

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

УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Випуск 7

Зареєстрований Державним комітетом
телебачення і радіомовлення України

28 лютого 2006 року

Серія КВ № 11041

Затверджено до друку Вченою радою
УЦЗ України
(протокол № 9 від 17.03.2008 р.)

Харків 2008

УДК 331.101+351.861+351.861:514.18+355.77+504.056+504.75:658.567:611.24+546.41:226.04+[556.114:574.63](285.33)+614.8+614.84+621.3+628.387+641.8+697.953:537.56

Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України.
Вип. 7. – Харків: УЦЗУ, 2008. – 203 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. – 59, табл. – 16

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.

*Аветісян В.Г., нач. каф., УЦЗУ,
Тригуб В.В., канд. техн. наук, ст. викл., УЦЗУ*

ПРОГНОЗУВАННЯ КІЛЬКОСТІ РЯТУВАЛЬНИКІВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ НА ЗРУЙНОВАНИХ БУДИНКАХ

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

Показано підходи до визначення потрібних сил для проведення рятувальних робіт на зруйнованих будівлях

Постановка проблеми. Згідно [1] основна задача підрозділів МНС при ліквідації надзвичайних ситуацій, в тому числі і при руйнуванні будинків є рятування людей.

На даний час в Україні відсутня методика розрахунку сил та засобів необхідних для ліквідації надзвичайних ситуацій, що пов'язані з руйнуванням будівель та споруд.

Для визначення необхідних сил для проведення рятувальних робіт основними показниками є об'єм завалу, кількість постраждалих людей, яку, за винятком окремих випадків, встановити неможливо.

В основу математичних моделей прогнозування наслідків НС покладений причинно-наслідковий зв'язок двох процесів: впливу уражальних факторів на об'єкт та опору самого об'єкта цьому впливу. Обидва ці процеси носять чітко виражений випадковий характер. Ці вражаючі фактори з різною ймовірністю можуть приймати різні значення.

На ймовірність руйнування будинків буде впливати міцність матеріалів, відхилення будівельних елементів від проектних розмірів, розходження умов виготовлення елементів та інші фактори.

Поразка людей буде залежати як від перерахованих факторів, так і від ряду інших випадкових подій. Зокрема, від імовірності розміщення людей у зоні ризику, щільності розселення в будинку й імовірності поразки людей уламками при одержанні будинком того або іншого ступеня uszkodження.

Отже, для оцінки інженерної обстановки при впливі наслідків НС, необхідно застосовувати імовірнісний підхід. До основних факторів, що впливають на наслідки НС, можна віднести:

- інтенсивність впливу уражальних факторів;
- розміщення будівлі щодо осередку впливу;

- характеристики ґрунту;
- конструктивні рішення та міцність матеріалу будинку;
- щільність розселення людей у будинку;
- розміщення людей у будинку протягом доби.

Внаслідок цього актуальною є проблема визначення кількості сил (рятувальників) для проведення всього комплексу аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будівлях.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В попередніх дослідженнях докладно розглядаються питання, які стосуються прогнозування наслідків НС взагалі. Зокрема, в [2] розглядаються моделі впливу, які визначають поля уражальних факторів при прогнозуванні наслідків НС, закони руйнування будинків і споруд, а також ураження людей під якими розуміють залежність між імовірністю їх ушкодження та відстанню до будинку (споруди) або інтенсивністю прояву уражального фактора. Існуюча методика визначення обсягу завалів дозволяє визначити потрібну кількість сил та засобів для їхнього розбирання [3]. В публікаціях [4-6] запропоновано загальний перелік та послідовність рятувальних робіт на зруйнованих будівлях. Інший підхід до визначення необхідної кількості сил та засобів реалізовано в [8], де розглядається ймовірність ураження людей від ступеню пошкодження будівлі і час необхідний для їхнього рятування.

Постановка завдання та його вирішення. Існуючі методики розрахунку сил та засобів не охоплюють всього комплексу аварійно-рятувальних робіт, тому необхідно розробити концепцію методики розрахунку кількості рятувальників для проведення всього комплексу аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будівлях.

Обсяг завалів в осередку ураження є основним показником, що впливає на масштабність інженерно-рятувальних робіт. Площа, безпосередньо зайнята будовами (площа забудови), для площадки з координатами x, y складе

$$S_z(x, y) = \rho_b(x, y) \cdot \Delta x \cdot \Delta y, \quad (1)$$

де $\rho_b(x, y)$ – щільність забудови; $\Delta x, \Delta y$ – розміри ділянки забудови.

Об'єм забудови можна визначити з виразу

$$V_z(x, y) = H_b(x, y) \cdot \rho_b(x, y) \cdot \Delta x \cdot \Delta y, \quad (2)$$

де $H(x,y)$ – середня висота будинків для розглянутої ділянки.

Аналіз натурної інформації з характеру руйнування забудови в населених пунктах показав, що при повних руйнуваннях (ступінь руйнування (n)) будинки і споруди практично повністю перетворюються в уламки, утворюючи завали у вигляді обелісків. При руйнуванні будинків, споруд на один ступінь нижче повної (ступінь руйнування ($n-1$)) у розрахунках можна прийняти, що обсяг завалів буде становити приблизно 50% від обсягів завалів у випадку їхнього повного руйнування. Тоді обсяги завалів у межах елементарної площадки, при заданому значенні уражального фактору, можна обчислити за формулою [5]

$$W(x,y) = (0,5P_{n-1}(\Phi_3) + P_n(\Phi_3)) \cdot V_3 \cdot \gamma(x,y), \quad (3)$$

де $P_{n-1}(\Phi_3)$ і $P_n(\Phi_3)$ – імовірності одержання будинками $n-1$ -го і n -го ступеню руйнування при впливі уражального фактору інтенсивністю Φ_3 , які визначаються із закону руйнування; $\gamma(x,y)$ – питомий обсяг завалу.

Для орієнтовних розрахунків питомий обсяг завалу можна прийняти [5]: для промислових будинків, споруд $\gamma = 0,2$; для житлових будинків, споруд $\gamma = 0,4$.

Перелік операцій з витягання постраждалих надано в [4]. Він являє собою послідовне виконання наступних блоків: розвідка (розшук постраждалих); виготовлення доступу до постраждалого; визволення постраждалого і транспортування його до пункту надання допомоги. Кількість особового складу потрібного для виконання всіх операцій можна визначити як

$$N_{o/c} = \sum_{i=1}^m N_i, \quad (4)$$

де N_i – кількість сил та засобів потрібних для виконання i -ї операції.

Особливістю рятувальних робіт на зруйнованих будівлях є те, що збільшення часу їхнього проведення зменшує ефективність. Тобто люди, які знаходяться під уламками, можуть зберігати життєздатність досить обмежений час. Тому при розрахунках потрібно враховувати час проведення всього комплексу рятувальних робіт. За статистичними даними люди в залежності від стану організму, віку, пори року, характеру травм можуть зберігати життєздатність

Прогнозування кількості рятувальників для проведення робіт на зруйнованих будинках

в середньому від 10 до 72 годин. Приймаючи обмеження по часу виконання робіт, можна записати вираз щодо визначення сил для проведення рятувальних робіт в залежності від обсягу завалу у наступному остаточному вигляді

$$N_{o/c} = \frac{W(x, y) \cdot k \cdot \sum_{i=1}^m N_i}{\tau}, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт продуктивності одного рятувальника за зміну, рівний 1,8 чол. год./ м³; τ – час виконання всього комплексу рятувальних робіт, год.

Був проведений розрахунок кількості рятувальників, необхідної для проведення робіт на зруйнованих будинках. В якості розрахункового був прийнятий варіант, коли повністю зруйнувалася промисловий будинок розміром 10x10x5 м, щільністю забудови – 40 %. Кількість постраждалих в будівлі склала 5 чоловік. За існуючою методикою [8] та згідно табл. 1, кількість рятувальників складе

$$N_{o/c} = \frac{\Sigma}{10} = \frac{20 \cdot 5}{10} = 10 \text{ чоловік}, \quad (6)$$

де Σ – загальні затрати часу потрібного для надання допомоги ураженим.

Таблиця 1 – Попередня оцінка часу потрібного для надання допомоги ураженим

Форма руйнувань	Затрати часу на одного ураженого	Кількість уражених, чол.	Загальні затрати, чол.·год.
середні	2	n_1	$2n_1$
сильні	8	n_2	$8n_2$
повні	20	n_3	$20n_3$
Всього:			Σ

На рис. 1. представлені результати розрахунків при використанні формул (3), (4) та (5), тобто врахування об'єму завалу, а також проведення всього комплексу рятувальних робіт.

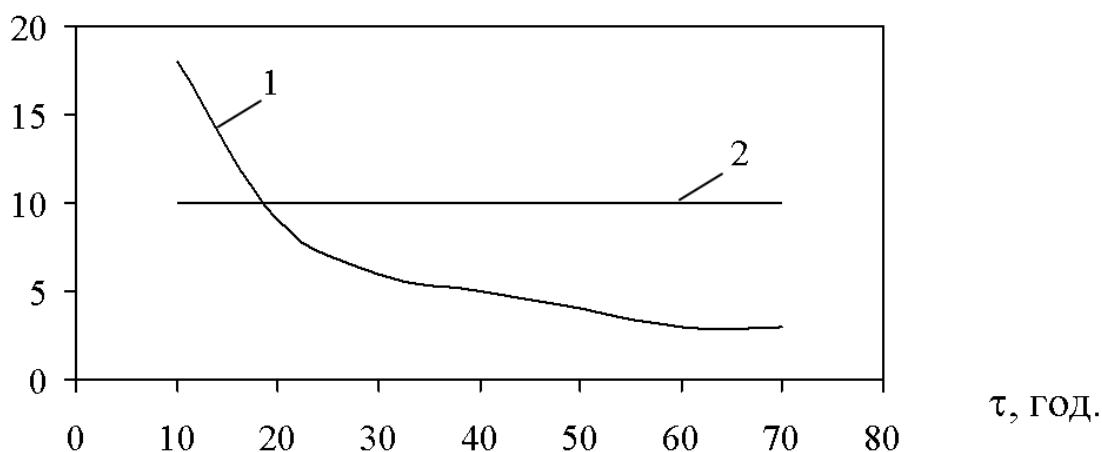


Рис. 1 – Залежність кількості рятувальників від часу виконання рятувальних робіт:

1 – крива, яка відповідає (3), (4), (5);

2 – крива, яка відповідає (6).

Аналізуючи залежності, представлені на рис. 1 можна сказати, що в початковий період рятувальних робіт (першу добу після руйнації) необхідно залучити більшу кількість особового складу ніж пропонує існуючий розрахунок [8]. Це пояснюється тим, що в цей період проводяться розвідка та розшук постраждалих, від якості та вчасності яких залежать життя людей.

Висновки. В роботі наведена більш гнучка методика щодо визначення сил для проведення рятувальних робіт, яка враховує весь комплекс аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будинках. Перспективним напрямком подальших досліджень є уточнення методики визначення потрібних засобів механізації аварійно-рятувальних робіт на зруйнованих будинках.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про правові засади цивільного захисту: Закон України / Верховна Рада України. Київ, 2004.
2. Ларионов В.И., Овсяник А.И., Чириков А.Г., Козлов М.А. Методика определения характера разрушения здания и параметров завалов при воздействии сейсмических нагрузок. - М.: ВИА, 1992. – 32с.
3. Каммерер Ю.Ю., Харкевич А.Е. Аварийные работы в очагах поражения. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

4. Аветисян В.Г., Адаменко Н.И., Александров В.Л. Рятувальні роботи під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Посібник. Київ.: Основа, 2006. – 239 с.
5. Дементьев С.В., Чумак С.П., Дурнев Р.А. Отчет по результатам натурных экспериментальных исследований по отработке технологий и способов ведения спасательных работ в условиях разрушенных зданий. - М.: ВНИИ ГОЧС, 1993.
6. Шахмарьян М.А. Научно-методические основы планирования использования аварийно-спасательных сил при разрушительных землетрясениях // ВИНТИ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - 1993. - Вып.7. – С.23-29.
7. Є.П.Міхно Ликвидация последствий аварий и стихийных бедствий. - М.: Атомиздат, 1979. – 288 с.
8. Аветисян В.Г., Дерев'янюк І.Г., Сенчихін Ю.М. Методичні вказівки для виконання контрольної роботи з організації аварійно-рятувальних робіт. – Харків:УЦЗУ, 2006. – 33 с.

УДК 504.75:658.567:611.24

*Азаров С.І., д-р техн. наук, ст. наук. співр., ІЯД НАНУ,
Сидоренко В.Л., ст. викл., ІДУСЦЗ УЦЗУ,
Сорокін Г.А., аспірант, ІЯД НАНУ*

**ОЦІНКА ВПЛИВУ ВНУТРІШНЬОГО ВИБУХУ ПОБУТОВОГО ГАЗУ
НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ БУДИНКІВ І СПОРУД**
(представлено д-ром фіз.-мат. наук Созніком О.П.)

В роботі проведено моделювання деформації будівельних конструкцій від вибухового ударного впливу

Постановка проблеми. Наслідки вибухів побутового газу за останній час у жилих домах в Україні (Дніпропетровськ, Львів, Кривий Ріг, Луганськ, Запоріжжя), Російській Федерації (Казань, Москва, Хабаровськ, Новокуйбишевськ), Грузії (Тбілісі), Іспанії (Барселона), інших державах показали, що вибух газоповітряної суміші усередині приміщення може мати велику руйнівну силу і приводити до людських втрат, великим матеріальним збиткам та набувати рівень надзвичайної ситуації. Тому проблема забезпечення міцності і надійності у першу чергу несучих будівельних

Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Сорокін Г.А.

конструкцій при дії вибуху усередині будинків і споруд є актуальною.

До будівельних балок висувається цілий ряд жорстких і суперечливих вимог (висока міцність і пружність, відносно мала вага та ін.). Ці вимоги диктують необхідність розробки нетрадиційних інженерних рішень, пов'язаних з розрахунком деформації балки при ударному впливі вибуху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час існують методи і методики розрахунків дії статичних і динамічних механічних навантажень на будівельні конструкції, але імпульсним (ударним) впливам, як, наприклад, аварійному внутрішньому вибуху побутового газу [1-3], приділяється мало уваги.

Основні дослідження з даного питання були спрямовані на рішення завдання в рамках лінійної теорії Тимошенка [4] методами, що забезпечують рішення завдань швидкісного деформування при імпульсному навантаженні. Однак, характер розвитку зон пластичної деформації при вибуховому навантаженні з урахуванням різних факторів, що супроводжує процес деформації в динаміці, досліджений недостатньо повно.

Постановка завдання та його вирішення. Метою дослідження є розв'язання задачі про несучу здатність балки при імпульсному навантаженні із застосуванням метода скінчених різниць (МСР), який є одним з найбільш простих методів розв'язання крайових задач.

Детальне вивчення цього питання вимагає спільного теоретико-експериментального дослідження.

Для балки постійного поперечного перерізу (рис. 1) диференціальне рівняння поперечних коливань з урахуванням сил опору, які пропорційні швидкості, при ударному навантаженні $P(x,t)$ по центру балки, можна подати у наступній формі [5]

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + A_0 L_0 \frac{\partial y}{\partial t} + A_0 E J \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = A_0 P(x,t) \quad (1)$$

Тут

$$A_0 = \frac{g_0}{S_0 Y_0}; \quad (2)$$

де x – координати перетину балки в горизонтальному напрямку; g_0 – прискорення сили, $\text{м}^2/\text{с}$; S_0 – площа поперечного перетину, м^2 ; γ_0 – вага одиниці об'єму балки, $\text{кг}/\text{м}^3$; $2L_0$ – довжина балки, м ; y – переміщення балки; EJ – жорсткість при зіткненні, кНм ; E – модуль пружності; J – момент інерції; $P(x,t)$ – інтенсивність ударного навантаження, $\text{кН}/\text{м}$.

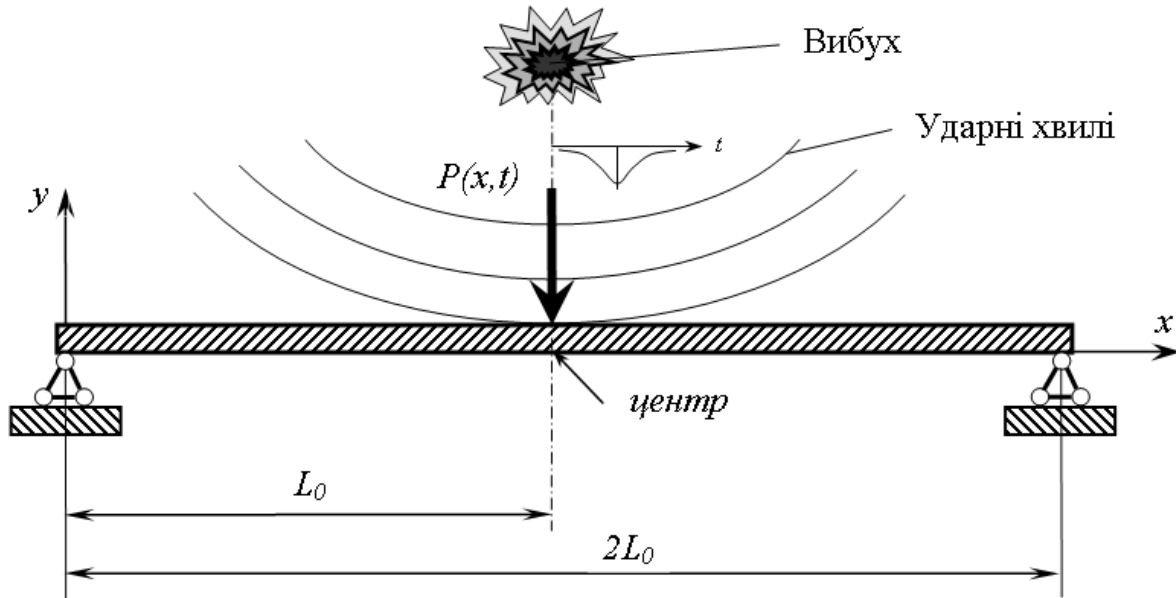


Рис. 1 – Розрахункова схема балки при імпульсному ударі

При використанні МСР диференційне рівняння у власних похідних (1) запишеться у вигляді [6]

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\tau^2} (y_{t+1,x} - 2y_{t,x} + y_{t-1,x}) + A_0 (y_{t+1,x} + y_{t-1,x}) + A_0 EJ \times \\ & \times (y_{t+2,x} - 4y_{t,x+1} + 6y_{t,x} - 4y_{t,x-1} + y_{t,x-2}) = A_0 P(x,t) \end{aligned} \quad (3)$$

Граничні умови

$$y_{t,0} = 0, \quad y_{t,L_0} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{1}{h^2} (y_{t,0+h} - 2y_{t,L_0} - y_{t,0-h}) = 0, \quad (5)$$

$$\frac{1}{h^2} (y_{t,L_0+h} - 2y_{t,L_0} + y_{t,L_0-h}) = 0, \quad (6)$$

де $x = 0 \dots L_0$; $t = 0 \dots T$; h – крок інтегрування у горизонтальному положенні; τ – крок інтегрування за часом.

