацій: 1 -  $50 \text{ мг/м}^3$ , 2 -  $100 \text{ мг/м}^3$ , 3 -  $200 \text{ мг/м}^3$**



**Рис. 2 – Залежності ймовірності ураження людей від часу впливу аміака для різних концентрацій: 1 -  $500 \text{ мг/м}^3$ , 2 -  $1000 \text{ мг/м}^3$ , 3 -  $1500 \text{ мг/м}^3$**



**Рис. 3 – Залежності ймовірності ураження людей від часу впливу окису вуглецю для різних концентрацій: 1 - 40 мг/м<sup>3</sup>, 2 - 70 мг/м<sup>3</sup>, 3 - 100 мг/м<sup>3</sup>**

Детальне дослідження побудованої моделі необхідно для рішення важкої задачі – визначення гранично допустимого часу перебування особистого складу, що бере участь у ліквідації аварії, в зоні проведення робіт.

**Висновки.** Представлена в цій роботі математична модель пробит-функції дозволяє визначати критичне час перебування людей в зоні аварії з впливом ХОВ в залежності від зміни їх концентрації. Головною особливістю побудованої моделі є можливість прогнозування часу евакуації людей з зони аварії, а також гранично допустимого часу роботи в зоні ліквідаторів при аваріях з різними хімічними речовинами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – 482 с.
2. Методики оценки последствий химических аварий на опасных производственных объектах. Сборник документов. Изд. 2-е испр. и доп. М.: Науч. техн. центр по безоп. в пром. и Ростехнадзора России, 2002. – 206 с.



3. Методика оценки последствий химических аварий (методика «Токси»). – М.: НТЦ «Пром. безопасность», 1993. – 19 с.
4. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. ПБ 09-540-03. Вып. 11.-М.: Науч. -техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. – 108 с.
5. Методика расчета распространения аварийных выбросов основанная на модели рассеивания тяжелого газа //Безопасность труда в промышленности. 2004. №9, С.38-42.
6. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
7. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Єсипенко А.Д., Жартовський В.М., Найверт О.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки.–Тернопіль: Видавництво Астон, 2005.–408 с.
8. Беленький М.А. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. Л.: Медгиз, 1963. – 152 с.

УДК 519.2.003.12:331.461.2

*Шматко А.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Малежик А.В., ад'юнкт, УГЗУ*

### **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

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

В работе предлагается использование вероятностно-детерминистических моделей для оценки последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на объектах химической промышленности. Исследование предложенных моделей позволит решать задачу оценки распространения внешних воздействий по структурным компонентам объекта, а также учесть влияние воздействия чрезвычайных ситуаций на качественное состояние элементов объекта

**Постановка проблемы.** Для сложных технических систем, к которым относятся объекты химической промышленности, акту-

Шматко А.В., Малежик А.В.

альной проблемой является достоверное и своевременное предвидение, прогнозирование и предотвращение чрезвычайных (ЧС) и других нежелательных ситуаций, которые могут привести к нештатному режиму, аварии, катастрофе или существенно повлиять на работоспособность, живучесть, безопасность, эффективность и др. свойства таких объектов. Возможность появления и результаты действий ЧС, условий и факторов определяется случайными и хаотическими процессами, которые по механизмам воздействия характеризуются, как риски.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Так как объекты химической промышленности относятся к системам, подверженным риску возникновения ЧС, то актуальным является разработка адекватных математических моделей, которые позволяют оценивать надежность системы в целом, прогнозировать ее поведение под влиянием поражающих факторов ЧС. Также актуальными является разработка методов повышения или сохранения сопротивляемости систем, функционирующих в условиях поражающих воздействий ЧС.

Моделирование поведения сложных систем позволяет исследовать особенности их функционирования в различных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск возникновения ЧС. Важнейшую роль в формальном представлении сложных систем играет структура — порядок межэлементных связей системы [1]. В последнее время для моделирования систем со сложной структурой используются методы теории взвешенных графов [2], что позволило обнаружить ряд эффектов самоорганизации в поведении систем и прийти к выводу, что от структуры системы зависит ее живучесть. В этих условиях, важно прогнозировать какие именно изменения в структуре приведут к улучшению или ухудшению параметров функционирования объекта.

Как отмечается в работах В. Маршалла, Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото, Н.П. Бусленко, П.Г. Белова и др. авторов, использование вероятностных оценок риска для анализа состояния безопасности объекта — одно из наиболее дискуссионных направлений в теории безопасности. Нормативные документы [4] рекомендуют с осторожностью относиться к применению количественных показателей риска в качестве критериев безопасности, учитывая сложность рассматриваемых объектов и большую неопределенность используемой для расчетов информации [5, 6, 7]. Вместе с тем, такие пока-

затели используются в качестве нормируемых критериев пожарной безопасности [8, 9].