Початкові умови: початкові переміщення та початкові швидкості дорівнюють нулю

$$y_{0,x} = 0, (y_{\tau,x} - y_{0,x})/\tau = V_0. \quad (7)$$

Моделювання деформації балки МСР здійснювалося за допомогою комп'ютерного програмного продукту [7] за такими даними: кількість точок – 100 шт., крок за часом $\tau = 10^{-6}$ с, час від початку імпульсного удару $t = 9,0 \times 10^{-5}$ с.

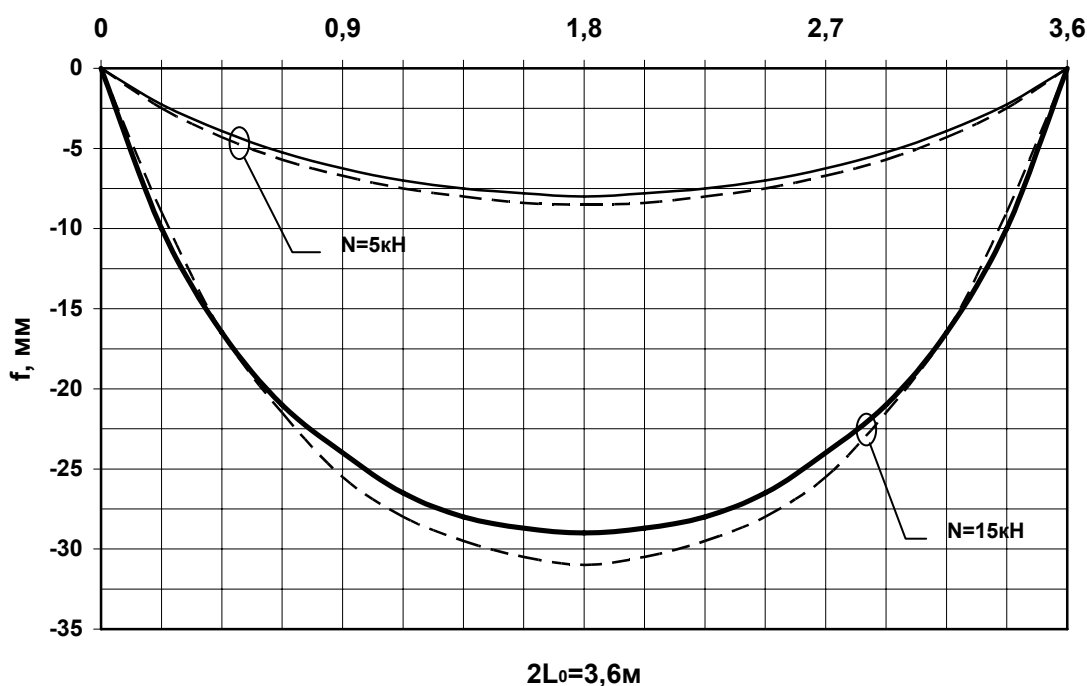


Рис. 2 – Криві прогинів експериментальні (суцільні) та розрахункові (штрихові)

Експериментальні дані по вертикальному переміщенню балки бралися з роботи [8]. Випробувалась однопрокатна двотаврова балка довжиною 3,6 м з двома нерухомими шарнірами. Балка виконана з прокатного двотавра № 10 із сталі марки ВспЗкп. Модуль пружності $E = 2 \times 10^{11}$ Н/м². Балка піддавалась динамічному навантаженню зосередженою силою 5 та 15 кН у середині прольоту. Результати порівняння показані на рис. 2, причому, як видно з

графіку, розрахункові і експериментальні дані відрізняються на 5-8 %.

Висновки. Таким чином можна зробити висновок, що моделювання деформації будівельних конструкцій від вибухового ударного впливу доцільно проводити МСР, який дає незначну похибку відносно експериментальних даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Азаров С.И., Сидоренко В.Л. Оценка взрывоопасности природного газа. – Коммунальное хозяйство городов / Азаров С.И., Сидоренко В.Л. – Х.: Техніка, 2004. – Вып. 60. – С. 275-278.
2. Азаров С.И., Сорокін Г.А., Сидоренко В.Л. Про розрахунок балки під діафрагмою при раптово прикладеному вибуховому імпульсі // Вісник національного технічного університету України "КПІ". Серія "Гірництво": Збірник наукових праць. – К.: НТУУ "КПІ": ЗАТ "Техновибух", 2006. – Вып. 14. – 137-142.
3. Сидоренко В.Л., Азаров С.И., Сорокін Г.А. Методика розрахунку несучої здатності балки при динамічному навантаженні // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2007. – Вып. 74. – С. 443-447.
4. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / Тимошенко С.П. – М.: Наука, 1967. – 449 с.
5. Тимошенко С.П. Курс теории упругости / Тимошенко С.П. – Киев, Наукова думка, 1972. – 507 с.
6. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности / Васидзу К. – М.: Мир, 1957. – 542 с.
7. Курбанова Е.Л. MATLAB 7: Самоучитель / Курбанова Е.Л. – М.: Диалектика, 2006. – 249 с.
8. Гоголь М.В., Гайда О.М. Експериментальне дослідження роботи балкових конструкцій з регулюванням зусиль. – Вісник національного університету "Львівська політехніка" № 545 Теорія і практика будівництва / Гоголь М.В., Гайда О.М. – Львів, 2005. – С. 36-41.

*Акулов В.М., викл., УЦЗУ,
Кулаков О.В., канд. техн. наук, заст. нач. каф., УЦЗУ,
Райз Ю.М., викл., УЦЗУ,
Чорний С.В., канд. техн. наук, пров. наук. співр., ХНУРЕ*

ОБҐРУНТУВАННЯ РАДІУСУ ДІЇ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАКА ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНОЇ СЛУЖБИ

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

Проаналізовано систему проведення авіаційних пошуково-рятувальних робіт (АПРР) в Україні. Показано недостатню ефективність застосування літаків, що пілотуються, для проведення пошуково-рятувальних операцій. Для підвищення ефективності дій підрозділів МНС під час виконання АПРР пропонується застосування мало розмірних безпілотних літаків повітряного спостереження (БЛПС). Розрахунком обґрунтований радіус дії БЛПС в залежності від класу надзвичайної ситуації (НС)

Постановка проблеми. Вітчизняна система проведення АПРР діє у межах єдиної державної системи запобігання і реагування на НС техногенного та природного характеру [1]. Її основні завдання: проведення авіаційного пошуку та рятування повітряних суден (ПС), що зазнали лиха; проведення аварійно-рятувальних робіт з використанням авіаційних сил і засобів у НС.

Керування єдиною державною системою АПРР покладено на урядовий орган – Державну пошуково-рятувальну службу (Укравіапошук). Однак у АПРР Укравіапошуку у даний період існує ряд проблем [1]: мінімально достатня щільність розташування авіаційних пошуково-рятувальних сил і засобів на території України; недостатній рівень пошуково-рятувального забезпечення польотів над акваторіями Азовського та Чорного морів; відсутнє авіаційне забезпечення ліквідації наслідків НС у мегаполісах; необхідність заміни або модернізації значної кількості авіаційної техніки, яка знаходиться на оснащенні авіації МНС.

Перспективним шляхом вирішення цих проблем є використання малорозмірних БЛПС. Однією з головних характеристик БЛПС є радіус дії. В даній роботі він обґрунтовується в залежності від розмірів НС.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відповідно до вимог [1], до чергування в державній системі АПРР залучені 10

Обґрунтування радіусу дії безпілотного літака пошуково-рятувальної служби

пошуково-рятувальних суден МНС, МВС, Збройних Сил, цивільної авіації на 9 аеродромах в усіх зонах АПРР. Суттєвому підвищенню ефективності дій підрозділів МНС під час виконання пошуково-рятувальних завдань може сприяти застосування БЛПС. БЛПС можуть використовуватись для проведення пошуку у зонах НС та на акваторіях; оперативного відновлення зв'язку; цілевказування наземним та авіаційним пошуковим групам; вимірювання радіаційного забруднення та концентрацій шкідливих речовин у повітрі над зонами НС та ін. На сьогодні інформація щодо застосування БЛПС для рішення завдань МНС авторам невідома, але подібні функції виконують, наприклад, військові безпілотні розвідувальні літаки у багатьох арміях світу [2]. Перевагою БЛПС над літаками, що пілотуються, є можливість старту з необладнаних майданчиків невеликих розмірів та з кораблів. Це дозволяє реалізувати регіональне розташування таких літаків без додаткової підготовки місць базування.

У даний час Україна має вітчизняних виробників БЛПС.

Постановка завдання та його вирішення. Визначимо радіус дії БЛПС для вирішення задач МНС. Як вихідні дані приймаємо узагальнені кількісні дані по типах та масштабах НС у регіонах України [3].

Припустимо, що НС спостерігається одним БЛПС. У такому випадку він має пролітати вісь поперечник НС та повернутися. Тому для успішного вирішення задачі спостереження території НС одним БЛПС радіус його дії має бути не меншим, ніж найбільший поперечний розмір типової НС.

Класифікація та визначення масштабу НС здійснюється за документом [4]. Враховуючі географічне розташування України, припускаємо розміри НС: державного рівня – 500 км, регіонального рівня – 100 км, місцевого – 30 км, об'єктового – 1 км.

У табл. 1 наведено узагальнені дані по класах НС та їх характерні розміри. Припустимо, що окремі НС виникають незалежно одне від одного. У цьому випадку імовірність виникнення НС може бути визначена за співвідношенням

$$P_i(R_j) = \frac{N_i(R_j)}{N_0}, \quad (1)$$

де $P_i(R_j)$ - імовірність виникнення НС i -го класу та розміру R_j ; $N_i(R_j)$ - кількість НС i -го класу та розміру R_j ; N_0 - загальна сумарна річна кількість усіх НС, що враховуються; $i=1,2,\dots, n$; $j=1,2,\dots,m$; n - кількість класів НС (3 – природні, техногенні, загальні дані); m - кількість масштабів НС (4 – державний, регіональний, місцевий, об'єктовий).

Таблиця 1 – Результати розрахунків статистичних характеристик типових НС (на прикладі 2007-2006 рр.)

Масштаб НС	R_j , км	$N_i(R_j)$		$P_i(R_j)$		$I_i(R_k)$	
		2007	2006	2007	2006	2007	2006
Державний	500	8	6	0.021739	0.016484	1	1
Регіональний	100	32	25	0.086957	0.068681	0.978261	0.983516
Місцевий	30	164	140	0.445652	0.384615	0.891304	0.914835
Об'єктовий	1	164	193	0.445652	0.530220	0.445652	0.530220
Заг. кількість		368	364	1	1		

Масштаб НС природного характеру	R_j , км	$N_i(R_j)$		$P_i(R_j)$		$I_i(R_k)$	
		2007	2006	2007	2006	2007	2006
Державний	500	5	3	0.032895	0.021898	1	1
Регіональний	100	21	10	0.138158	0.072992	0.967105	0.978102
Місцевий	30	53	40	0.348684	0.291971	0.828947	0.905109
Об'єктовий	1	73	84	0.480263	0.613139	0.480263	0.613139
Заг. кількість		152	137	1	1		

Масштаб НС техногенного характеру	R_j , км	$N_i(R_j)$		$P_i(R_j)$		$I_i(R_k)$	
		2007	2006	2007	2006	2007	2006
Державний	500	3	3	0.015306	0.014493	1	1
Регіональний	100	11	14	0.056122	0.067632	0.984694	0.985507
Місцевий	30	96	89	0.489796	0.429952	0.928571	0.917874
Об'єктовий	1	86	101	0.438776	0.487923	0.438776	0.487923
Заг. кількість		196	207	1	1		

В зв'язку з тим, що величина $P_i(R_j)$ визначається для конкретного значення R_j і таким чином відповідає нескінченно малому району навколо значення R_j , то вона може розглядатися як щільність імовірності виникнення НС.

Імовірність того, що випадкова величина потрапляє у діапазон від нескінченності до R_j являє собою з одного боку – закон розподілення випадкової величини, а з іншого – імовірність того, що НС не матиме розмір, більший за R_j

$$I_i(R_k) = \sum_{j=1}^k P_i(R_j), k = 1, m, \quad (2)$$

де $I_i(R_k)$ - закон розподілення НС і-го класу та розміру R_k .

У табл. 1 та на рис. 1 і рис. 2 наведено результати розрахунків імовірності виникнення НС заданого розміру (щільність імовірності) та імовірності того, що НС не матиме розмір більше заданого (закони розподілення). Чисельні значення $I_i(R_k)$ для техногенних НС майже не відрізняються від максимального значення при $R_j > 100$ км, а для природних – при $R_j > 250$ км. З цього можливо зробити висновок, що найбільш ймовірним розміром для техногенних НС є 100 км, для природних – 250 км.

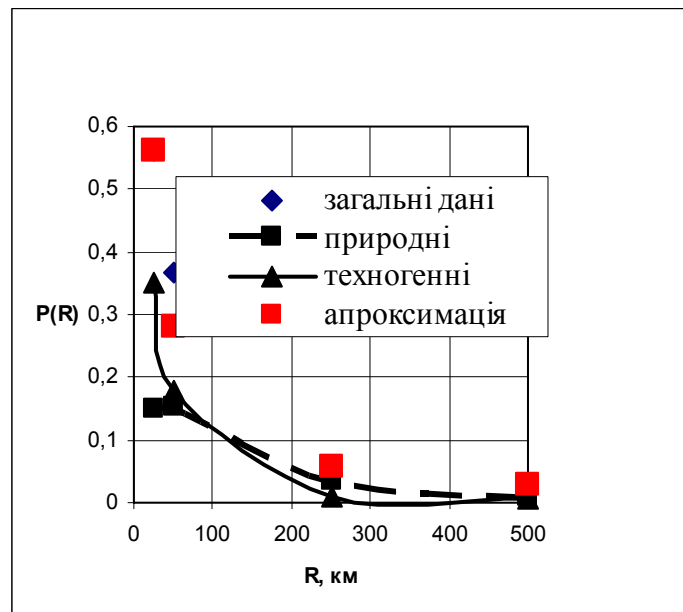


Рис. 1 – Імовірності виникнення НС за типами

Таким чином, для розширення можливостей пошуково-рятувальних підрозділів МНС можна запропонувати два БЛПС з різними (найменшими) радіусами дії: 100 км для літака спостереження техногенних НС, 250 км для літака спостереження приро-

дних НС. Для НС державного рівня більшого розміру доцільно використання літаків, що пілотуються.

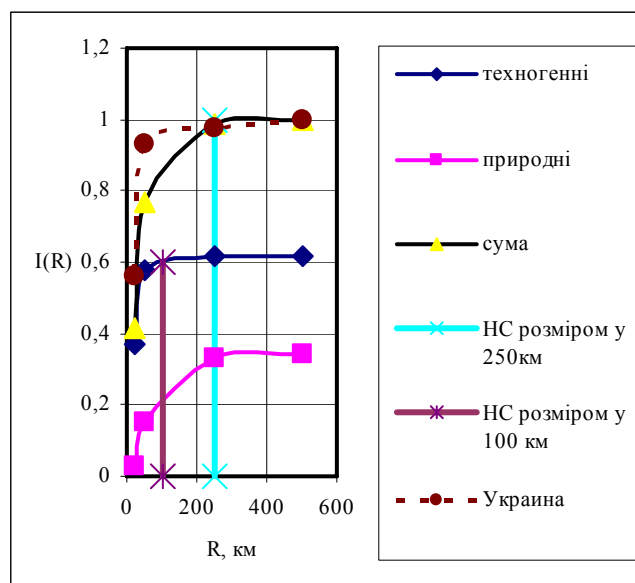


Рис. 2 – Закони розподілення типових класів НС

Висновки. Аналіз діяльності АПРР України показує, що ефективність проведення пошуково-рятувальних операцій обмежується недостатньою щільністю розташування авіаційних пошуково-рятувальних сил і засобів на території України та недостатнім рівнем пошуково-рятувального забезпечення польотів над акваторіями.

Перспективним шляхом подолання цих обмежень є використання БЛПС, що дає змогу збільшити щільність розташування АПРР, підвищити оперативність дії сил МНС та зменшити витрати на проведення АПРР у порівнянні з пілотованими літаками.

Обґрунтований розрахунком радіус дії БЛПС - 100-250 км в залежності від класу НС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Постанова №1643 Кабінету Міністрів України від 16.10.1998 р. «Про заходи щодо вдосконалення організації та проведення авіаційних робіт з пошуку та рятування» / Сайт zakon.rada.gov.ua.
2. БПЛА / Сайт www.info.airforce.ua.

3. Аналіз надзвичайних ситуацій в Україні у 2007 році / Сайт www.mns.gov.ua.
4. Постанова №368 Кабінету Міністрів України від 24.03.2004 р. «Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями» / Сайт zakon.rada.gov.ua.

УДК 628.387

*Андронов В.А., д-р техн. наук, нач. факультета, УГЗУ,
Данченко Ю.М., канд. техн. наук, доц., ХГТУСА*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КОКСОХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

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

Для обеспечения безопасного функционирования систем оборотного водоснабжения коксохимических предприятий, проанализирована возможность использования некоторых ингибиторов коррозии. Предложен в качестве эффективного ингибитора триполифосфат натрия

Постановка проблемы. В настоящее время на техногенно опасных предприятиях коксохимической отрасли образуется около 20 млн. м³/год сточных вод, загрязненных фенолами, цианидами, роданидами, аммонийными солями и другими токсичными веществами. Из них количество фенольных и дождевых сточных вод, которые образуются на коксохимических заводах и используемых вторично, составляет 0,5 м³ на 1 тонну коксованного угля, что для завода с объемом производства около 3 млн. тонн/год составляет 1,5 млн. м³/год. Таким образом, около 18,5 млн. м³/год чрезвычайно токсичных сточных вод предприятия только этой отрасли сбрасывают в поверхностные источники и в систему канализации. Одним из решений этой проблемы является создание замкнутых, полностью или частично, систем водоснабжения.

Существующие системы оборотного водоснабжения, использование которых позволяет значительно сократить количество

сбрасываемых токсичных сточных вод, работают с продувкой, что составляет около 10 % от всей циркулирующей в системах воды.