**Постановка задачи и ее решение.** Рассмотрим проблему с точки зрения теории самоорганизации — синергетики [10] и теории управления рисками [11]. В математической модели исследуемой системы должны быть представлены основные элементы, по поведению, качеству, эффективности функционирования которых можно достоверно судить о всей системе. В терминах синергетики это параметры порядка моделируемого объекта. Такой подход в исследованиях, без детального представления сложных систем, процессов и явлений в них протекающих, принято называть системным синтезом [12]. Результативность использования данного подхода подтверждается работами Т.С. Ахромеева, В.В. Кульбы, С.П. Курдюмова, Д.А. Кононова, Г.Г. Малинецкого, А.А. Самарского, А.Н. Шубина и др.

В данной работе, исследуемую систему, предлагается представлять в виде графа, а внешнее воздействие в виде импульсного воздействия.

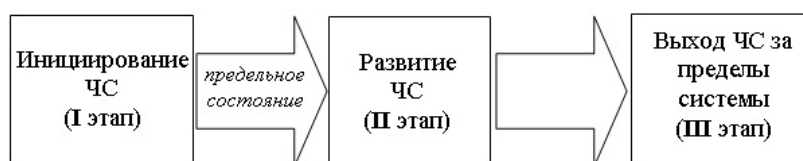
С точки зрения концепции безопасности, всякую сложную техническую систему следует изучать с трех основных позиций: *надежности системы, живучести системы, и ее безопасности*. Каждая из этих позиций по-разному описывает связь и взаимодействие системы с окружающей ее средой. Исследование перечисленных свойств системы позволяет уменьшить риск возникновения ЧС (бедствий, аварий и катастроф).

Техническая система, рассматриваемая в работе, подвержена воздействиям ЧС природного или техногенного характера. К техногенным воздействиям также можно отнести воздействия, вызываемые умышленными действиями человека. Во многих случаях при создании сложных технических систем, в настоящее время приходится принимать во внимание возможность осуществления террористических актов.

В зависимости от интенсивности и мощности рассматривают нормативные (проектные) и экстремальные (сверхнормативные) нагрузки.

Использование критериев живучести и надежности позволяют оценить риск возникновения ЧС при эксплуатации сложных технических систем, что, в свою очередь, позволяет обеспечить безопасность систем при ЧС или наделить систему необходимыми качественными характеристиками, не допускающими возникно-

вения ЧС. В схеме развития ЧС (рис. 1) *надежность* и *живучесть* описывают переход от первого этапа ЧС ко второму. Оценка живучести системы предполагает тщательное описание поведения систем (в отличие от надежности) при имеющихся внешних воздействиях на систему, как в докритической области (до ЧС), так и в за-критической (при развитии ЧС), когда система функционирует, достигнув предельного состояния. Третий этап предполагает изучение возможных последствий ЧС на окружающую среду и лежит в области обеспечения *безопасности* систем.



**Рис. 1 – Схема развития чрезвычайных ситуаций**

Во многих случаях сложность системы определяется сложностью ее структуры. Для рассматриваемых технических систем исследование инициирования ЧС (I этап схемы, представленной на рис. 1) внешними воздействиями имеет особое значение. Важно представлять, как от структуры системы зависит достижение системой предельного состояния (критического уровня), за чертой которого риск возникновения ЧС резко возрастает.

В рамках модели, предлагаемой в настоящей работе, сложная техническая система считается подвергнутой влиянию внешних воздействий. Это соответствует попаданию системы в ЧС природного или техногенного характера, т.е. под влияние непредусмотренных при проектировании системы, экстремальных нагрузок, имеющих также внезапный характер. В основе модели лежит формально представленная структура системы, что позволяет детально воспроизвести все возможные варианты распространения внешних воздействий по элементам системы. Модель при заданных нагрузках на некоторое множество элементов системы, вызываемых различными внешними воздействиями, определяет темп и сроки достижения системой предельного состояния.

Для всякого конечного графа будем использовать обозначение

$$G = (V, E), \quad (1)$$

где  $V = \{v_i\}, i = 1, n$  – множество вершин, а  $E = \{e = (v, u)\}$  — множество его ребер [13].

Распространения воздействия от одного элемента системы к другому, на графе системы будем задавать *ориентированным ребром* — ребром с определенными началом и концом.

На орграфе системы для вершины  $v_i \in V, i \in \{1, 2, \dots, n\}$  ее весом есть величина  $w_i(t) = P_{v_i}(t < T)$ , которая характеризует надежность элемента системы. Весом дуги  $(v_i, v_j) \in E$  есть величина

$$w(v_i, v_j) = \varepsilon_{ij}, j \in \{1, 2, \dots, n\}, i \neq j. \quad (2)$$

Число  $0 < \varepsilon_{ij} < 1$ , со знаком “+”, является долей передаваемого воздействия, сохранившегося при переходе от вершины  $v_i$  к вершине  $v_j$ .