Исходя из вышесказанного, научное обоснование и разработка техногенно безопасных систем водоснабжения коксохимических предприятий, которые полностью или частично исключают сброс загрязненных сточных вод в водные объекты, является актуальной и своевременной проблемой.

Анализ последних исследований и публикаций. Авторы всех последних публикаций единодушны во мнении, что повышение техногенной и экологической безопасности систем водоснабжения коксохимических заводов может быть обеспечено, прежде всего, за счет снижения объемов сбрасываемых сточных вод [1-3].

Постановка задачи и ее решение. При разработке оборотных систем водоснабжения необходимо учитывать тот факт, что решение этой комплексной проблемы может быть обеспечено при условии рассмотрения целого ряда задач, среди которых предотвращение коррозионного изнашивания металлических трубопроводов и емкостей.

Одним из наиболее перспективных методов защиты металлов от коррозии в водных средах является применение ингибиторов коррозии различной химической природы [4-9].

Учитывая, что разрушение металлов в электролитах является результатом действия двух взаимно связанных электрохимических процессов – анодного, заключающегося в переходе ионов металла в раствор с освобождением электронов, и катодного, связанного с разрядом ионов водорода или ассимиляцией электронов кислородом или другим деполяризатором, то ингибитор может изменить скорость коррозии, тормозя один из этих процессов или оба одновременно.

В лабораторных условиях было проведено исследование сравнительного действия ингибиторов фосфатного типа. Эксперименты проводились в стаканах емкостью 450 мл в течение 160 часов в условиях сравнительно высокого содержания (9000 г/м³) и пропускания через раствор газообразного СО₂. В качестве ингибиторов коррозии использовались Na₂HPO₄, Na₂H₂PO₄, Na₅P₃O₁₀, Na₃PO₄, (NaPO₃)₆.

Доза введенных реагентов в расчете на Р₂О₅ одинакова во всех случаях и составляла 40 г/м³. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнительная эффективность ингибиторов фосфатного типа

№№ п.п.	Ингибитор	Средняя скорость коррозии, мм/год		Эффективность ингибирования, %
		Без ингибитора	В присутствии ингибитора	
1	Гексаметафосфат (NaPO_3) ₆	0,3700	0,087	76,5
2	Триполифосфат $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	0,3700	0,0399	89,2
3	Фосфат Na_3PO_4	0,3700	0,3100	15,5
4	Дигидрофосфат NaH_2PO_4	0,3700	0,3508	5,2
5	Гидрофосфат Na_2HPO_4	0,3700	0,3582	3,2

Из табл. 1 следует, что фосфаты натрия (как кислые так и средние соли) не оказывают существенного влияния на коррозионную стойкость образцов из Ст. 3. Лучшие результаты получены при применении гексаметафосфата и триполифосфата натрия (ТПФН). Это связано с тем, что вместе с замедляющим влиянием этих солей на катодный процесс электрохимической коррозии, их анионы, адсорбируясь на центрах коррозии, ограничивают доступ к ним молекул и ионов окислителей.

Выполнена проверка ингибирующего действия триполифосфата натрия на сварные образцы из Ст. 3 при температуре 60°C. Эксперимент проводился при солесодержании, соответствующему прогнозируемому составу оборотной воды 9,6 кг/м³ в отсутствие подачи углекислоты. Электрокинетические исследования проводились в атмосфере воздуха. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что скорость коррозии сварных образцов из Ст. 3 уменьшается через 8 часов в 2 раза, а через 100 часов в 10 раз в присутствии триполифосфата натрия. Эффективной дозой при этом является доза 8 г/м³. Дальнейшее увеличение дозы ТПФН не приводит к снижению скорости коррозии.

Наряду с ингибиторами фосфатного типа проверено влияние свежесаженного гидроксида железа на скорость коррозии образцов Ст. 3.

Таблица 2 – Влияние концентрации триполифосфата натрия на скорость коррозии при 60°C

Доза, г/м ³ (P ₂ O ₅)	Скорость коррозии, мм/год					
	8	24	33	48	64	100
Время, час						
0	1,48	1,34	1,28	0,87	0,54	0,22
8	0,75	0,52	0,43	0,21	0,07	0,02
16	0,74	0,51	0,43	0,20	0,06	0,02

Гидроксид железа обладает восстановительными свойствами и может уменьшать концентрацию кислорода в коррозионно-агрессивной среде. Доза гидроксида железа составляла 5 г/м³ в расчете на Fe.

Все проверенные до сих пор ингибиторы относятся к реагентам неорганического происхождения. Опробовано также органическое соединение алкилметиламмоний хлорид при дозе 5 г/м³ 100% - основного вещества.

Сравнительные результаты реагентов приведены в табл. 3.

Из данных, представленных в табл. 3 следует, что гидроксид железа уменьшает скорость коррозии приблизительно на 33%, алкилметиламмоний хлорид - менее чем в два раза.

Таблица 3 – Сравнительные результаты защитного действия различных ингибиторов

№№ п.п.	Ингибитор	Средняя скорость коррозии, мм/год		Эффективность ингибирования, %
		Без ингибитора	В присутствии ингибитора	
1	Свежеосажденный Fe(OH) ₂	0,3700	0,2490	32,7
2	Алкилметиламмоний хлорид R [H ₂ N-CH ₃] ⁺ Cl ⁻	0,3700	0,2269	38,7

Таким образом, из исследованных ингибиторов в среде с высоким солесодержанием и барботаже углекислым газом наиболее

эффективное действие оказывает триполифосфат ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) и гексаметафосфат натрия (NaPO_3)₆.

Электрокинетические исследования, проведенные для растворов с солесодержанием $9,6 \text{ кг/м}^3$ в присутствии кислорода воздуха и добавлении триполифосфата натрия, показали, что ингибитор оказывает тормозящее влияние на катодный процесс (рис. 1) и уменьшает скорость коррозии металла (проницаемость).

Одновременно с изучением ингибирующего действия определена способность таких реагентов, как триполифосфат натрия и гексаметафосфат натрия гидролизаться в водных растворах.

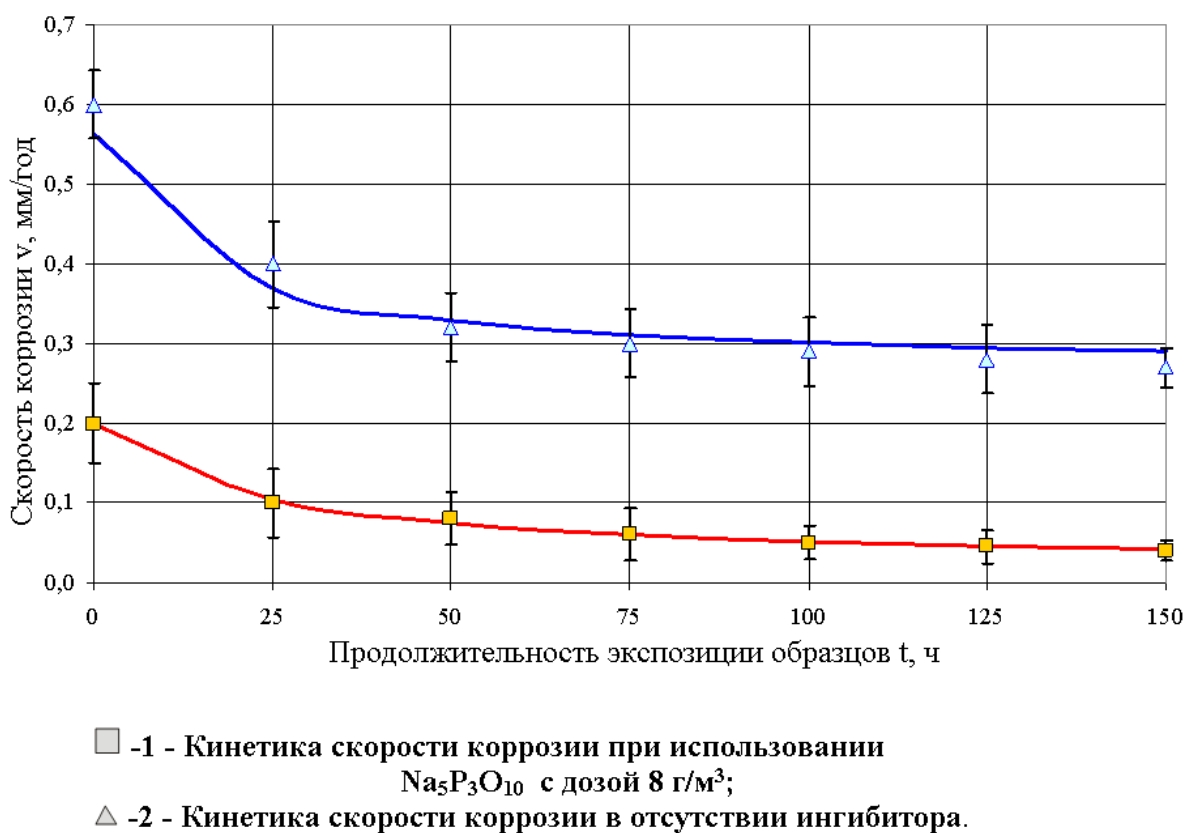


Рис. 1 – Зависимость скорости коррозии от времени:

$$V = 0,0175 + \frac{4,11}{22,6 + t} \text{ для 1-ой кривой;}$$

$$V = 0,267 + \frac{3,89}{13,1 + t} \text{ для 2-ой кривой.}$$

В литературе [6-9] неоднократно указывается на способность гексаметафосфата распадаться на простые фосфаты, что является неблагоприятным явлением, так как в системах водоснабжения с достаточно высокой концентрацией ионов кальция, может проис-

ходить випадение фосфатов кальция в виде шлама, то есть концентрация полифосфатов будет снижаться. Кроме того, образование шлама может стимулировать коррозию. Были проведены исследования по изменению степени гидролиза триполифосфата натрия и гексаметафосфата натрия в течение 7 суток при 25°C. Определялось изменение концентрации PO_4^{3-} в растворе с течением времени при исходной концентрации полифосфата в растворе 8 г/м³ в пересчете на PO_4 . Результаты исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Влияние времени на гидролиз триполифосфата и гексаметафосфата натрия

Время, сутки	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$		$(\text{NaPO}_3)_6$	
	Концентрация PO_4^{3-} , г/м ³	Степень гидролиза, %	Концентрация PO_4^{3-} , г/м ³	Степень гидролиза, %
0	0,02	0,25	4,4	55
	0,04		4,2	
1	0,12	1,5	4,1	52
	0,08		4,3	
2	2,66	31,2	4,98	62
	2,44		4,98	
5	3,54	43	4,98	62
	3,54		5,00	
7	3,54	43	4,90	62

Из данных табл. 4 можно сделать вывод, что гексаметафосфат натрия даже при комнатной температуре обладает способностью гидролизаться. Так, уже к моменту его растворения в воде свыше 50%, гексаметафосфат распадается на ортофосфаты. Триполифосфат натрия значительно меньше подвергается гидролизу, чем гексаметафосфат. Количество продуктов гидролиза составляет через 1 сутки 1,5%, через 2 суток – 31%, а через 5 суток – 43%. Поэтому, несмотря на то, что скорость коррозии в присутствии триполифосфата и гексаметафосфата составляет примерно одну и ту же величину, предпочтительней использовать в качестве ингибиторов коррозии триполифосфат натрия.

Учитывая, что в системах оборотного водоснабжения температура воды может достигать 40-60°C, в лабораторных условиях

была проверена склонность к гидролизу триполифосфата натрия при температуре около 60°C. Испытания проводили в течение 2 суток. Результаты исследования показали, что повышение температуры до 60°C не оказывает существенного влияния на результаты, полученные при комнатной температуре.

В существующих системах оборотного водоснабжения коксохимических заводов сточные воды загрязнены взвешенными веществами, очистка от которых осуществляется в отстойниках. Так как высадившаяся в отстойнике взвесь выводится из системы в виде шлама, то вместе с ним может выводиться и триполифосфат натрия в том случае, если он обладает способностью адсорбироваться в шламе. В связи с этим была проверена адсорбируемость триполифосфата натрия на шламе.

Дозу триполифосфата натрия, величина которого составляла 40 г/м³, смешивали с равными объемами (1000 г/м³) дистиллированной воды, солевого раствора, имеющего сухой остаток 9 г/м³ и солевого раствора со шламом, концентрация которого составляла 3 кг/м³. После минутного перемешивания указанных растворов проводили отстаивание в течение 120 минут. После этого определяли остаточную концентрацию триполифосфата натрия колориметрическим методом. Результаты исследований приведены в табл. 5.

Как видно из данных, представленных в табл. 5, остаточная концентрация натрия в пересчете на P₂O₅ составляет ту же величину, что говорит об отсутствии адсорбции ингибитора на взвеси, поступающей в воду. В связи с этим можно считать, что триполифосфат натрия из системы оборотного водоснабжения выводиться со шламом не будет и для поддержания его заданной концентрации необходимо осуществлять пополнение только с подпиткой.

Таблица 5 – Влияние на концентрацию триполифосфата натрия в растворе

Остаточная концентрация Na ₅ P ₃ O ₁₀ в расчете на P ₂ O ₅		
дистиллированная вода, г/м ³	солевой раствор, г/м ³	солевой раствор со шламом, г/м ³
36,5	36,5	34,3
35,8	36,5	36,5
35,1	35,1	35,8
35,1	35,1	35,1

Вывод. Таким образом, результаты лабораторных исследований, выполненных в объеме настоящей работы, позволяют рекомендовать триполифосфат натрия для защиты от коррозии. Концентрация триполифосфата в оборотной воде при этом должна составлять величину 8-10 г/м³ в пересчете на P₂O₅. Можно также утверждать, что при условии использования рекомендованного ингибитора коррозии в значительной степени увеличивается срок эксплуатации металлических трубопроводов в системах оборотного водоснабжения. В то же время уменьшается риск аварийного выхода из эксплуатации этих трубопроводов вследствие коррозионного износа. Эти два фактора, безусловно, обеспечивают техногенную и экологическую безопасность систем оборотного водоснабжения на коксохимических предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грабко В. В. К вопросу о совершенствовании охраны окружающей среды в химических цехах коксохимических заводов Украины // Углекимический журнал, 2007. - №6. – С.64-67.
2. Толстой А. П., Ковалев Е. Т., Рудкевич М. И. Экологический контроль на коксохимических предприятиях США// Углекимический журнал, 2004. - №1-2.- с. 49-56.
3. Борисенко А. Л. Экологические проблемы коксохимических предприятий и пути их решения// Углекимический журнал, 2006. - №3-4. – с.60-65.
4. Яковлев Д.Г. Опыт защиты стали от коррозии в закрытой системе оборотного водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. - 1975. - № 6.- С. 31.
5. Розенфельд И.Л., Вашков О.И. Электрохимическое поведение металлов в размещаемых нейтральных электролитах // Защита металлов. - 1965.- Т.1. - № 1. - С. 70-76.
6. Лебедев А.Н., Поляк Э.А. О лимитирующих стадиях коррозии углеродистой стали в нейтральных растворах хлоридов при повышенной температуре // Защита металлов. - 1976. - № 2. - С. 42-44.
7. Пантелят Г.С., Редько Н.М., Холодный В.А., Хвостак Л.Л. Зависимость коррозии углеродистой стали от солевого состава оборотной воды // Защита окружающей среды от выбросов предприятий черной металлургии. – М.: Металлургия, 1981.- С.26-28.

8. Пантелят Г.С., Редько Н.М., Хвостак Л.Л., Шуб В.Б. Коррозия в скрубберах высокого давления металлургических заводов // Водоснабжение и санитарная техника. - 1984.- № 3.- С. 23-24.
9. Пантелят Г.С., Аббуд Мазен. Исследование интенсивности солевых отложений и коррозии в оборотных циклах водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. - 1993. - № 12. - С. 35-36.

УДК [556.114:574.63] (285.33)

*Андронов В.А., д-р техн. наук, нач. факультету, УЦЗУ,
Пономаренко Р.В., ад'юнкт, УЦЗУ*

МОЖЛИВОСТІ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ АНТРОПОГЕННИМ ВПЛИВОМ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДОЙМИ

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

Проведено порівняльний аналіз зміни вмісту загального заліза та мангану, в водах Київського та Карачунівського водосховищ, які мають нез'єднанні басейни, внаслідок антропогенного впливу. Встановлені основні причини зростання їх концентрацій від сезонних коливань складу інших домішок та загальні закономірності погіршення якості поверхневих джерел водопостачання

Постановка проблеми. Постійні природні та техногенні навантаження на поверхневі джерела водопостачання підвищують рівень їх забруднення, що в свою чергу призводить до зниження якості питної води. Неякісна вода є однією з причин того, що за останні роки в Україні спостерігається поширення різних хвороб. Тільки за останні 10 років зафіксовані численні випадки захворювання, що пов'язані з погіршенням якості питної води [1, 2].

У системах центрального водопостачання загальна кількість проб води з відхиленнями від стандартів по санітарно-хімічним (9-12%) і бактеріологічним (4-5,5%) показникам в останні роки постійно зростають [3]. Вміст у воді річки Дніпро, як основного джерела питної води для населення України, заліза та мангану перевищують допустимі норми визначені санітарно-гігієнічними нор-

мативами в декілька разів. Поряд з нормуванням вмісту солей жорсткості (Ca^{2+} , Mg^{2+}) у питній воді, суворо регламентуються кількості таких важких металів як загальне залізо та манган 2-х валентний. [4].

На сьогодні зміни в якісному складі води з тенденцією до поступового погіршення спостерігаються практично в усіх поверхневих джерелах водопостачання країни. Основними забруднюючими інгредієнтами води поверхневих джерел водопостачання є біогенні високогумінові речовини, які надходять з болотистих територій водозбору, а також утворюються в слабо проточних водосховищах внаслідок їх сильного “цвітіння” у літню пору року. Ці сполуки здатні утворювати з іонами заліза та мангану стійкі водорозчинні комплексні сполуки, які підвищують міграційну здатність іонів цих важких металів. Найбільше біогенне забруднення з усіх водосховищ Дніпровського каскаду спостерігається у Київському водосховищі, в якому концентрації як гумінових речовин так іонів заліза та мангану щорічно зростають, а вміст розчиненого кисню неухильно знижується [5].

Найбільш проблемними питаннями для виробництва питної води в Україні є: високий та постійно зростаючий рівень техногенного навантаження на водойми і водоймища, води яких використовуються для підготовки питної води, та використання технологій, що не забезпечують видалення ні гумінових речовин ні іонів важких металів [6].

Одними з основних заходів, за які відповідає система цивільного захисту України, є організація збирання, опрацювання та передача інформації про забруднення води хімічними речовинами, контроль за якістю питної води і джерел водопостачання [7]. Питання погіршення якості питної води в країні мають загальнодержавне стратегічне значення і потребують не тільки контролю з боку цивільного захисту, а і активної участі у її вирішенні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Причини погіршення якості води у верхніх водосховищах р. Дніпро (Київському та Канівському) з урахуванням сезонних коливань були встановлені у роботі [5], де в основу було покладено виявлення кореляційних залежностей між основними показниками якості дніпровської води, які впливають на якість питної води. В цій роботі доведено, що різке погіршення якості дніпровської води, за основними санітарно-гігієнічними показниками (вміст мангану, загального заліза та підвищення кольоровості), на початку весни та влітку, Можливості виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, пов’язаних із антропогенним впливом на поверхневі водойми

обумовлено підвищенням цвітінням сине-зелених водоростей та різким збільшенням вмісту гумінових речовин. Саме продукти життєдіяльності цих водоростей обумовлюють зниження рН води у придонному шарі, що в свою чергу підвищує вихід мангану з донних відкладень у воду в формі гідратованого іону.

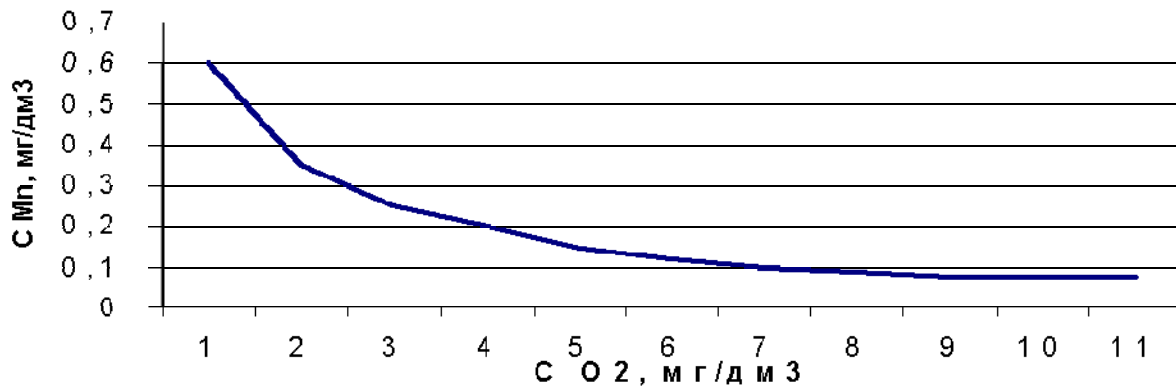


Рис. 1 – Залежність концентрації мангану від вмісту розчиненого кисню в воді Київського водосховища

Залежність вмісту мангану в воді Київського водосховища від концентрації розчиненого кисню у воді (рис. 1) [5] свідчить про те, що інтенсивність мангану в системі „донні відкладення – вода” цілком залежить від концентрації розчиненого кисню в придонних шарах води, тобто на межі контакту водної маси і донних відкладень.

Більша частина розчиненого мангану в умовах поверхневого природного джерела представлена гідратованими іонами мангану Mn^{2+} , оскільки їх окислення практично стає неможливим при зазначених концентраціях розчиненого кисню. Суттєве збільшення концентрації мангану в воді Київського водосховища спостерігається частіше всього в зимовий період, коли тривалий час зберігається льодяний покрив та практично відсутня атмосферна аерація.

Відмічено також, значне збільшення вмісту загального заліза в воді Київського водосховища, що пояснюється заболоченістю річок, які впадають в водосховище та наявністю в воді значної кількості гумінових речовин (рис. 2) [5] здатних утворювати з іонами заліза Fe^{2+} стійки, водорозчинні комплексні сполуки, обумовлювати неможливість їх окислення до Fe^{3+} в умовах дефіциту розчиненого у воді кисню та підвищуючи таким чином міграційну здатність іонів заліза.

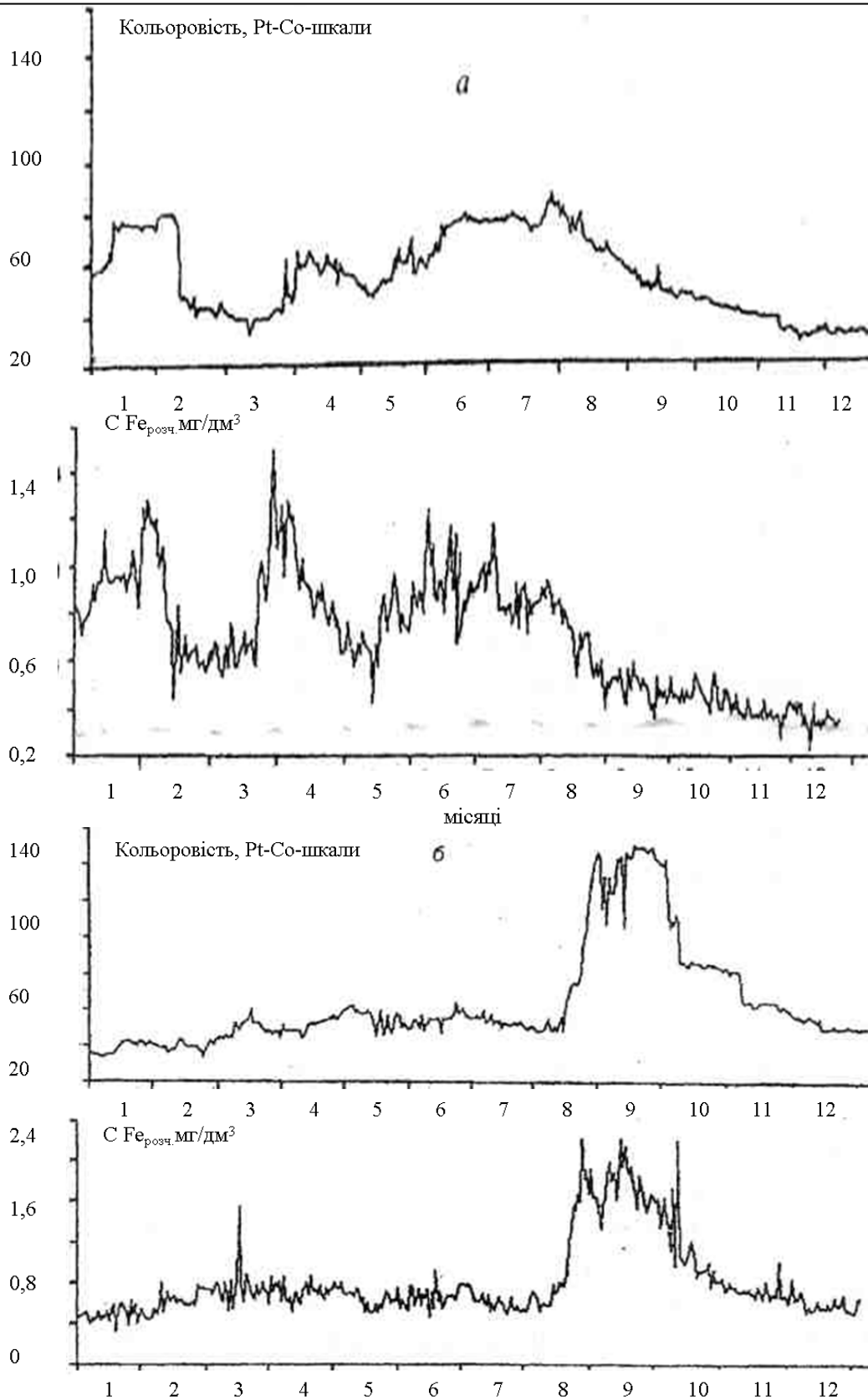


Рис. 2 – Кольоровість води та концентрація розчиненого заліза в Київському водосховищі в 1991 (а) та 1993 рр. (б)

Можливості виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, пов'язаних із антропогенним впливом на поверхневі водойми

Постановка завдання та його вирішення. Встановити однотипність чи розбіжність виявлених закономірностей та причин збільшення концентрацій іонів заліза та мангану у водосховищах дніпровського каскаду з іншими поверхневими джерелами води, що не зв'язані з басейном р. Дніпро, які також використовуються для виробництва питної води, з урахуванням сезонних коливань вмісту різноманітних домішок в них.

Для вирішення поставленої задачі було обрано Карачунівське водосховище, що створене на злитті річок Інгулець, Бічна і Бокovenька з проектним об'ємом – 308,5 млн. м³. Жодна з утворюючих водосховище річок не має загальних притоків з басейном р. Дніпро.

Вміст гідратованих іонів мангану в воді Київському водосховища залежить від концентрації розчиненого кисню [5] максимальна концентрація мангану спостерігається в період самих низьких значень вмісту розчиненого кисню (рис. 3).

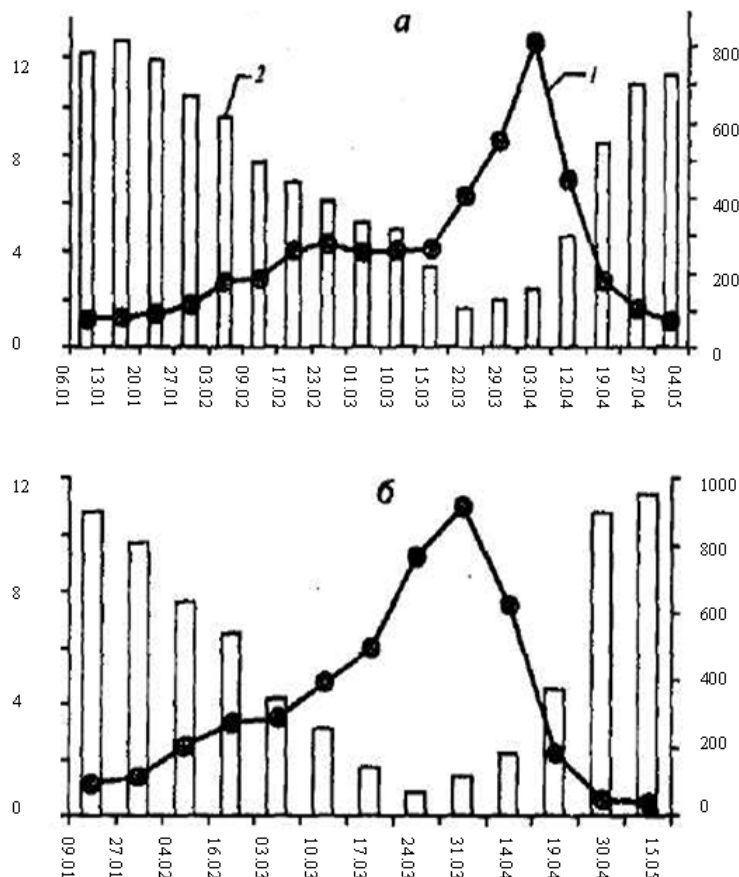


Рис. 3 – Зміна концентрації мангану в воді Київського водосховища в залежності від вмісту розчиненого кисню в зимово-весінній період: а- 1976, б- 1987 рр. (1- концентрація Mn, мг/дм³, 2- концентрація O₂, мг/дм³)

В Карачунівському водосховищі подібна ситуація спостерігалася у 2004 році (рис. 4).

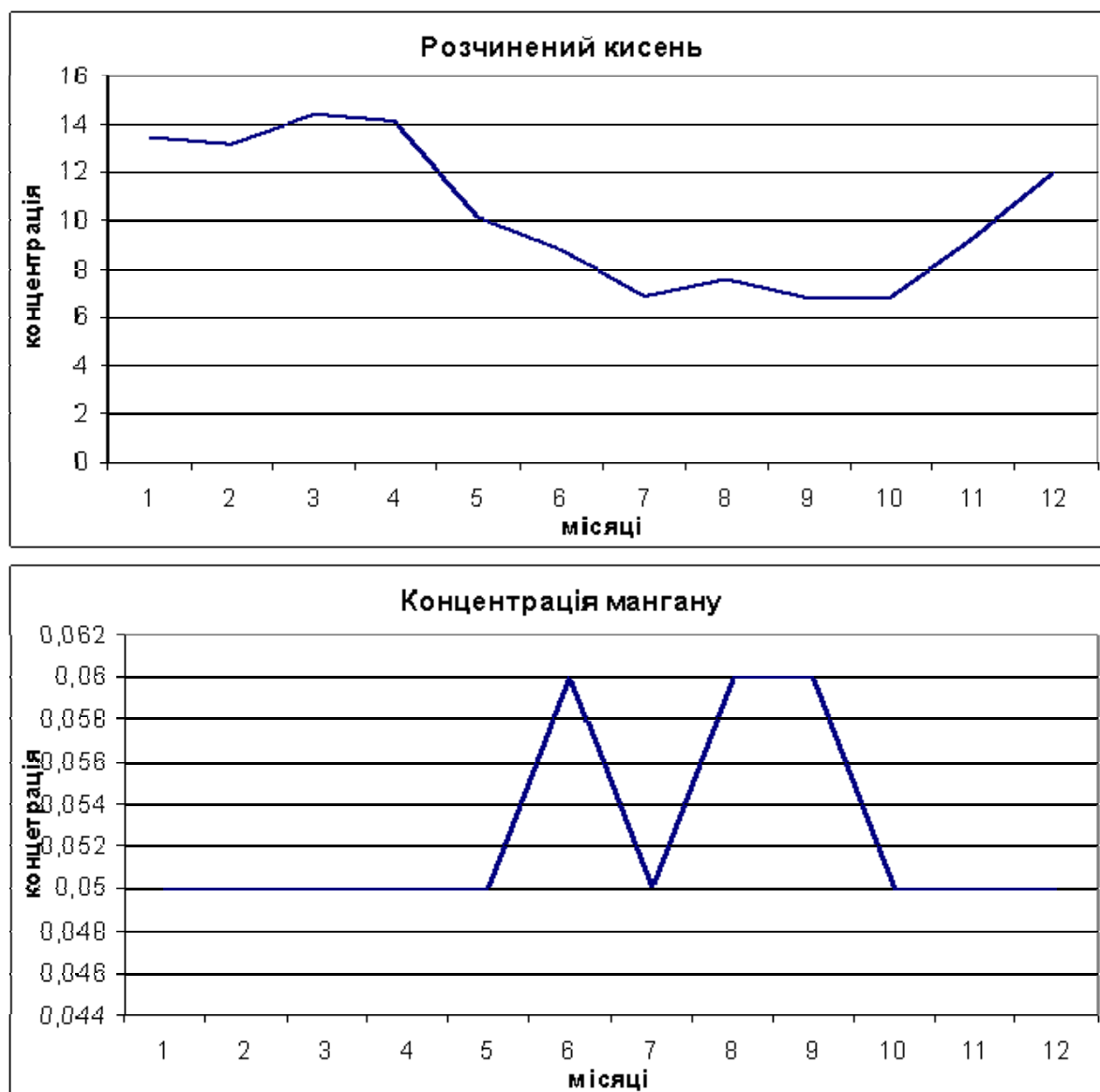


Рис. 4 – Сезонні зміни концентрації розчиненого кисню (мг/дм^3) та іонів мангану (мг/дм^3) в Карачунівському водосховищі у 2004 році

Наведені дані свідчать про ідентичність тенденції та основні причини збільшення концентрації іонів мангану при зменшенні вмісту розчиненого кисню у водах як Карачунівського (рис. 5) так і Київського водосховищ (рис. 1). Але з наведених графіків видно, що при збереженні загальної тенденції характер цих залежностей дещо різний. Це дає можливість припустити, що в умовах Карачунівського водосховища розвиваються або інші види сине-зелених

Можливості виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, пов'язаних із антропогенним впливом на поверхневі водойми

водоростей, або рН води у придонному шарі швидше досягає межі осадження гідрооксиду Mn(II) (рН 8,8).

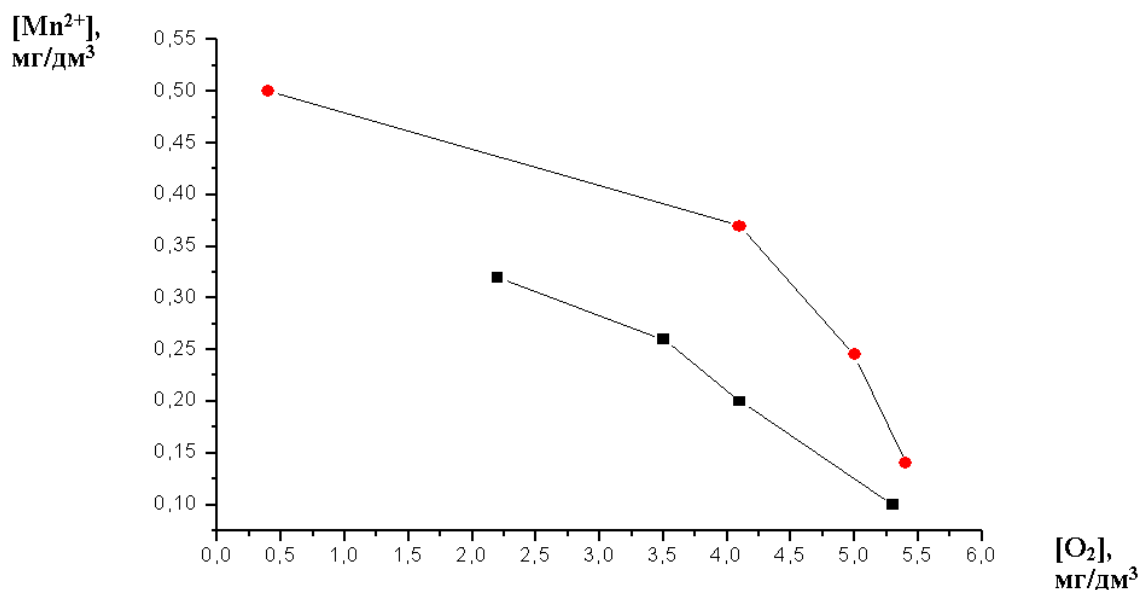


Рис. 5 – Залежність вмісту іонів мангану в Карачунівському водосховищі від концентрації розчиненого кисню

На підтвердження тези про те, що основною причиною прискореного виходу іонів мангану з донних відкладень у воду є розвиток сине-зелених водоростей, була проаналізована залежність концентрації іонів мангану від біологічного споживання кисню (БСК₅), значення якого свідчать про розвиток біологічних об'єктів у воді (рис. 6) та концентрації фітопланктону (рис. 7).