Процесс изменения весов вершин графа системы можно отразить следующим правилом, называемым *импульсным воздействием*. Импульсное воздействие определяется *импульсом*  $imp_j(t), j \in \{1, 2, \dots, n\}$  в дискретном времени  $t=0, 1, 2, 3, \dots$ , который задается отношением

$$imp_j(t) = w_j(t) / w_j(t-1), \text{ при } t > 0. \quad (3)$$

Тогда для  $t \geq 0$  для  $i$ -ой вершины графа  $G$  определим импульсные воздействия

$$w_i(t+1) = w_i(t) \prod_{k=1}^{\deg v_i} \varepsilon_{ji} imp_j(t), \quad (4)$$

или

$$imp_j(t+1) = \prod_{k=1}^{\deg v_i} \varepsilon_{ji} imp_j(t), \quad (5)$$

полагая при этом, что  $\deg v_i$  – число входящих в вершину  $v_i$  дуг.

Формулы (3), (4) и (5) задают изменения весов вершин графа  $G=(V, E)$ , тем самым, определяя динамику распространения внешних воздействий по системе.

Автономное импульсное воздействие на взвешенном орграфе  $G$  определим по правилу (3) с вектором начальных значений

$$W(0) = (w_1(0), w_2(0), \dots, w_n(0))$$

и вектором импульсов

$$\text{Im } p(0) = (\text{imp}_1(0), \text{imp}_2(0), \dots, \text{imp}_n(0)). \quad (6)$$

Автономное импульсное воздействие в паре с вектором начальных значений описывает состояние системы в начальный момент времени, когда под влияние внешних поражающих воздействий попадают все или часть элементов системы.

Автономное импульсное воздействие, в котором вектор  $\text{Im } p(0) = (1, 1, \text{imp}_i(0), \dots, 1)$ ,  $p_i(0) > 0$ , имеет только  $i$ -тую отличную от единицы компоненту, назовем *простым воздействием с начальной вершиной*  $v_i \in V$ . Простое импульсное воздействие описывает состояние системы в начальный момент времени, когда внешнее воздействие поражает один из элементов системы — тот, который соответствует  $i$ -ой вершине графа системы.

В соответствии с описанным импульсным воздействием на орграфе, можно ввести различные критерии (признаки) достижения системой предельного состояния. К примеру, можно считать, что система находится в предельном состоянии, если надежность одного или нескольких наиболее значимых элементов системы ниже некоторого допустимого уровня. Этот уровень будем называть *критическим уровнем* надежности элемента. Введенный критерий четко разделяет докритическое и закритическое состояние элемента системы. Если надежность элемента ниже критического уровня, то элемент не в состоянии функционировать требуемое время с требуемым качеством.

Представление исследуемой системы в виде взвешенного по правилу (2) графа  $G=(V,E)$  и формализация внешнего влияния на систему как автономного импульсного воздействия (3)–(6) определяет *модель распространения поражающих воздействий ЧС по системе*.

Детальное исследование построенной модели необходимо для решения важной задачи, которая сводится к ответу на вопрос,

как внешнее воздействие распространяется по структуре системы и влияет на качественное состояние ее элементов.

**Выводы.** Предложенная в настоящей работе математическая модель распространения внешних воздействий по системе позволяет объяснить ряд явлений, наблюдаемых в сложных технических системах при попадании их в аварийную ситуацию. Существенной особенностью построенной модели является возможность выхода из строя наиболее надежных элементов при распространении импульсных воздействий по системе. Этот факт красноречиво подчеркивает прямую зависимость надежности элемента от его положения в структуре, а также зависимость живучести всей системы от выбранной структуры при проектировании.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
2. Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. - М.: СИНТЕГ, 2004. - 296 с.
3. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.
4. РД 08-120-96. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов (утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 12.07.96 N 29).
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. – 356 с.
6. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. - М.: АНВИК, 1998. - 427 с.
7. Анализ риска и его нормативное обеспечение / В.Ф. Мартынюк, М.В. Лисанов, Е.В. Кловач, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. - 1995. - N 11. - С. 55-62.
8. ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
9. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. Владимиров В.А., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г, Махутов Н.А. и др. Управление риском. – М.: Наука, 2000. – 230 с.

11. Новое в синергетике: взгляд в третье тысячелетие / Под ред. Малинецкого Г.Г., Курдюмова С.П. - М.: Наука, 2002. -480 с.
12. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. - М.: Наука, 1992. – 320 с.
13. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. - М.: Наука, 1990. – 384 с.



**АННОТАЦИИ**

*Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Шаршанов А.Я.*  
**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ (НА ПРИМЕРЕ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ)**

Рассмотрена локализация чрезвычайной ситуации – крупного пожара с помощью гелеобразующих составов. На основании оценки лучистого теплового потока определена ширина огнезащитной полосы, предотвращающей распространение пожара. Оценены расходы воды и огнетушащих гелеобразующих составов на локализацию линейного участка пожара

*Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А.*  
**ФОРМИРОВАНИЕ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Предложена аналитическая математическая модель поверхности, которая строится на основе повторной интерполяции на регулярной сетке по линиям уровня в виде бикубических сплайнов. Предложенная модель позволяет получать поверхности рельефа, концентрации химических и радиоактивных веществ в виде всюду гладкой функции двух переменных

*Азаров С.И., Таранон Г.А., Сидоренко В.Л.*  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫБРОСА РАДИОАКТИВНОСТИ ПРИ АВАРИИ И ПОЖАРЕ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

Представлена физико-математическая модель расчетов величины выброса радиоактивности и концентрации радионуклидов в воздухе в ближней зоне в первые дни аварии на 4-м блоке ЧАЭС

*Баранов А.Н., Морозов А.И.*  
**ПОВЫШЕНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОМОЛЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В МЕЛЬНИЦАХ БАРАБАННОГО ТИПА**

Разработаны методы повышения взрывобезопасности при помоле твердого топлива в мельницах барабанного типа на базе исключения взрывоопасной концентрации угольной пыли. Обоснована необходимость контроля гранулометрии угля подаваемого на помол и соответствующей настройки сепараторов при помоле в замкнутом цикле

**ABSTRACTS**

*Abramov Yu.A., Kireev A.A., Sharshanov A.Ya.*  
**EMERGENCIES LOCALIZATION BY GEL-FORMING COMPOSITIONS (ON EXAMPLE OF LARGE FIRES)**

Localization of emergency – large fire by gel-forming compositions is considered. On the basis of estimation of radiant thermal stream the width of fireproof bar, preventing distribution of fire is certain. The charges of water and extinguishing of gel-forming compositions are appraised on localization of linear area of fire

*Abramov Yu.A., Tarasenko A.A.*  
**A PRIORI INFORMATION FORMING FOR THE SYSTEM OF LIQUIDATION OF EMERGENCIES CONSEQUENCES**

The analytical mathematical model of surface which is built on the basis of the repeated interpolation on a regular net on the lines of level as bicubic splines is offered. The offered model allows to get relief surfaces, concentrations of chemical and radio-active matters as an everywhere smooth function two variables

*Azarov S.I., Tarapon G.A., Sidorenko V.L.*  
**THE RADIO-ACTIVITY EMISSION SIMULATION AT ACCIDENT AND FIRE ON CHERNOBYL'SKAYA NPP**

The physico-mathematical model of calculations of size of the emission of radioactivity and concentration of radionuclides is presented in mid air in a near area in the first days of accident on the 4th block of ChNPP

*Baranov A.N., Morozov A.I.*  
**EXPLOSION SAFETY INCREASE AT HARD FUEL GRADE IN MILLS OF DRUM TYPE**

The methods of explosion safety increase are developed at the grade of hard fuel in the mills of drum type on the base of exception of explosive concentration of braize. The necessity of control of granulometry of coal is grounded given on a grade and the proper tuning of separators at a grade in the reserved loop

*Барбашин В.В., Чижов В.Ф., Пономарь В.В.,  
Силенко Р.М.*

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ  
ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ  
РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АТОМНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Рассмотрены специфические виды риска эксплуатации ядерных энергоблоков в сравнении с другими энергетическими установками. Проведен анализ возможных причин их возникновения и предложены пути их предотвращения

*Гузенко В.А., Неклонский И.М.*

**ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ  
ОТДЕЛЬНЫХ ПЛАНОВ  
РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ  
СИТУАЦИИ, ВОЗНИКШИЕ  
ВСЛЕДСТВИЕ ПОЖАРОВ И ВЗРЫВОВ  
БОЕПРИПАСОВ, В СОВРЕМЕННЫХ  
УСЛОВИЯХ**

Рассмотрена методика оценки влияния взрыва на людей и объекты во время разработки и реализации отдельных планов реагирования на чрезвычайные ситуации, связанные с пожарами и взрывами боеприпасов

*Квитковский Ю.В.*

**УЧЕТ ДЕЙСТВИЯ ЛОКАЛЬНОГО  
УДАРА НА НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ  
СООРУЖЕНИЙ ГРАЖДАНСКОЙ  
ОБОРОНЫ**

В статье приведена общая методика расчета конструкций защитных сооружений гражданской обороны на локальное действие удара. Даются рекомендации по использованию указанной методики при проектировании сооружений гражданской защиты

*Кирочкин А.Ю., Мурин М.М., Тютюник В.В.,  
Шевченко Р.И.*

**ОЦЕНКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ  
МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКИ  
ОПАСНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ И  
РЕГИОНОВ УКРАИНЫ**

Проведена оценка возможности применения многокритериальной методики анализа химически опасного состояния объектов и регионов Украины, основывающейся на использовании комбинированного метода прогнозирования. Определена общая погрешность метода. Разработан прогноз изменения общего химически опасного состояния Украины на начало 2008 года

*Barbashin V.V., Chizhov V.F., Ponomar' V.V.,  
Silenko R.M.*

**SOME ASPECTS OF PROBLEM OF  
INCREASE OF THE RADIATION  
STRENGTH SECURITY AT NUCLEAR  
POWER PLANTS OPERATION**

The specific types of risk of exploitation of nuclear power units are considered by comparison to other power plants. The analysis of possible reasons of their origin is conducted and the ways of their prevention are offered