Слід зазначити, що іон мангану Mn²⁺ відноситься до складу досить сильних відновників. Реакція $MnO_2 + 4H^+ + 2e^- = Mn^{2+} + 2H_2O$ характеризується значенням Red-Ox 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 Mn²⁺ до важко розчинної сполуки MnO₂. Про це також свідчить встановлена залежність концентрації іонів мангану від концентрації розчиненого у воді кисню (рис. 5).

При оцінці можливості використання води поверхневих джерел для підготовки питної води велике значення має вміст загального заліза [8].

Виявлена залежність сімбатності сезонної зміни кольоровості води і вмісту іонів заліза у Карачунівському водосховищі (рис. 8) та її ідентичність подібним залежностям для води Київського во-

досховища [5] дозволяє зробити висновок, що причини збільшення концентрації іонів заліза однакові. Основними факторами, які обумовлюють ці залежності є: наявність гумінових речовин у воді та зменшення вмісту розчиненого кисню. Невисокий вміст розчиненого кисню в воді сприяє тому, що залізо міститься, в основному, у формі 2-х валентного Fe у формі комплексної стійкої сполуки з гуміновими речовинами (71% від загального його вмісту) і його важко вивести з цих сполук для подальшого його осадження на дні водойми у формі гідроксиду Fe(III).

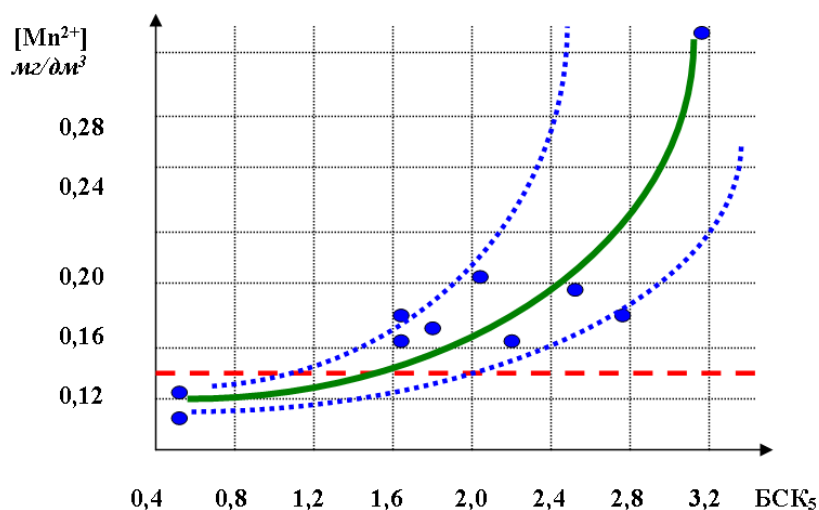


Рис. 6 – Залежність концентрації іону мангану у воді Карачунівського водосховища від біологічного споживання кисню

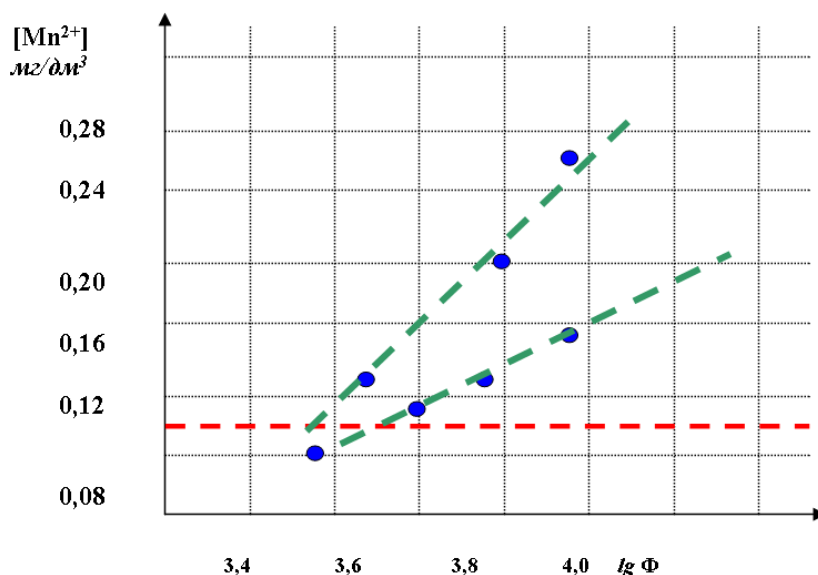


Рис. 7 – Залежність концентрації іону мангану у воді Карачунівського водосховища від вмісту фітопланктону

Можливості виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, пов'язаних із антропогенним впливом на поверхневі водойми

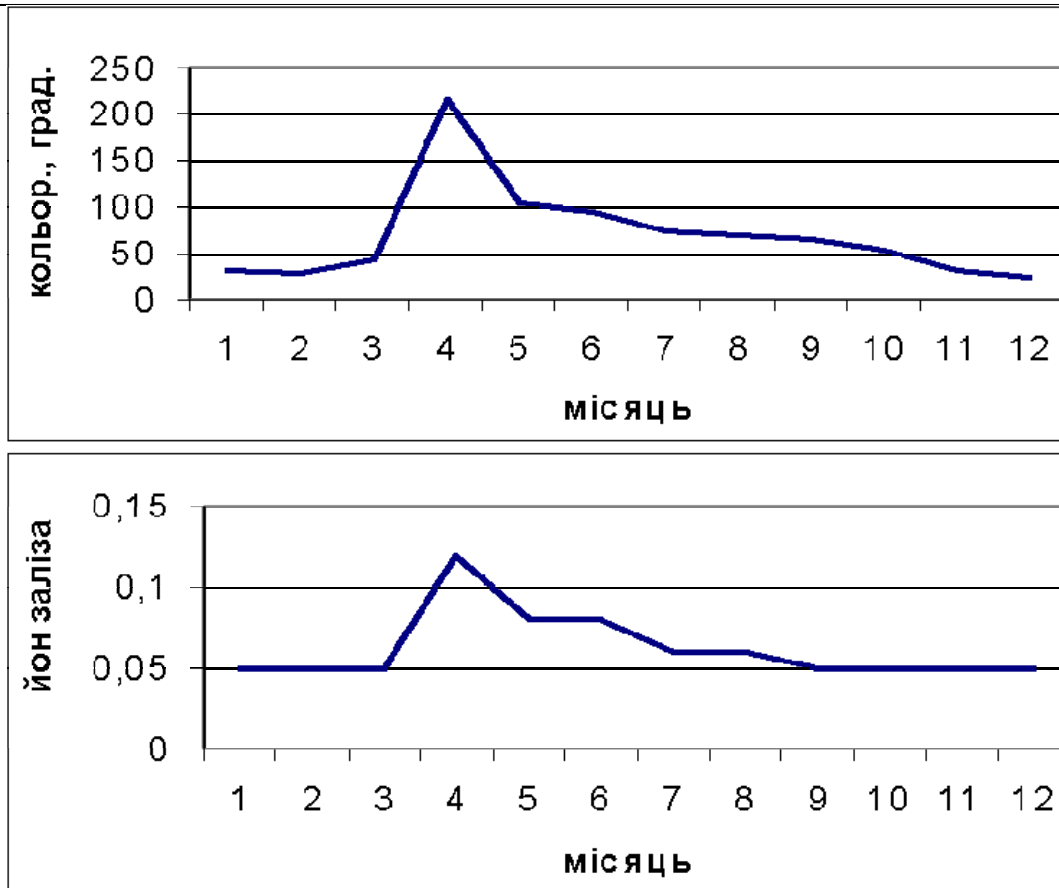


Рис. 8 – Кольоровість води та концентрація іонів заліза (мг/дм³) в Карачунівському водосховищі

Висновок. Таким чином, проведений порівняльний аналіз збільшення концентрації іонів мангану та заліза в різних, басейново не зв'язаних поверхневих джерел води (Київського та Карачунівського водосховищ), які використовуються для виробництва питної води, дозволив встановити однаковість причин та основних закономірностей цих явищ. Біологічні процеси розвитку водоростей та, як наслідок збільшення концентрації гумінових речовин і зменшення концентрації розчиненого кисню у воді, обумовлюють неухильне зростання концентрації важких металів у воді, видалення яких на діючих станціях підготовки питної води неможливо при існуючих технологіях. Встановлені причини можна віднести до загальних причин погіршення якості води природних джерел водопостачання в Україні. Збільшення техногенного навантаження на поверхневі водойми буде посилювати ці процеси і їх негативні наслідки, що потребує безпосереднього втручання сил цивільного захисту України задля уникнення можливих техногенних надзвичайних ситуацій, обумовлених цими процесами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь України. Про збереження біологічного різноманіття. К., 2004.
2. Прокопов В.О., Толстопятова Г.В. Алюміній: сучасні токсиколого-гігієнічні аспекти (огляд літератури) // Лікарська справа. – 1996. - № 10-12. – С.56-62.
3. Державні санітарні правила і норми “Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання”. Затверджені МОЗ України, постанова № 383 від 23.12.96.
4. Хильчевский В.К., Чеботько К.А. Оценка эколого-гидрохимического состояния природных вод Украины // Водные ресурсы. – 1994, т.21, №2, с.182-188.
5. Линник П.Н., Причины ухудшения качества воды в Киевском и Каневском водохранилищах // Химия и технология воды. – 2003. – Т.25, №4. – С.384-406.
6. Постанова Кабінету Міністрів України № 465 від 25.003.99 “Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами”.
7. Закон України “Про правові засади цивільного захисту”. – Київ, 2004 року N 1859-IV.
8. Левченко Т.М., Клименко Н.А., Гора Л.Н., Канавец Р.П., Савчина Л.А. Удаление гуминовых веществ, обуславливающих цветность речной воды, активными углями // Химия и технология воды. – 1991. – Т.13, №11. – С.1022-1025
9. ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством».

УДК 614.8

*Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., УГЗУ,
Михайлюк А.А., адъюнкт, УГЗУ*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

Построены оценки параметров математической модели чрезвычайной ситуации техногенного характера на примере коэффициентов конвективной теплоотдачи горящего резервуара с нефтепродуктом

Постановка проблемы. Применение математических моделей чрезвычайных ситуаций техногенного характера для прогнозирования их развития и построения плана их локализации и ликвидации требует идентификации параметров таких моделей. Одной из наиболее сложных чрезвычайных ситуаций является пожар в резервуарном парке. Горение нефтепродукта сопровождается выделением значительного количества тепла, основная часть которого передается окружающим объектам излучением и конвекцией. В результате чего действия подразделений МЧС при ликвидации чрезвычайной ситуации усложняются. Важными параметрами модели такой ситуации являются коэффициенты конвективного теплообмена сухой стенки горящего резервуара с окружающим воздухом и газовым пространством резервуара. Без их оценки невозможно определение зон безопасного размещения личного состава, подвижной техники.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] построена модель нагрева горящего резервуара, учитывающая лучистый и конвективный теплообмен сухой стенки с окружающей средой и проведена идентификация коэффициента конвективной теплоотдачи при условии только свободной конвекции. Случай же вынужденной конвекции (ветра) в работе не рассмотрен.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является оценка параметров математической модели чрезвычайной ситуации техногенного характера на примере пожара в резервуаре с нефтепродуктом, где в качестве параметров выступают коэффици-

енты конвективной теплоотдачи от нагретой стенки резервуара в окружающий воздух и газовое пространство резервуара.

Рассмотрим теплообмен сухой стенки резервуара при свободной конвекции. При свободной конвекции движение возникает под действием разности плотностей неравномерно нагретого воздуха. Если воздух находится в поле силы тяжести, то перепад плотностей может вызвать появление подъемных сил, приводящих среду (воздух снаружи резервуара или паровоздушную смесь внутри резервуара) в движение (гравитационная свободная конвекция).

При свободной конвекции в большом объеме движение среды обладает свойствами пограничного слоя, когда скорость и температура меняются в тонком слое около нагретой поверхности. В данном случае это сухая стенка горящего резервуара, которую можно рассматривать как вертикальную пластину [3].

Определим коэффициент теплоотдачи для свободной конвекции по формуле

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{L}, \quad (1)$$

где Nu – число Нуссельта, λ – теплопроводность воздуха, L – высота сухой стенки резервуара.

При свободной конвекции теплопроводность воздуха определяется по формуле, где в качестве определяющей берется средняя температура между температурой среды и поверхности

$$\lambda_m = \lambda_0 \left(\frac{T + T_s}{2T_0} \right)^n, \quad (2)$$

где $T_0=273,15$ К, $\lambda_0 = 2,44 \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К, $n=0,82$, T – температура стенки резервуара, T_s – температура воздуха.

Число Нуссельта определяется по формуле

$$Nu = \left[0,68 + 0,387(Gr Pr)^{1/6} / \left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27} \right]^2 =$$

$$= \left[0,68 + 0,387 \left(\frac{(T - T_e)L^3 g Pr}{(T + T_e)\nu^2} \right)^{1/6} \right] / \left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27} \right]^2, \quad (3)$$

где Pr – число Прандтля, Gr – число Грасгофа, ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, T_e – температура воздуха, g – ускорение свободного падения.

Тепловое число Прандтля для газов практически не зависит от температуры, давления и определяется только атомностью газов. Для воздуха как двухатомного газа число Прандтля будет равно 0,7. С учетом того, что для воздуха число Прандтля $Pr = 0,7$ и практически не зависит от температуры [3] зависимость для коэффициента конвективного теплообмена примет вид (рис.1)

$$\alpha = \left[\frac{0,68}{\sqrt{L}} + 0,501 \left(\frac{(T - T_e)}{(T + T_e)\nu^2} \right)^{1/6} \right]^2 \lambda, \quad (4)$$

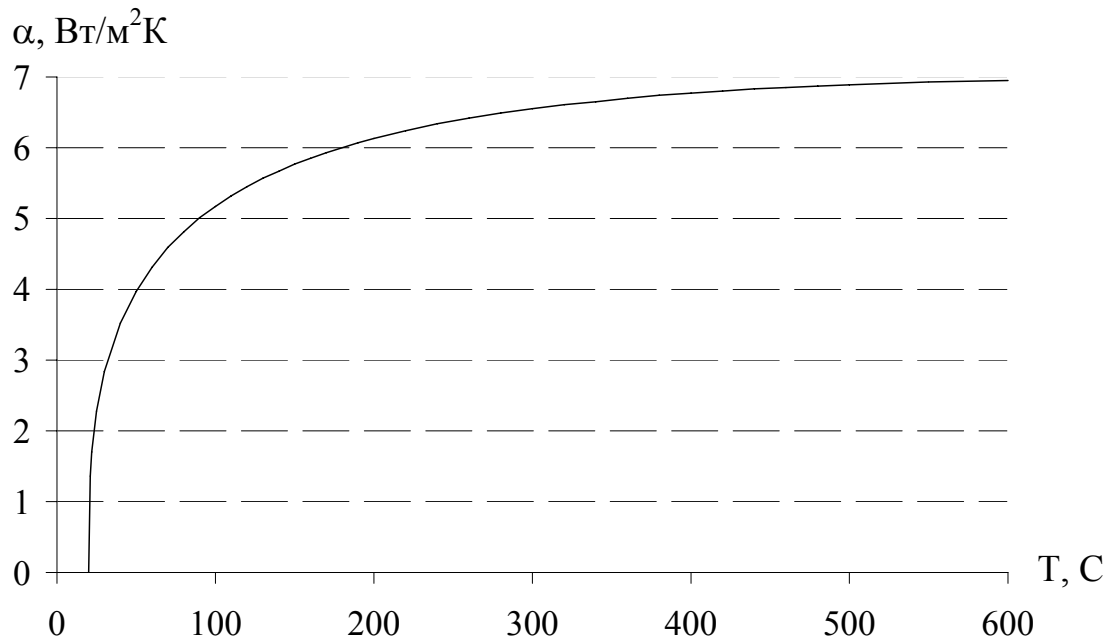


Рис. 1 – Зависимость коэффициента теплоотдачи α от температуры сухой стенки горящего резервуара

Пренебрегая влиянием первого слагаемого в формуле (4) по сравнению со вторым, получим

$$\alpha \approx 0,25 \lambda \sqrt[3]{\frac{T - T_6}{(T + T_6)v^2}}, \quad (5)$$

Рассмотрим теплообмен сухой стенки горящего резервуара при вынужденной конвекции. Вынужденная конвекция происходит под действием внешних сил. В рассматриваемом случае это обтекание резервуара окружающим воздухом под действием ветра. Определим коэффициент теплоотдачи по формуле

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{D}, \quad (6)$$

где D – диаметр резервуара.

Среднее по окружности число Нуссельта определяется по формуле [7]

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62 \left(\frac{wD}{\nu}\right)^{0,5} Pr^{1/3} \left[1 + \left(\frac{wD}{282 \cdot 10^3 \nu}\right)^{5/8}\right]^{4/5}}{\left[1 + \left(\frac{0,4}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}}, \quad (7)$$

где $\frac{wD}{\nu} = Re$ – число Рейнольдса, w – скорость ветра.

Подставив $Pr=0,7$, получим

$$\alpha = \left[\frac{0,3}{D} + 0,483 \left(\frac{w}{\nu}\right)^{1/2} \left[\frac{1}{D^{5/8}} + 3,92 \cdot 10^{-4} \left(\frac{w}{\nu}\right)^{5/8} \right]^{4/5} \right] \lambda, \quad (8)$$

В отличие от свободной конвекции (2) теплопроводность воздуха при вынужденной конвекции определяется только его температурой

$$\lambda = \lambda_0 \left(\frac{T_g}{T_0} \right)^n, \quad (9)$$

На рис. 2 приведен график зависимости коэффициента конвективной теплоотдачи от скорости ветра для резервуара РВС-10000 ($D=28,5$ м) при температуре окружающего воздуха $T_g = 20^\circ\text{C}$.

Таким образом, коэффициент конвективной теплоотдачи пропорционален скорости ветра.