*Guzenko V.A., Neklonskiy I.M.*

**DEVELOPMENT FEATURES OF  
SEPARATE PLANS OF REACTING ON  
EMERGENCIES, ARISING BECAUSE OF  
AMMUNITIONS FIRES AND  
EXPLOSIONS, IN MODERN TERMS**

The method of estimation of influence of explosion is considered on people and objects during development and realization of separate plans of reacting on extraordinary situations, related to the fires and explosions of live ammunitions

*Kvitkovskiy Yu.V.*

**ACCOUNT OF ACTION OF LOCAL BLOW  
ON BEARING CONSTRUCTIONS OF  
BUILDINGS OF CIVIL DEFENCE**

In the article the general method of calculation of constructions of protective buildings of civil defensive is resulted on the local action of blow. Given recommendations on the use of the indicated method of civil defence engineering

*Kirochkin A.Yu., Murin M.M., Tyutyunik V.V.,  
Shevchenko R.I.*

**ESTIMATION OF MULTICRITERION  
METHOD OF CHEMICALLY DANGEROUS  
STATE ANALYSIS OF OBJECTS AND  
REGIONS OF UKRAINE**

An estimation is conducted of possibility of application of multicriterion method of analysis chemically dangerous state of objects and regions of Ukraine, based on the use of the combined method of prognostication. The general error of method is certain. The prognosis of change of the general chemically dangerous state of Ukraine is developed on beginning of 2008

*Квитковский Ю.В., Малярчук О.П.*

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕСУЩИХ  
КОНСТРУКЦИЙ ГРАЖДАНСКОЙ  
ОБОРОНЫ НА ОБЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ  
УДАРА ПОСТОРОННЕГО ТЕЛА**

В статье приведена методика расчета конструкций защитных сооружений гражданской обороны на общее действие удара постороннего тела. Даются рекомендации по использованию указанной методики при проектировании сооружений гражданской защиты

*Kvitkovskiy Yu.V., Malyarchuk O.P.*

**METHOD OF CALCULATION OF  
BEARING CONSTRUCTIONS OF CIVIL  
DEFENCE ON GENERAL ACTION OF  
BLOW OF EXTRANEIOUS BODY**

In the article the method of calculation of constructions of protective buildings of civil defensive is resulted on the general action of blow of extraneous body. Given recommendations on the use of the indicated method of civil defence engineering

*Комяк В.М., Соболев А.Н., Коссе А.Г.*

**РАЦИОНАЛЬНОЕ РАЗБИЕНИЕ  
ГОРОДА НА РАЙОНЫ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ**

В работе приведено моделирование рационального разбиения территории города на районы функционирования защитных сооружений в зависимости от заданного времени прибытия населения в укрытия

*Komyak V.M., Sobol' A.N., Kosse A.G.*

**RATIONAL CITY PARTITION ON  
DISTRICTS OF FUNCTIONING OF  
PROTECTIVE BUILDINGS**

The design of the rational breaking up of territory of city is in-process resulted on the districts of functioning of protective buildings depending on the set arrival of population time in shelters

*Крайнюк Е.В., Буц Ю.В.*

**ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ  
СОЕДИНЕНИЯМИ СВИНЦА ПОЧВ  
ГОРОДА ХАРЬКОВА**

Проанализирован уровень аккумуляции и характер дифференциации соединений свинца на территории города. Установлена специфика и оценен вклад техногенных источников в загрязнение почв урбанизированной территории. Дана обоснованная оценка эколого-гигиенической ситуации по загрязнению соединениями свинца на территории Харькова

*Kraynyuk E.V., Buts Yu.V.*

**TECHNOGENIC CONTAMINATION WITH  
LEAD COMPOUNDS OF SOILS OF CITY  
OF KHARKOV**

The level of accumulation and character of differentiation of lead compounds is analysed on territory of city. A specific is set and the contribution of technogenic sources is appraised to contamination of soils of the urbanized territory. The grounded estimation of environmental-hygienic situation is given on contamination lead compounds on territory of Kharkov

*Метелев А.В., Вандер К.А., Фесенко Г.В.,  
Ромин А.В.*

**ОЦЕНКА САНИТАРНЫХ ПОТЕРЬ  
НАСЕЛЕНИЯ В ЭПИДЕМИЧЕСКИХ  
ОЧАГАХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
ПРИ СОВЕРШЕНИИ  
БИОЛОГИЧЕСКОГО  
ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО АКТА**

Рассмотрен порядок оценки санитарных потерь населения в эпидемических очагах чрезвычайных ситуаций, обусловленных применением террористами в качестве биологических агентов легочной чумы, сибирской язвы, туляремии, холеры, бруцеллеза и дифтерии. Показана возможность снижения санитарных потерь за счет улучшения санитарно-противоэпидемической подготовки населения

*Metelev A.V., Vander K.A., Fesenko G.V.,  
Romin A.V.*

**ESTIMATION OF SANITARY LOSSES OF  
POPULATION IN SICK AREAS OF  
EMERGENCIES AT FULFILMENT OF  
BIOLOGICAL ACT OF TERRORISM**

An order is considered of estimation of sanitary losses of population in the sick areas of emergencies, conditioned application terrorists as biological agents of pulmonary plague, anthrax, rabbit-fever, cholera, brucellosis and diphtheria. Possibility of decline of sanitary losses is rotined due to the improvement of sanitary-disease preparation of population

*Кустов М.В., Калугин В.Д.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСТИННЫХ  
РАСТВОРОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

На основе теории планирования экспериментов разработана методика проведения экспериментов по установлению физико-химических параметров истинных растворов и построены модели зависимостей физико-химических параметров истинных растворов от концентрации добавки и температуры

*Попов И.И., Толкунов И.А., Пономарь В.В.*  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ УЛУЧШЕНИЯ  
КАЧЕСТВА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ  
СЛУЖЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ ОРГАНОВ И  
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС УКРАИНЫ**

Проведен анализ условий обитаемости служебных помещений и сооружений органов и подразделений МЧС Украины и рассмотрены процессы формирования в закрытых помещениях полей загрязнений. Показаны возможные пути улучшения условий выполнения работ на объектах МЧС Украины

*Прохач Э.Е., Михальская Л.Л., Попов Н.П.*  
**МЕТОД РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ  
ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ФАКЕЛЕ  
ВЫБРОСОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ  
УСТАНОВОК ПО НЕЙТРАЛИЗАЦИИ  
ВЫСОКОТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ  
ВЕЩЕСТВ**

Предложен метод расчета концентрации вредных примесей в атмосфере при отработке установок, в факеле выбросов которых могут содержаться высокотоксичные вещества. Метод обеспечивает априорную оценку необходимых при проведении испытаний размеров санитарной зоны при местных метеорологических условиях

*Садковой В.П.*

**ВЫБОР МОДЕЛИ ОБЪЕКТА  
УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ  
ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Решена задача идентификации математической модели объекта управления в системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера

*Kustov M.V., Kalugin V.D.*

**RESEARCH OF EFFICIENCY OF THE  
USE OF SOLUTIDES AT LIQUIDATION  
OF EMERGENCIES**

On the basis of theory of planning of experiments the method of leadthrough of experiments is developed on establishment of physical and chemical parameters of solutides and the models of dependences of physical and chemical parameters of solutides are built from the concentration of addition and temperature

*Popov I.I., Tolkunov I.A., Ponomar' V.V.*

**RESEARCH OF WAYS OF  
IMPROVEMENT OF QUALITY OF  
ENVIRONMENT OF OFFICIAL  
APARTMENTS AND BUILDINGS OF  
BODIES AND DEPARTMENTS OF  
MINISTRY OF EMERGENCY OF  
UKRAINE**

The analysis of terms of inhabited of official apartments and buildings of organs and subdivisions of ministry of emergency of Ukraine is conducted and the processes of forming in the closed apartments of the fields of contaminations are considered. The possible ways of improvement of terms of implementation of works are rotined on the objects of ministry of emergency of Ukraine

*Prokhach E.Ye., Mikhal'skaya L.L., Popov N.P.*  
**CALCULATION METHOD OF  
CONCENTRATION OF HARMFUL SUB-  
STANCES IN TORCH OF EMISSIONS AT  
TRAINING OF OPTIONS ON  
NEUTRALIZATION OF HIGH-TOXIC  
CHEMICAL SUBSTANCES**

The method of calculation of concentration of harmful admixtures is offered in an atmosphere at working off options, in the torch of extrass of which there can be high-toxic matters. A method provides a priori estimation of necessary during testing sizes of sanitary area at local meteorological conditions

*Sadkovoï V.P.*

**A MANAGEMENT OBJECT MODEL  
CHOICE IN SYSTEM OF WEAKENING OF  
CONSEQUENCES OF EMERGENCIES**

The task of authentication of mathematical model of management object is decided in the system of weakening of consequences of emergencies of technogenic character

*Созник А.П., Горносталь С.А.*

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ  
АЭРОБНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ  
ОЧИСТКИ**

Рассмотрены основные математические модели, описывающие процессы, происходящие в аэробных сооружениях биологической очистки

*Sozник A.P., Gornostal' S.A.*

**ANALYSIS OF EXISTENT MODELS OF  
AEROBIC BIOSCRUBBING**

Basic mathematical models, describing processes, what be going on in aerobic buildings of bioscrubbing, are considered

*Стрелец В.М., Ковалев П.А., Нередков Р.А.*

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВАРИЙНО-  
СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Впервые показано, что распределения времен проведения работ с использованием специализированной аварийно-спасательной техники характеризуются нормальным законом, если при рассмотрении технологических процессов исключить результаты, существенно отличающиеся от остальных в выборке. При этом отмечена целесообразность их учета, когда необходимо получить прогнозные оценки