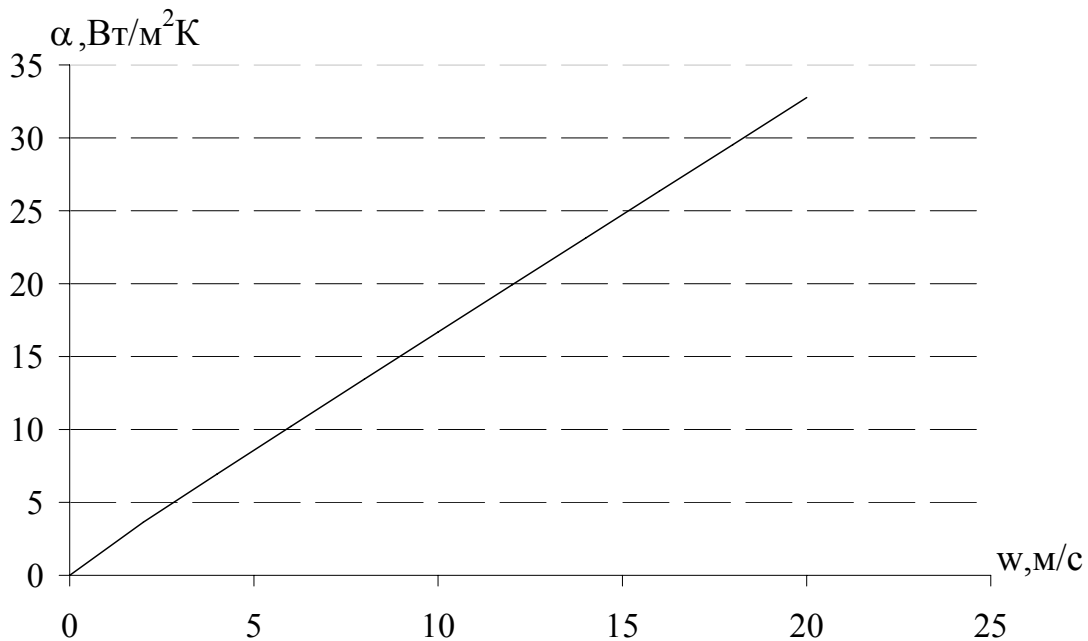


Рис. 2 – Зависимость коэффициента конвективной теплоотдачи α от скорости ветра

Исходя из приведенных выше графиков, для скоростей ветра 3 м/с и больше, вынужденная конвекция превосходит свободную, поэтому при скоростях ветра до 3 м/с при расчетах коэффициента конвективной теплоотдачи α конвекцию необходимо рассматривать как свободную, а при больших скоростях – как вынужденную.

Выводы. Построены оценки параметров математической модели чрезвычайной ситуации техногенного характера, связанной с пожаром в резервуаре с нефтепродуктом. Полученные оценки коэффициентов конвективной теплоотдачи в окружающий воздух показывают, что при скорости ветра менее 3 м/с свободная конвек-

ция преобладает над вынужденной, а при большей скорости ветра необходимо учитывать вынужденную конвекцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Моделирование нагрева сухой стенки горящего резервуара с нефтепродуктом. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2006. – Вып. 20. – С. 3–7.
2. Churchill V.T. Bernstein M. A correlating equation for forced convection from gases and liquids to a circular cylinder in crossflow // J. Heat Transfer, 1977. – V. 99. – P. 300 – 306.
3. Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М. Теплотехника. – М.: Высшая школа, 2002. – 671 с.

УДК 614.8

*Белов В.В., ст. преп., УГЗУ,
Быков В.М., науч. сотр., ИРЭ НАНУ,
Комяк В.А., канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., ИРЭ НАНУ,
Комяк В.В., студент, УГЗУ*

О ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ГАЗА НА ПОДВОДНЫХ УЧАСТКАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ (представлена д-ром физ.-мат. наук Созником А.П.)

Рассматриваются возможности радиотепловых методов дистанционного зондирования по обнаружению утечек газа из подводных участков трубопроводов в зимний период времени за счет изменений электрофизических характеристик льда при наличии газовых вкраплений в ледяном покрове

Постановка проблемы. Наша страна обладает разветвленной сетью магистральных газопроводов как внутреннего, так и экспортного назначения, причем из-за наличия большого количества рек на этих газопроводах имеется значительное количество подводных участков. Диагностика состояния этих участков представляет достаточно сложную задачу и при отсутствии ледяного по-

крова, а с наступлением периода ледостава эти сложности многократно возрастают. При этом ледяной покров существенно повышает опасность таких утечек за счет возможности накопления газа подо льдом в значительном количестве и спонтанного его выброса в атмосферу при повреждении покрова (лунки рыбаков, проход судов и т.д.), что может привести к взрыву. В то же время сам ледяной покров при наличии в воде газовых пузырьков за счет утечки может служить индикатором ее возникновения. Лед является ловушкой для газов и под их воздействием изменяет свою структуру, механические и электрические характеристики. Эти изменения влияют на интенсивность собственного теплового излучения, что может быть измерено радиометрическими приемниками, установленными, например, на санях, автомобиле или на борту летательного аппарата.

Анализ последних исследований и публикаций. Использование свойств льда захватывать газовые пузырьки для исследования водоемов началось сравнительно давно [1]. Пробы льда, взятые на пресных водоемах анализировались с помощью газоанализаторов, спектрометров, оптическими и электрофизическими методами [2]. Исследования показали, что наличие растворенного в воде газа существенно изменяет характеристики льда, который из нее образуется, и изучение его структуры позволяет многое узнать об изучаемом водоеме. Причем важно, что малоподвижный ледяной покров за длительный период своего существования аккумулирует структурные дефекты определенного вида. Накопление структурных дефектов приводит к изменению электрофизических свойств льда, что проявляется в интенсивности собственного теплового излучения покрова и спектральных характеристик в радио- и ИК диапазонах волн. За счет эффектов накопления методы дистанционного зондирования (ДЗ) покрова оказываются более чувствительными, чем методы прямого исследования, например, газового состава атмосферы в данном районе.

Исследования теплового излучения ледяного покрова, характеристикой интенсивности (мощности) которого принято считать яркостную температуру $T_{я}$, позволяют определять многие практически полезные параметры путем решения обратных задач ДЗ. Получая информацию об интенсивности излучения и ее пространственном и спектральном распределении, на основе создания адекватных моделей формирования излучения можно, решая обратную задачу, определить некоторые параметры льда. Наибольший

опыт накоплен в решении задачи определения толщины (возраста) морских льдов (например, [3, 4]) и состояния ледниковых покровов [5]. Пресноводным ледяным покровам, в том числе на реках, посвящено значительно меньше работ [1]. При этом в [2] отмечается, что при существенной толщине (когда можно не учитывать интерференцию излучения в слое льда, $\Delta > \lambda$, Δ - толщина, λ - длина радиоволны) интенсивность радиоизлучения монотонно возрастает с толщиной пресного льда во всем радиодиапазоне. Наличие в слое льда неоднородностей (пузырьков газа) изменяет интенсивность излучения, что позволяет обнаруживать эти зоны по измерениям $T_{я}$, а пространственные распределения $T_{я}$ привязывать к координатам местности. В литературе (например, [1]) также отмечается, что скорость «захвата» газа ледяным покровом, объемная концентрация и размеры пузырьков существенно зависят от скорости нарастания льда, которая, согласно [2], определяется как

$$V_{\Delta} = \frac{\left[\sum_n (-T) \right]^{0,695}}{n}, \quad (1)$$

где n – к-во дней с начала ледостава; T ($^{\circ}C$) – температура воздуха в каждый из дней.

Зная толщину ледяного покрова на день измерений можно по измеренным значениям $T_{я}$ выделить зоны ее аномального уменьшения и таким образом (с учетом «сноса» пузырьков на течении) определить предполагаемое место утечки, а с учетом объемной концентрации рассеивателей определить степень опасности.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является оценка возможностей методов зондирования для решения этой задачи.

Для успешного решения этой задачи необходимо построить или модифицировать математические модели формирования теплового излучения для рассматриваемого случая. Водную поверхность, покрытую льдом, принято представлять [4] как плоскостую среду (воздух – снег – лед - вода). Для пресных водоемов это тем более справедливо, так как лед имеет большую однородность по толщине и параметрам за счет отсутствия существенного волнения. Для такой среды излучение, измеряемое приемником в ат-

мосфере, будет представлять сумму теплового излучения воды, прошедшего сквозь лед и ослабленного в нем, и добавленного собственного излучения льда (наличие снежного покрова опускаем). Интенсивность излучения водной поверхности существенно зависит от величины отражения на границе вода – лед; отражение от границы перехода лед – воздух существенно ниже из-за близости электрических характеристик воды и льда.

Локальные изменения интенсивности излучения такой среды в рассматриваемом случае могут быть вызваны двумя причинами: появлением во льду большого количества рассеивателей [5, 6] или изменением условий на границе перехода вода – лед.

Рассмотрим оба эти случая с точки зрения модификации «слоистой» модели.

Наличие пузырьков в ледяном покрове. Моделирование среды, состоящей (или содержащей) из большого количества рассеивателей подробно рассмотрено в [6, 7]. В этих работах показано, что учет влияния рассеяния может быть осуществлен с использованием такой характеристики среды, как альbedo рассеяния. Альbedo показывает долю рассеяния в общем ослаблении сигнала в среде

$$\omega = \frac{\sigma_{\text{расс}}}{\sigma_{\text{расс}} + \sigma_{\text{погл}}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{расс}}$ и $\sigma_{\text{погл}}$ - сечения рассеяния и поглощения, соответственно.

В соответствии с [7]

$$\sigma_{\text{расс}} = \frac{8}{3} \pi k^4 |\alpha|^2, \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{погл}} = 4 \pi k \text{Im } \alpha, \quad (4)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число; λ - длина радиоволны; α - поляризуемость, определяемая диэлектрическими свойствами рассеивателя $\varepsilon^* = \varepsilon_r + i\varepsilon_i$, среды и его размерами.

Основное отличие рассматриваемого нами случая от [7] в рамках этой модели состоит в том, что пузырьки газа в ледяном по-

крове не представляють «плотної упаковки», т.е. в модельному приближенні більше походять на гідрометеори в атмосфері (характеризуються об'ємною концентрацією N). Для такої середовища альбедо

$$\omega = \frac{N\sigma_{\text{расс}}}{N\sigma_{\text{расс}} + \gamma}, \quad (5)$$

где γ - погонний коефіцієнт поглинання середовища (льда).

Проведенні нами розрахунки показують, що в рамках цієї моделі урахування розсіювання може дати зменшення T_y системи льодовода до 20%. Цей результат суттєво залежить від співвідношення розмірів бульбашки газу і довжини хвилі випромінювання.

Наличие газовой прослойки между льдом и водой. В випадку малої швидкості наростання льда (1) або при високій інтенсивності утечки газу весь його об'єм не може бути захоплено льдом і між льодовим покривом і водою утворюється шар газу, який може бути однорідною прослойкою або шаром слипшихся бульбашок. Обидва ці випадки призводять до того, що порушуються умови переходу (коефіцієнти відбиття) на межі лід – вода. В багаторівневій моделі [4, 6] це еквівалентно введенню між шарами льда і води додаткового шару повітря (газу). Цей шар з малою діелектричною постійною порушить «згодуюче» дію льодяного покриву, значення діелектричної проникності якого знаходяться між льдом і повітрям. Коефіцієнти Френеля на межі збільшаться і частка випромінювання води в загальному випромінюванні середовища упаде. Це призведе до зменшення яскравості температури, що можуть зафіксувати прилади.

Неоднозначність, пов'язану з впливом бульбашок газу в лід і газовою прослойкою (що значно небезпечніше за рахунок можливості швидкого звільнення значного об'єму газу), може бути легко знята паралельним використанням ІК каналу за рахунок вимірювання температури льда. Появлення прослойки порушить теплообмін між льдом і водою, що викличе локальне змінення кінетичної температури льда.

Выводы. Приведенні в роботі модифіковані моделі формування власного теплового випромінювання в радіодіапазоні достатньо адекватні розглядаваній ситуації і можуть служити основою для забезпечення рішення оберненої задачі дис-

танционного зондирования – обнаружения утечек газа на подводных переходах газопроводов в зимний период времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бордонский Г.С. Тепловое излучение ледяного покрова пресных водоемов. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд, 1990. – 104 с.
2. Богородский В.В., Гаврило В.П. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 384 с.
3. Исследование ледяных покровов радиофизическими средствами с аэрокосмических носителей. / В.Б. Ефимов, А.И. Калмыков, В.А. Комяк и др. // Изв. АН СССР. Физика атмосф. и океана. -1985. т.21, №5. -С.512 - 520.
4. Комяк В.А., Пичугин А.П. Влияние гидрометеорологических условий на излучательные характеристики льдов. // Доклады РАН. сер. Геофизика. – 2002. - т.386, № 6. – С. 818 – 821.
5. Гурвич А.С., Калинин В.И., Матвеев Д.Т. Влияние внутренней структуры ледников на их тепловое радиоизлучение // Изв. АН СССР. Физика атмосф. и океана. – 1973. – т. 9, № 12. – С. 1247 – 1257.
6. Абрамов Ю.А., Комяк В.А., Комяк В.М., Рева Г.В., Росоха В.Е. Обнаружение очагов лесных пожаров и прогноз динамики их распространения. - Харьков: АГЗУ, 2004. – 146с.
7. Иванов Н.И., Комяк В.А., Толубенко В.Г., Долгодуш М.Н. Математическая модель излучения пластовых очагов самонагревания в зерновых насыпях // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: АГЗУ. – 2006. – Вып. 19. – С. 55 – 61.

*Горбенко Н.А.,
Созник А.П., д-р физ.-мат. наук, проф., УГЗУ*

НАГРЕВАНИЕ РЕЗЕРВУАРА С НЕФТЬЮ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА

Предложена уточненная модель для оценки температуры нефтепродукта в соседнем с горящим резервуаре, которая позволяет установить время достижения определенной температуры под влиянием теплового излучения

Постановка проблемы. Пожары нефти и нефтепродуктов, хранящихся в резервуарных парках и перерабатываемых на нефтеперерабатывающих предприятиях, являются сложными для ликвидации чрезвычайными ситуациями. При таких пожарах одним из наиболее опасных факторов может быть воспламенение или взрыв соседнего с горящим резервуара [1]. Возникновение такого фактора способствует каскадному развитию пожара, последствия которого зачастую непредсказуемы. Возможность воспламенения или взрыва возникает не только при непосредственном контакте пламени от горящего резервуара с соседними резервуарами, но и вследствие теплопередачи излучением от факела пламени.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [2-4] были рассмотрены вопросы нагрева соседнего с горящим резервуара. Тепловой поток от горящего резервуара рассматривался в [2-4] в виде суммы детерминированного и случайного слагаемых

$$\Phi(t) = F + \xi(t), \quad (1)$$

$$F = \varepsilon \cdot c_0 \Psi \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right], \quad (2)$$

где ε - приведенный показатель черноты, $c_0 = 5,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$, T_1 - средняя температура факела пламени, T - температура обращенной к факелу стороны резервуара, Ψ - интегральный коэффициент облучения, м^2 , t - время. Функция $\xi(t)$ описывает случайный

процесс, который в [2-4] предполагался стационарным с нулевым математическим ожиданием и определенного вида корреляционной функцией.

Дифференциальное уравнение, описывающее нагревание резервуара, имеет вид

$$mcdT = \Phi dt, \quad (3)$$

где m - масса находящегося в резервуаре нефтепродукта, который нагревается в результате теплового облучения, c - его средняя удельная теплоемкость.

Решение уравнения (3) для зависимости температуры T от времени t было найдено в [2,3] в предположении, что $F = \text{const}$. В результате для детерминированной части температуры было найдено выражение

$$\tilde{T}(t) = T_0 + \frac{F}{mc}t. \quad (4)$$

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является оценка температуры T , до которой может нагреться резервуар с нефтью под влиянием лучистого теплового потока от горящего резервуара с учетом того, что в выражении (2) температура зависит от времени, то есть $T = T(t)$.

В этом случае решение уравнения (3) для детерминированного слагаемого можно представить в виде

$$\frac{4\varepsilon_0\Psi \cdot 10^{-8}}{mc}T_1^3t = \ln \frac{(T_1 + T)(T_1 - T_0)}{(T_1 - T)(T_1 + T_0)} + 2\text{arctg} \frac{T_1(T - T_0)}{T_1^2 + TT_0}. \quad (5)$$

В результате, в отличие от выражения (4), получаем более сложную функциональную зависимость температуры T от времени t .

Как и в [2,3] в качестве примера рассмотрим следующую ситуацию. Пусть горит нефть в резервуаре РВС-10000 (диаметр 34,2 м, высота 11,9 м). Предполагая, что факел имеет форму цилиндра высотой 58 м со средней температурой $T_1 = 1500\text{К}$, рассмотрим нагревание соседнего резервуара РВС-10000, находящегося на расстоянии 30 м от горящего резервуара и содержащего 6000 т нефте-

продукта с $c = 2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Предположим также [2,3], что при этом нагревается 188 т нефти. Тогда согласно [5] интегральный коэффициент облучения $\Psi = 47 \text{ м}^2$. Принимая, что $\varepsilon = 0,8$ и $T_0 = 300\text{К}$, можно согласно (5) рассчитать зависимость $T(t)$.

На рис.1 приведены результаты расчетов температуры при нагревании резервуара в зависимости от времени в соответствии с (5). Для сравнения также представлена зависимость, определяемая согласно (4). Кривая 1 на рис.1 рассчитана по формуле (5), кривая 3 – по формуле (4), а кривая 2 рассчитана с использованием формулы (5) с учетом того, что случайный процесс описывается, как и [2,3], корреляционной функцией

$$K_{\xi}(t) = \sigma^2 \exp(-\alpha|t|), \quad (6)$$

где было принято, что $\alpha = 2400^{-1} \text{с}^{-1}$, а среднеквадратичное отклонение $\sigma = F/3$.

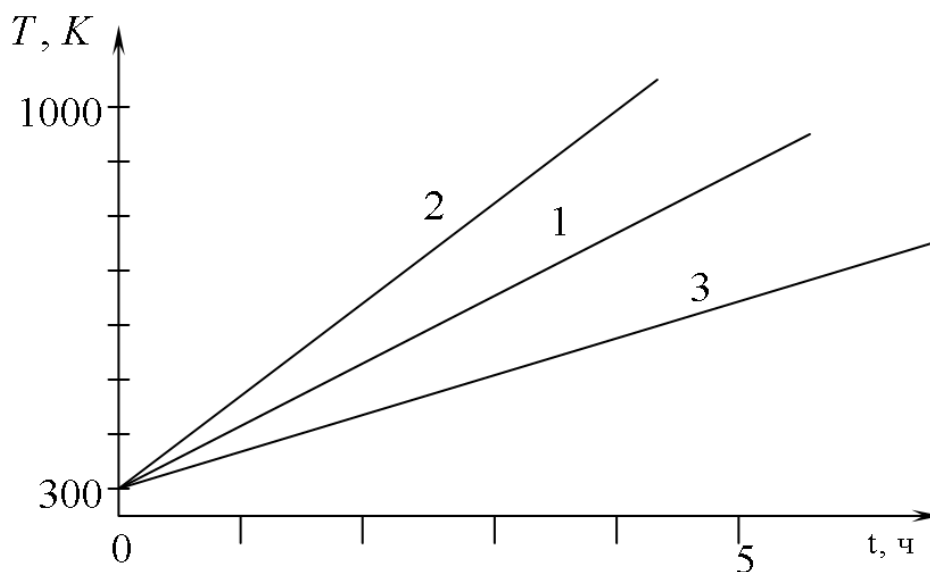


Рис. 1 – Зависимость температуры нефтепродукта от времени: 1 – расчет по формуле (5); 2 – с учетом случайных процессов; 3 – из работы [2]

Из рис. 1 видно, что учет зависимости $T(t)$ в (2) (расчет согласно(5)) приводит к более быстрому нагреванию резервуара по сравнению со случаем, определяемым выражением (4). При этом учет случайных факторов приводит к еще более быстрому возрас-

танию температуры со временем. Из расчетов следует, что с вероятностью $P = 0,1$ температура самовоспламенения нефти ($T = 630\text{K}$) будет достигнута еще раньше, чем дают результаты расчетов [2,3]. В [2,3] было получено, что это время составляет $t \leq 1$ час. Проведенные нами расчеты показывают, что при тех же условиях, что и в [2,3], это время составляет уже $t \geq 1,3$ часа.