*Strelets V.M., Kovalev P.A., Neredkov R.A.*

**REGULARITIES OF THE USE OF CRASH  
EQUIPMENT**

It is first rotined that distributing of times of leadthrough of works with the use of the specialized crash equipment is characterized a normal law, if at consideration of technological processes to eliminate results, substantially different from other in a selection. Expedience of their account is thus marked, when it is necessary to get prognosis estimations

*Третьяков О.В.*

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
УСТАНОВОК**

Разработана модель образования карбонатно-кальциевой накипи, дающая не только надежный прогноз развития процесса, а и возможность управления им за счет воздействия на параметры водно-химического режима, чем обеспечивает повышение безопасности эксплуатации теплообменного оборудования

*Tret'yakov O.V.*

**INCREASE OF SAFETY OF  
EXPLOITATION OF HEAT-EXCHANGE  
EQUIPMENT OF POWER PLANTS**

The model of formation of carbonate-calcium scum, giving the reliable prognosis of development of process not only, is developed, and and management possibility by him due to affecting parameters of the water-chemical mode, what provides the increase of safety of exploitation of heat-exchange equipment

*Шматко А.В., Говаленков С.С.*

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОБИТ-ФУНКЦИИ  
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ВОЗМОЖНОГО ПОРАЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ  
ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ  
ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ**

В работе предлагается использование пробит-функции для определения вероятности поражения личного состава при авариях на химически опасных объектах, связанных с выбросом или проливом химически опасных веществ. Исследование предложенных моделей позволит решать задачу оценки предельно допустимых значений концентраций химических веществ, а также определить предельно допустимое время нахождения личного состава, участвующего при ликвидации аварии в зоне проведения работ

*Shmatko A.V., Govalenkov S.S.*

**APPLICATION OF PROBIT FUNCTION  
FOR PROGNOSTICATION OF POSSIBLE  
DEFEAT OF PEOPLE AT FAILURES ON  
CHEMICALLY DANGEROUS OBJECTS**

The use of probit function is in-process offered for determination of defeat of personnel probability at failures on chemically dangerous objects, related to the emission or spillage chemically hazardous substances. Research of the offered models will allow to decide the task of estimation maximum legitimate values of concentrations of chemical substances, and also to define possible time of finding of personnel, participating at liquidation of failure in the area of leadthrough of works is maximum

*Третьяков О.В., Андронов В.А.*

**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ПИТЬЕВОЙ  
ВОДОЙ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ В СОВРЕМЕННЫХ  
УСЛОВИЯХ**

Определены основные причины ухудшения качества питьевой воды при использовании воды поверхностных источников как исходной в системах с традиционной схемой водоподготовки. Разработаны рекомендации по устранению этих недостатков, улучшению качества питьевой воды без существенных изменений в существующих системах подготовки питьевой воды

*Третьяков О.В., Андронов В.А., Малютин М.М.*

**НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ  
НАДЕЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ОПАСНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА  
НА ОБЪЕКТАХ КОКСО-ХИМИЧЕСКОГО  
И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО  
ПРОИЗВОДСТВ ПРИ ИХ ОДНО  
ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ РАЗМЕЩЕНИИ**

Рассмотрены причины необходимости повышения надежности оценки опасностей возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на коксохимических и металлургических предприятиях при их одно-территориальном размещении с учетом синергизма опасных химических и физических факторов. Сформулирована задача и выбраны направления научных исследований для обеспечения надежного прогноза и избежания таких чрезвычайных ситуаций

*Шматко А.В., Малезжик А.В.*

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-  
ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ  
НА ОБЪЕКТАХ ХИМИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В работе предлагается использование вероятностно-детерминистических моделей для оценки последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на объектах химической промышленности. Исследование предложенных моделей позволит решать задачу оценки распространения внешних воздействий по структурным компонентам объекта, а также учесть влияние воздействия чрезвычайных ситуаций на качественное состояние элементов объекта

*Tret'yakov O.V., Andronov V.A.*

**PREVENTION OF POOR DRINKING  
WATER SUPPLY FROM SURFACE  
SOURCES IN MODERN TERMS**

Principal reasons of worsening of quality of drinking-water are certain at the use of water of superficial sources as initial in the systems with the traditional chart of water conditioning. Developed recommendation on the removal of these failings, to the improvement of quality of drinking water without substantial changes in the existent systems of preparation of drinking water

*Tret'yakov O.V., Andronov V.A., Malyutin M.M.*

**DIRECTIONS OF INCREASE  
RELIABILITY OF PROGNOSTICATION  
OF DANGERS OF OCCURRENCE OF  
EMERGENCIES OF TECHNOGENIC  
CHARACTER ON OBJECTS OF  
CHEMICAL-RECOVERY AND  
METALLURGICAL PRODUCTIONS AT  
THEIR ONE TERRITORIAL PLACING**

Reasons of necessity of increase of reliability of estimation of dangers of origin of emergencies of technogenic character are considered on chemical-recovery and metallurgical enterprises at their one territorial placing taking into account synergism of dangerous chemical and physical factors. A task is formulated and directions of scientific researches are chosen for providing of reliable prognosis and avoidance of such emergencies