Отметим, несмотря на сложную зависимость $T(t)$, даваемую выражением (5), эта зависимость при рассматриваемых нами временах является практически линейной, как и в случае (4).

Выводы. Показано, что при анализе процесса нагревания резервуаров, соседних с горящим, необходимо кроме случайных компонент с большим временем корреляции использовать для нахождения температуры выражение (5) вместо предлагаемого в [2,3] выражения (4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Драйздейл Д. Введение в динамику пожара. М.:Стройиздат,1990. – 424 с.
2. Горбенко Н.А., Говаленков С.В., Басманов А.Е., Созник А.П. Влияние случайных факторов на воспламенение соседних резервуаров при пожаре в резервуарном парке. Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. – Х.:Фолио, 2004. – Вып.15 – С.59-62.
3. Сознік О.П., Горбенко М.О., Говаленков С.В., Басманов О.Є. Вплив випадкових чинників на спалахування резервуарів з нафтопродуктами. Прикладна геометрія та інженерна графіка. - Мелітополь:ТДАТА, 2004. – Т.26, вип..4. – С.24-28.
4. Горбенко Н.А., Алексеев О.П. Влияние тепловых потоков на нагрев резервуара. Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. – Х.:Фолио, 2004. – Спец. вып. – С.38-42.
5. Андриенко В.Н., Басманов А.Е., Говаленков С.В., Созник А.П. Зависимость теплового излучения факелов от их формы. Вісник міжнародного Слов'янського університету. Серія «Технічні науки». - Х.:Яна, 2004. – Т.7, № 2. – С.55-60.

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

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В РЕГЕНЕРАТОРЕ АЭРОТЕНКА

Рассмотрены основные процессы, происходящие в регенераторе. Предложена математическая модель, учитывающая процессы образования хлопьев и дисперсных бактерий, трансформацию загрязнений в биомассу активного ила, а также образование продуктов автолиза

Постановка проблемы. В настоящее время в МЧС Украины уделяется большое внимание предотвращению и реагированию на чрезвычайные ситуации техногенного характера [1]. В частности, в Экспозиционном центре «Наука» НАН Украины в 2008 году МЧС Украины представлены результаты научных исследований, связанных с проблемами в области очистки вод, и разработки приборов обеспечения охраны от загрязнений и мониторинга состояния окружающей среды.

Проблеме очистки вод уделяется большое внимание потому, что биологическая очистка представляет собой чрезвычайно сложное явление, в котором взаимосвязаны разнообразные физико-химические процессы. В механизме очистки участвует большое количество микроорганизмов со специфическими свойствами взаимодействия между собой и с органическими веществами, поступающими со сточными водами. Основные параметры этого процесса должны быть взаимосвязаны, а именно: объем аэротенка, количество и окисляемость загрязнений, время контакта загрязнений с активным илом. Существенное влияние на качество очистки сточных вод оказывает способность активного ила к оседанию, которая определяется всеми перечисленными параметрами и должна соответствовать времени нахождения ила во вторичном отстойнике.

Процесс биологической очистки сточных вод можно описать как непосредственный контакт загрязнений, содержащихся в сточных водах, с оптимальным количеством микроорганизмов активного ила. Протекает этот процесс в присутствии необходимого количества растворенного кислорода в течение определенного пери-

ода времени. В дальнейшем для отделения активного ила от очищенной воды смесь поступает на отстаивание.

Как отмечено в [2], в Харьковской области ежегодно увеличивается объем сточных вод сбрасываемых в водоемы области. Основным источником загрязнений водоемов является сброс недостаточно очищенных и неочищенных бытовых и промышленных сточных вод. Такой сброс можно связать с нарушениями в режиме работы системы аэротенк – вторичный отстойник (вынос активного ила), которые и приводят к попаданию в водоем загрязнений в концентрациях, превышающих допустимые [3, 4]. В результате, как показано в [2-6], это может стать причиной возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с угрозой возникновения различных эпидемий.

Анализ последних исследований и публикаций. Предотвращению загрязнений водоемов сбрасываемыми в них бытовыми и производственными сточными водами в настоящее время уделяется очень серьезное внимание [5, 6]. Для описания процессов, происходящих в системе аэротенк – вторичный отстойник, широко используются методы математического моделирования. Существенным моментом моделей [7-11] является тот факт, что всю цепочку взаимопревращений от входа в аэротенк сточных вод и активного ила и до выхода из вторичного отстойника очищенной воды обычно описывают одной системой уравнений для различных величин. В качестве таких величин чаще всего рассматривают концентрацию субстрата, активного ила (с разделением на отдельные составляющие или без разделения), кислорода и продуктов автолиза [10]. В моделях [7-11] рассматриваются процессы, происходящие в идеальных реакторах типа: реактор периодического действия, реактор идеального перемешивания и проточный реактор идеального вытеснения. Поэтому такой подход, как было показано в [12], является значительно упрощенным и грубым, что приводит либо к недооценке, либо к переоценке существенных факторов очистки сточных вод, так как существующие системы очистки не являются идеальными реакторами.

Постановка задачи и ее решение. Исходя из проведенного анализа [12], нами предлагается все стадии очистки в системе аэротенк – вторичный отстойник условно разделить на четыре фазы, в каждой из которых происходят свои специфические физико-химические процессы. Хотя эти фазы и являются взаимосвязанными, описание явлений в каждой фазе должно, на наш взгляд,

опираться на свою математическую модель. При этом результаты моделирования в каждой фазе должны быть согласованы между собой. Рассматриваемое деление на четыре фазы соответствует конструкции четырех коридорного аэротенка смешительного типа с регенератором и рассредоточенной подачей сточных вод и вторичного отстойника радиального типа.

Рассмотрим более детально первую фазу, протекающую в первом коридоре аэротенка, который представляет собой регенератор. Активный ил, в основном в виде хлопьев, поступает на регенерацию для восстановления своих сорбционных и окислительных свойств. Для насыщения ила кислородом происходит интенсивное аэрирование его воздухом по всей длине коридора. В регенераторе количество остаточных загрязнений, поступающих вместе с илом, мало. Активный ил характеризуется количественным преобладанием в своем составе хлопьев (N_X) и незначительным количеством дисперсных бактерий (N_D). Обычно, иловый индекс на входе в регенератор $J_{вх.рег} \leq 100-120$ мг/л, а доза ила $a_{вх.рег} \approx 10$ г/л [3]. Значения этих величин характеризует способность ила к оседанию.

Образование хлопьев происходит в основном в четвертом коридоре аэротенка и во вторичном отстойнике и обусловлено практически полным окислением органических соединений сточных вод [13]. При интенсивной аэрации возникают большие турбулентные движения жидкости, которые приводят к разрушению хлопьев ила на дисперсные составляющие. Одновременно осуществляется синтез клеток микроорганизмов и окисление трудно окисляемых азотосодержащих органических веществ. Основным строительным материалом для синтеза служат органические вещества, которые были сорбированы хлопьями на выходе из аэротенка и не были израсходованы в отстойнике, а также продукты автолиза.

Такие явления способствуют тому, что к моменту подачи сточных вод во второй коридор аэротенка возникает значительное количество «голодных» дисперсных бактерий, то есть, происходит подготовка микроорганизмов к процессу интенсивного поглощения и переработки органических веществ, содержащихся в сточных водах. Образование дисперсных бактерий является существенным моментом регенерации, так как такие микроорганизмы окисляют органические вещества сточных вод более интенсивно,

чем хлопья. Одновременно в этой фазе происходят процессы автолиза [10] и хищническое уничтожение бактерий бактериофагами и простейшими.

В связи со сказанным выше, отметим, что процессы, происходящие в этой фазе, а также ее длительность оказывают существенное влияние на количество микроорганизмов, поступающих во вторую фазу, а значит и на стабильность работы аэротенка. Поэтому длина первого коридора, количество подаваемого активного ила и воздуха определяют время прохождения рассмотренных выше процессов.

Таким образом, взаимопревращение микроорганизмов в первой фазе можно описать моделью, согласно которой происходит уменьшение количества N_X и увеличение за счет этого количества N_D с одновременным уменьшением N_D за счет самоокисления и отмирания. На выходе из регенератора соотношение $N_D > N_X$. Иловый индекс на выходе из регенератора, как правило, $J_{\text{вых.рег}} > 120$ мг/л, а доза ила $a_{\text{вых.рег}} \approx 6-7$ г/л [4], то есть способность ила к оседанию уменьшается.

Для математического описания явлений, происходящих в регенераторе, будем исходить из известной работы [14], идеи которой были в определенной мере детализированы в [7-11]. Как и в [7-11] будем считать, что происходящие в регенераторе процессы в достаточной мере обеспечены кислородом.

В регенераторе в результате турбулентного движения активного ила, вызываемого интенсивной подачей воздуха, происходит эрозия хлопьев ила и противоположный ей процесс агрегации. Учитывая этот факт, для скорости изменения концентрации хлопьев X можно записать уравнение

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\mu(L+S)}{K_L+L}X + K_2GXZ - \beta X, \quad (1)$$

где L - концентрация загрязнений; μ - максимальная удельная скорость роста хлопьев; K_L - константа полунасыщения; Z - концентрация дисперсных бактерий; k_2 - числовой коэффициент; G - градиент скорости в турбулентном потоке; β - удельная скорость отмирания хлопьев; S - концентрация продуктов автолиза.

В (1) первое слагаемое справа соответствует стандартной модели Моно [15], модифицированной введением множителя $(L+S)$,

который учитывает, что рост хлопьев обусловлен не только потреблением субстрата, но и продуктов автолиза S . Второе, введенное нами слагаемое, описывает увеличение концентрации хлопьев за счет процесса агрегации дисперсных бактерий в хлопья. Третье слагаемое в (1) учитывает убывание хлопьев за счет их отмирания и хищнического уничтожения.

Для описания изменения концентрации дисперсных бактерий нами предлагается следующее уравнение

$$\frac{dZ}{dt} = k_1 G^m X - k_2 GZX + \frac{\mu(L+S)}{K_L + L} Z, \quad (2)$$

где k_1 и m - константы.

Отметим, что в (2) два первых слагаемых справа соответствуют модели, рассмотренной в [7]. Третье слагаемое в (2) учитывает увеличение концентрации дисперсных бактерий за счет окисления субстрата и продуктов автолиза.

Изменение концентрации продуктов автолиза согласно [10] будем описывать уравнением

$$\frac{dS}{dt} = (k_3 - k_4 S)(X + Z), \quad (3)$$

где k_3 - константа скорости образования продуктов автолиза; k_4 - константа скорости окисления продуктов автолиза.

Отметим, что в (3) нами в отличие от [11] учтено, что автолиз является результатом деятельности хлопьев и дисперсных бактерий. Как и в модели Моно [15] изменение концентрации субстрата описываем уравнением

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{1}{Y} \frac{\mu}{K_L + L} (X + Z)L, \quad (4)$$

где Y - коэффициент трансформации субстрата в биомассу. В (4) нами в отличие от [7] учтено также, что биомассу составляют хлопья и дисперсные бактерии.

Предложенные выше уравнения (1)-(4) представляют собой систему нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка. Исходя из физических соображений [7-11], решение этой

системы следует искать с такими начальными условиями: $X(0) = X_i$, $Z(0) = 0$, $S(0) = S_i$, $L(0) = L_i$. В этих граничных условиях нами учтено, что на входе в регенератор дисперсные бактерии практически отсутствуют, так как они не обладают седиментационными свойствами и выносятся вместе с очищенной водой. Нами предполагается также, что продукты автолиза образуются уже в процессе отстаивания и в определенной концентрации S_i поступают в регенератор. Величина L_i описывает концентрацию остаточного сорбированного хлопьями субстрата.

Решение системы (1)-(4) следует рассматривать на временном интервале $[0, T_p]$. Время регенерации T_p определяется равенством $T_p = V_p/Q_p$, где V_p - объем регенератора, м³, а Q_p - расход активного ила, м³/с. Полученные в результате решения системы (1)-(4) значения концентраций $X(T_p)$, $Z(T_p)$, $S(T_p)$ и $L(T_p)$ следует рассматривать как исходные концентрации для описания процессов во второй фазе аэротенка

Выводы. Решение задачи описания происходящих в регенераторе процессов является составной частью проблемы исследования всех явлений биологической очистки сточных вод. Нами предложена система четырех обыкновенных дифференциальных уравнений, которые описывают изменения концентраций хлопьев, дисперсных бактерий, продуктов автолиза и субстрата в регенераторе аэротенка, то есть в первой фазе процесса очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.mns.gov.ua/news_show.php?news_id=7544&p=1
2. Кравчук А.Л., Капусник І.В. Екологічна ситуація в Харківській області. / Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов. / Сб.научн.трудов XII междунар.научно-техн.конф.// Под ред. С.В. Разметаева, В.Ф. Костенко: Том II. – Х., 2004. – С.19-22.
3. “Охрана поверхностных вод от загрязнения” СанПиН № 4630-88. М.: Стройиздат, 1988. – 119 с.
4. СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» - М.: Стройиздат, 1985. – 75 с.
5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році. – К.: 2007. – 236 с.

6. 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.
7. Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. М.: Наука, 1979. – 119 с.
8. Брагинский Л.Н. и др. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод. – Л.: Химия, 1980. – 144 с.
9. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. М.: Наука, 1983. – 158 с.
10. Олійник О.Я., Зябліков С.М. Особливості моделювання очистки стічних вод у системі аеротенк-відстійник-регенератор Зб.наук.пр. “Проблеми водопостачання, водовідведення та гідрравліки”. — Київ: - Вип. 4, 2005. — С. 46-53.
11. Шарифуллин В.Н., Зиятдинов Н.Н., Конончук О.Л. Моделирование системы аэробной биоочистки сточных вод. //Биотехнология. – М., 1999. - №5. – С.55-60.
12. Созник А.П., Горносталь С.А. Анализ существующих моделей аэробной биологической очистки. – Харків: УЦЗУ, 2007. – С.121-127.
13. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Химия воды и микробиология. – М.: Стройиздат, 1995. – 208 с.
14. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1976. - 288 с.
15. Monod J. La technique de culture continue theorie and applications. – Ann. Institut Pasteur, 1950. – 79 с.

УДК 351.861

*Грінченко Є.М., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,
Кірочкін О.Ю., наук. співр., УЦЗУ,
Тютюник В.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр., УЦЗУ,
Шевченко Р.І., канд. техн. наук, нач. лаб., УЦЗУ*

ІНТЕГРАЛЬНА СИСТЕМА БЕЗПЕКИ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ, ЯК СКЛАДОВИХ ДЕРЖАВНОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНО-ЧАСОВОЇ ПАРАМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ. ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕКИ

(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

У роботі розглянуті основи побудови інтегральної системи безпеки державної територіально-часової параметричної системи (ДТЧПС) від надзвичайних ситуацій (НС), сформовано принцип комплексної оцінки небезпек та проведено аналіз стану регіонів України з його урахуванням

Постановка проблеми. Сучасний розвиток України невід'ємно пов'язаний із швидким зростанням щільності населення, рівня промисловості, рівня економічної та політичної євроінтеграції.

Зворотнім боком даного процесу є підвищення рівня ризику виникнення надзвичайних ситуацій різного характеру від об'єктового до глобального рівнів [1].

Територія України, як об'єкт життєдіяльності, є складною системою управління з територіально-часовим імовірнісним розподілом технічно-технологічних, соціально-політичних та економічних параметрів. Елементами такої системи є підсистеми нижчого рівня – її регіони.

Щорічний аналіз кількості НС та їх територіальний розподіл (рис. 1, 2), який має місце в Україні протягом останніх років [2 – 6] досить переконливо доводить динаміку стабільного погіршення стану як техногенної, так і природної безпеки регіонів України [7 – 9], що свідчить про недосконалість державної системи безпеки і відповідно малу ефективність регламентованих заходів.

Одним із шляхів підвищення ефективності безпеки системи є стале підвищення рівня безпеки регіонів, що в свою чергу не можливе без принципового перегляду, з метою їх чіткого визначення, принципів побудови системи безпеки [10].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням безпеки окремих типів об'єктів або окремих їх рівнів приділено досить багато уваги в науковій літературі [11 – 14]. Це розробка математичних моделей, що досить повно описують процеси виникнення окремих НС [15, 16], моделей з їх ліквідації [17, 18], тощо. Це удосконалення системи з прийняття управлінських рішень [19], розробка практичних рекомендацій з технічних [20], психологічних [21], організаційних [22] аспектів функціонування окремих систем безпеки, сил та засобів локалізації та ліквідації НС.

В той же час, недостатня ефективність останніх спонукає до перегляду базових принципів їх побудови, а саме вузької корпоративності з розгляду проблеми безпеки у рамках чітко визначених підходів та методів сфери застосування (технічні, психологічні, організаційні, управлінські та інші аспекти).

На наш погляд, суттєвим зрушенням в цій сфері є формування інтегральної системи безпеки, що базується на цілому ряді принципів, одним з яких є принцип комплексної оцінки низки небезпек зовнішнього та внутрішнього характеру з послідуєчим прогнозуванням та прийняттям відповідних антикризових рішень, які в свою чергу поєднують технічні, психологічні, організаційні та інші заходи відповідно до їх внеску в ефективне функціонування системи безпеки.

З іншого боку, доцільним є використання вже існуючого технічного та економічного потенціалу з попереднім аналізом його ефективності та відповідності запропонованим принципам.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є: по-перше, розгляд основ побудови інтегральної системи безпеки від надзвичайних ситуацій регіонального та державного рівнів; по-друге, формування принципу комплексної оцінки небезпеки регіонів; по-третє, аналіз небезпечного стану регіонів України та відгуку на НС існуючого нормативно-правового, технічного та економічного потенціалу системи безпеки з урахуванням сформованого принципу.