*Shmatko A.V., Malezhik A.V.*

**APPLICATION OF PROBABILISTIC-  
DETERMINISTIC MODEL FOR  
PROGNOSTICATION OF TECHNOGENIC  
FAILURES ON OBJECTS OF CHEMICAL  
INDUSTRY**

The use of probabilistic-deterministic models is in-process offered for the estimation of consequences of extraordinary situations of natural and technogenic character on the objects of chemical industry. Research of the offered models will allow to decide the task of estimation of distribution of external influences on the structural components of object, and also to take into account influence of influence of extraordinary situations on the high-quality state of elements of object

## ЗМІСТ

<b>Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Шаршанов А.Я.</b> Локализация чрезвычайных ситуаций с помощью геолообразующих составов (на примере крупных пожаров) .....	3	<b>Метелев А.В., Вандер К.А., Фесенко Г.В., Ромин А.В.</b> Оценка санитарных потерь населения в эпидемических очагах чрезвычайных ситуаций при совершении биологического террористического акта .....	94
<b>Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А.</b> Формирование априорной информации для системы ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций .....	11	<b>Попов И.И., Толкунов И.А., Пономарь В.В.</b> Исследование путей улучшения качества среды обитания служебных помещений и сооружений органов и подразделений МЧС Украины .....	100
<b>Азаров С.І., Тарапон Г.А., Сидоренко В.Л.</b> Моделювання викиду радіоактивності при аварії та пожежі на Чорнобильській АЕС.....	23	<b>Прохач Э.Е., Михальская Л.Л., Попов Н.П.</b> Метод расчета концентрации вредных веществ в факеле выбросов при отработке установок по нейтрализации высокотоксичных химических веществ .....	108
<b>Баранов А.Н., Морозов А.И.</b> Повышение взрывобезопасности при помоле твердого топлива в мельницах барабанного типа.....	29	<b>Садковой В.П.</b> Выбор модели объекта управления в системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций .....	115
<b>Барбашин В.В., Чижов В.Ф., Пономар В.В., Силенко Р.М.</b> Деякі аспекти проблеми підвищення рівня радіаційної безпеки при експлуатації атомних електростанцій.....	39	<b>Созник А.П., Горносталь С.А.</b> Анализ существующих моделей аэробной биологической очистки .....	121
<b>Гузенко В.А., Неклонський І.М.</b> Особливості розробки окремих планів реагування на надзвичайні ситуації, які виникли внаслідок пожеж та вибухів боєприпасів, в сучасних умовах.....	46	<b>Стрелец В.М., Ковалев П.А., Нередков Р.А.</b> Закономерности использования аварийно-спасательной техники .....	127
<b>Квітковський Ю.В.</b> Врахування дії локального удару на несучі конструкції споруд цивільної оборони .....	52	<b>Третьяков О.В.</b> Підвищення безпеки експлуатації теплообмінного обладнання енергетичних установок ...	133
<b>Квітковський Ю.В., Мальярчук О.П.</b> Методика розрахунку несучих конструкцій цивільної оборони на загальну дію удару стороннього тіла.....	58	<b>Третьяков О.В., Андронов В.А.</b> Запобігання водопостачання неякісної питної води з поверхневих джерел в сучасних умовах.....	142
<b>Кірючкін О.Ю., Мурін М.М., Тютюник В.В., Шевченко Р.І.</b> Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України .....	62	<b>Третьяков О.В., Андронов В.А., Малютін М.М.</b> Напрями підвищення надійності прогнозування небезпек виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах коксо-хімічного і металургійного виробництва при їх одно територіальному розташуванні....	148
<b>Комяк В.М., Соболев О.М., Коссе А.Г.</b> Раціональне розбиття міста на райони функціонування захисних споруд .....	74	<b>Шматко А.В., Говаленков С.С.</b> Применение пробит-функции для прогнозирования возможного поражения людей при авариях на химически опасных объектах.....	154
<b>Крайнюк О.В., Буц Ю.В.</b> Техногенне забруднення сполуками свинцю ґрунтів міста Харкова.....	79	<b>Шматко А.В., Малезжик А.В.</b> Применение вероятностно-детерминистической модели для прогнозирования техногенных аварий на объектах химической промышленности .....	160
<b>Кустов М.В., Калугін В.Д.</b> Дослідження ефективності використання істинних розчинів при ліквідації надзвичайних ситуацій.....	87		

*Наукове видання*

## **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 6

Відповідальний за випуск Ю.О. Абрамов

Технічні редактори Р.І. Шевченко, О.Ю. Кірючкін

---

Підписано до друку 26.10.2007

Ум.-друк. арк. 10,1

Вид. арк. 10,02

Формат паперу 60x84/16

Тир. 300

Зам. 380 – 2007

Ціна договірна

---

61023, Харків, вул. Чернишевського, 94

Електронна адреса: <http://arbu.edu.ua/rus/>

Типографія Університету цивільного захисту України