На рис. 3 проілюстровані умови функціонування регіональної територіально-часової параметричної підсистеми, що дозволяє сформулювати принцип комплексної оцінки небезпеки НС та розкрити його місце у постійному процесі запобігання проявам внутрішніх та зовнішніх небезпек.

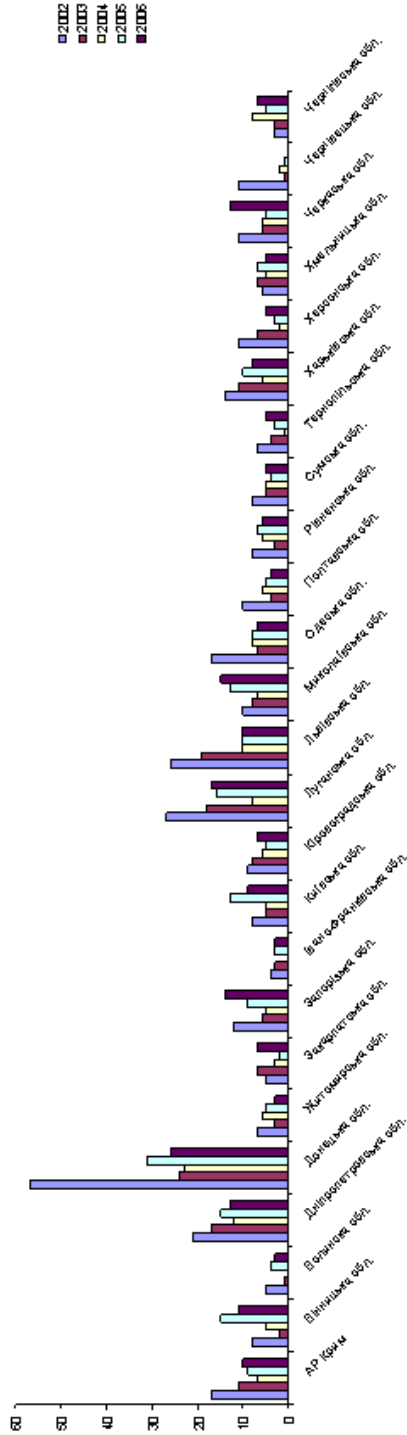


Рис. 1 – Розподіл по території України надзвичайних ситуацій техногенного характеру у період 2002-2006 рр. [2 – 6]

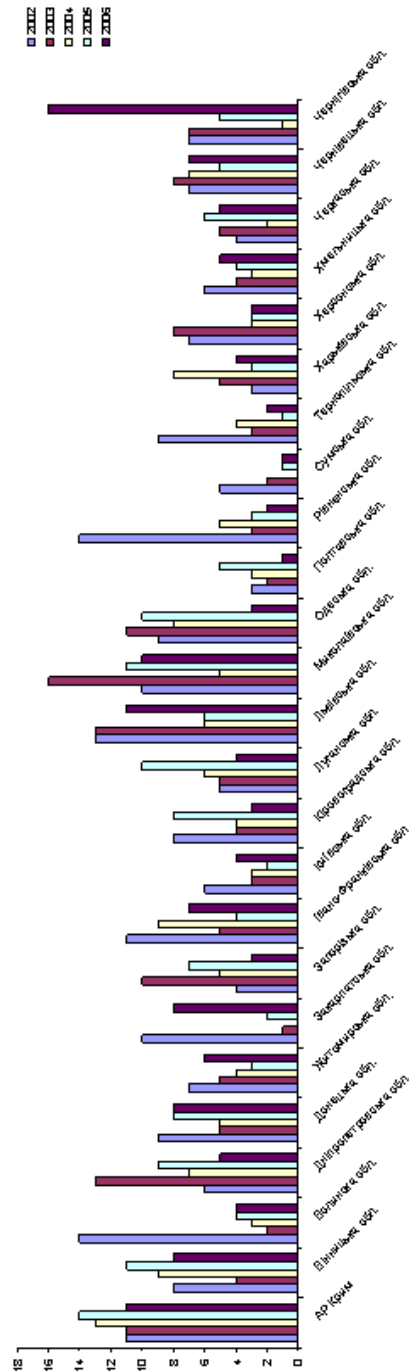


Рис. 2 – Розподіл по території України надзвичайних ситуацій природного характеру у період 2002-2006 рр. [2 – 6]

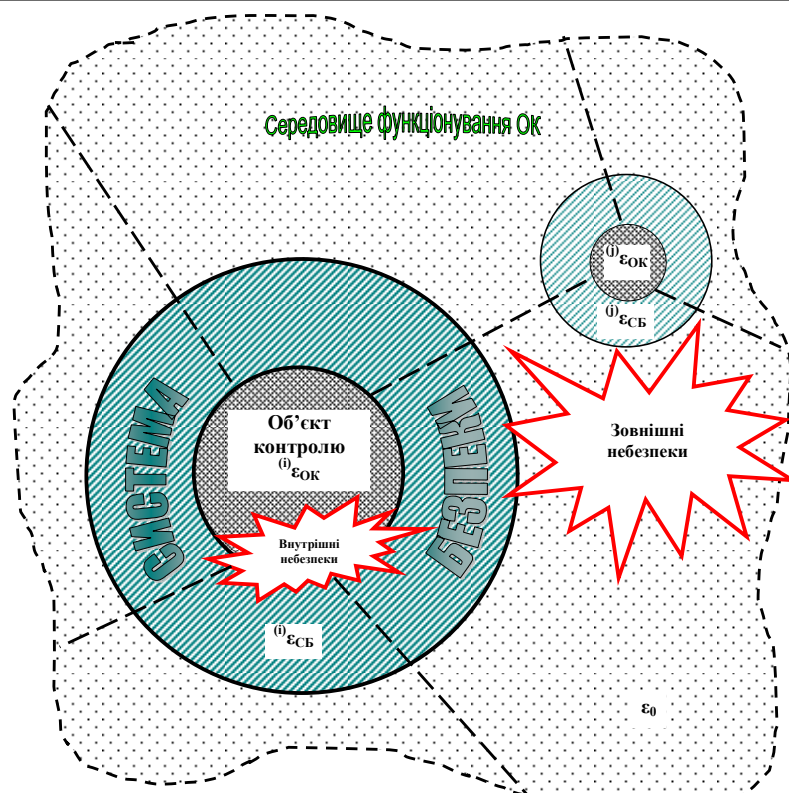


Рис. 3 – Концептуальна схема функціонування інтегральної системи безпеки від надзвичайних ситуацій (ϵ_0 ; ϵ_{OK} ; ϵ_{CB} – властивості: середовища в якому функціонує об’єкт; об’єкту контролю (OK); системи безпеки від НС)

Аналіз взаємозв’язку внутрішніх та зовнішніх небезпек на функціонування ДТЧПС, до складу якої входять соціально-технічно-природні підсистеми наведено у табл. 1. До соціально-технічно-природних підсистем слід віднести як об’єкт контролю, систему безпеки від НС, так і самі небезпеки викликані надзвичайними ситуаціями.

Таблиця 1 – Взаємозв’язок соціально-технічно-природних підсистем в ДТЧПС

	Середовище функціонування ОК	Об’єкт контролю	Система безпеки
Зовнішні небезпеки	безпосередній вплив	$\epsilon_{CB}\epsilon_0$	ϵ_0
Внутрішні небезпеки	$\epsilon_{OK}\epsilon_{CB}$	безпосередній вплив	ϵ_{OK}

Інтегральна система безпеки регіонів України, як складових державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки

Аналіз взаємозв'язку розглянутих підсистем ДТЧПС дозволяє сформулювати принцип комплексної оцінки небезпек шляхом введення інтегрального показнику ефективності відгуку ДТЧПС в умовах НС ($(\text{ДТЧПС})K_m^{\text{небезп.}}$), а саме коефіцієнту небезпеки окремих складових (i -тих регіонів – $(i)K_m^{\text{небезп.}}$) та має наступний вигляд

$$(\text{ДТЧПС})K_m^{\text{небезп.}} = \frac{\sum_{i=1}^n (i)K_m^{\text{небезп.}}}{n}; \quad (1)$$

$$(i)K_m^{\text{небезп.}} = f\left((i)k_m^{\text{техн.}}, (i)k_m^{\text{прир.}}, (i)k_m^{\text{соц.-політ.}}, (i)k_m^{\text{воєн.}}\right),$$

де $(i)k_m^{\text{техн.}}$, $(i)k_m^{\text{прир.}}$, $(i)k_m^{\text{соц.-політ.}}$, $(i)k_m^{\text{воєн.}}$ – показники небезпек: техногенного, природного, соціально-політичного, воєнного характеру [23] i -го регіону; n – кількість регіонів, що входить до складу ДТЧПС; m – стан системи – рис. 4.

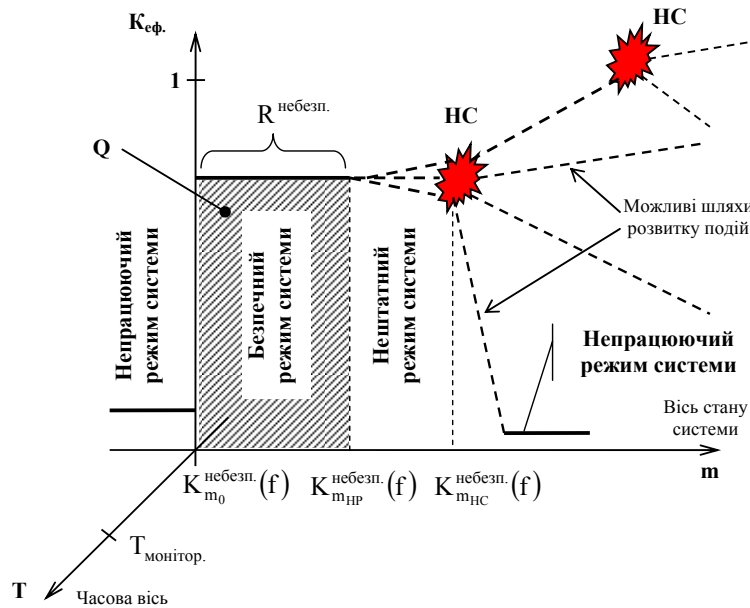


Рис. 4 – Відносно-часове відображення режимів функціонування ДТЧПС ($K_{\text{эф.}}$ – коефіцієнт ефективності функціонування системи; $Q(K_{\text{эф.}}; R^{\text{небезп.}})$ – надійності системи; $R^{\text{небезп.}}$ – ризик небезпеки ($10^{-10} \div 10^{-4}$ [24]); $K_{m_0}^{\text{небезп.}}(f)$ – показник небезпеки системи на початковому етапі функціонування m_0 ; $K_{m_{НР}}^{\text{небезп.}}(f)$ – показник небезпеки системи у нештатному режимі $m_{НР}$; $K_{m_{НС}}^{\text{небезп.}}(f)$ – показник небезпеки системи в умовах надзвичайної ситуації $m_{НС}$; $T_{\text{монітор.}}$ – часова точка проведення поточного моніторингу функціонування системи)

Показники небезпек можливо представити наступним чином

$${}^{(i)}k_m^\lambda = f\left({}^{(i)}\alpha_m^\lambda, {}^{(i)}\beta_m^\lambda, {}^{(i)}\chi_m^\lambda, {}^{(i)}\mu_m^\lambda, {}^{(i)}\varphi_m^\lambda, {}^{(i)}S_m^\lambda, {}^{(i)}N_m^\lambda, {}^{(i)}N_{\lambda_m}^{насел.}, {}^{(i)}U_m^\lambda\right), \quad (2)$$

де λ – вказівник небезпеки згідно (1); ${}^{(i)}\alpha_m^\lambda$, ${}^{(i)}\beta_m^\lambda$, ${}^{(i)}\chi_m^\lambda$, ${}^{(i)}\mu_m^\lambda$ та ${}^{(i)}\varphi_m^\lambda$ – технічні, природні, соціальні (економічні, правові, політичні та інші), індивідуально-фізіологічні (психологічні, медичні та інші) чинники та показник ефективності стану підсистем безпеки та моніторингу λ небезпеки; ${}^{(i)}S_m^\lambda$ – територіально-географічний показник; ${}^{(i)}N_m^\lambda$, ${}^{(i)}U_m^\lambda$ – показники кількості НС λ характеру, що відбулися в режимі функціонування системи – $m(T_{монитор.})$, та різні втрати від них; ${}^{(i)}N_{\lambda_m}^{насел.}$ – показник кількості населення, яке має взаємовідношення до НС λ характеру.

Аналізуючи існуючу систему безпеки міст України, з урахуванням принципу комплексної оцінки небезпек, за складовими небезпеки техногенного ($\lambda = "техн."$) та природного ($\lambda = "прир."$) характерів дозволив, не обмежуючи загальності підходу (2), складову небезпеки техногенного характеру для i -го регіону (рис. 3) представити наступним чином

$${}^{(i)}k_m^{техн.} = {}^{(i)}N_m^{техн.*} \cdot \frac{{}^{(i)}N_m^{насел.*}}{({}^{(i)}S_m^*)} \cdot {}^{(i)}k_m^{техн.*} \cdot {}^{(i)}U_m^{техн.*}, \quad (3)$$

де ${}^{(i)}N_m^{техн.*} = \frac{{}^{(i)}N_m^{техн.}}{\sum_i {}^{(i)}N_m^{НС}}$ – відносна кількість НС техногенного характеру, що виникло у i -му регіоні;

${}^{(i)}N_m^{техн.}$ – кількість НС техногенного характеру у i -му регіоні; $\sum_i {}^{(i)}N_m^{НС}$ – загальна кількість НС, що виникло в Україні;

${}^{(i)}N_m^{насел.*} = \frac{{}^{(i)}N_m^{насел.}}{\sum_i {}^{(i)}N_m^{насел.}}$ – відносна кількість населення у i -му регіоні;

${}^{(i)}N_m^{насел.}$ – кількість населення у i -му регіоні; $\sum_i {}^{(i)}N_m^{насел.}$ – загальна кількість населення України;

${}^{(i)}S_m^* = \frac{{}^{(i)}S_m}{\sum_i {}^{(i)}S_m}$ – відносна площа території i -го регіону; ${}^{(i)}S_m$ – площа території i -го регіону; $\sum_i {}^{(i)}S_m$ – загальна площа території України; ${}^{(i)}U_m^{\text{техн.}*} = \frac{{}^{(i)}U_m^{\text{техн.}}}{\sum_i {}^{(i)}U_m^{\text{техн.}}}$ – відносний показник втрат від НС техногенного характеру у i -му регіоні; ${}^{(i)}U_m^{\text{техн.}}$ – втрати від НС техногенного характеру у i -му регіоні; $\sum_i {}^{(i)}U_m^{\text{техн.}}$ – загальні втрати від НС техногенного характеру в Україні; ${}^{(i)}k_m^{\text{техн.}*} = f\left({}^{(i)}\alpha_m^{\text{техн.}}, {}^{(i)}\beta_m^{\text{техн.}}, {}^{(i)}\chi_m^{\text{техн.}}, {}^{(i)}\mu_m^{\text{техн.}}, {}^{(i)}\varphi_m^{\text{техн.}}, {}^{(i)}S_m^{\text{техн.}}\right)$ – коефіцієнт, який відображає властивості i -го регіону України за техногенною небезпекою з урахуванням чинників – (2). Крім того, у роботах [8, 10] проведено розрахунок коефіцієнту ${}^{(i)}k_m^{\text{техн.}*}$ при аналізі хімічної небезпеки регіонів України.

Складову небезпеки природного характеру i -го регіону можливо представити наступним чином

$${}^{(i)}k_m^{\text{нрп.}*} = {}^{(i)}N_m^{\text{нрп.}*} \cdot \frac{{}^{(i)}N_m^{\text{насел.}*}}{({}^{(i)}S_m^*)} \cdot {}^{(i)}k_m^{\text{нрп.}*} \cdot {}^{(i)}U_m^{\text{нрп.}*}, \quad (4)$$

де ${}^{(i)}N_m^{\text{нрп.}*} = \frac{{}^{(i)}N_m^{\text{нрп.}}}{\sum_i {}^{(i)}N_m^{\text{НС}}}$ – відносна кількість НС природного характеру, що виникло у i -му регіоні; ${}^{(i)}N_m^{\text{нрп.}}$ – кількість НС природного характеру у i -му регіоні; $\sum_i {}^{(i)}N_m^{\text{НС}}$ – загальна кількість НС, що виникло в Україні; ${}^{(i)}U_m^{\text{нрп.}*} = \frac{{}^{(i)}U_m^{\text{нрп.}}}{\sum_i {}^{(i)}U_m^{\text{нрп.}}}$ – відносний показник втрат від НС природного характеру у i -му регіоні; ${}^{(i)}U_m^{\text{нрп.}}$ – втрати від НС природного характеру у i -му регіоні; $\sum_i {}^{(i)}U_m^{\text{нрп.}}$ – загальні втрати від НС природного характеру в Україні; ${}^{(i)}k_m^{\text{нрп.}*} = f\left({}^{(i)}\alpha_m^{\text{нрп.}}, {}^{(i)}\beta_m^{\text{нрп.}}, {}^{(i)}\chi_m^{\text{нрп.}}, {}^{(i)}\mu_m^{\text{нрп.}}, {}^{(i)}\varphi_m^{\text{нрп.}}, {}^{(i)}S_m^{\text{нрп.}}\right)$ – коефіцієнт

ент, який відображає властивості i -го регіону України за природною небезпекою з урахуванням чинників – (2). Аналіз ${}^{(i)}k_m^{nрир.*}$ було зроблено у роботі [9], де показано можливість взаємозв'язку між чинниками, які ініціюють НС природного характеру та безпосередньо вражаючими при виникненні даних НС.

У результаті застосування наведених формул (3) та (4) і на підставі офіційно оприлюдненої інформації щодо стану об'єктів та росту внутрішнього валового продукту (ВВП), як базового показника стану системи [8, 10], отримані наступні вирази (5, 6) та зміни якісної характеристики безпеки регіонів України за техногенною та природною складовою – рис. 5-8 та табл. 2 (де $\Delta VVP^m = \frac{VVP_{m-1}}{VVP_m}$ – характеристика зміни зростання внутрішнього валового продукту; VVP_{m-1} – приріст ВВП у період $(m-1)$; VVP_m – приріст ВВП, який прогнозується у період m).

$${}^{(i)}k_m^{техн.**} = {}^{(i)}N_m^{техн.*} \frac{{}^{(i)}N_m^{насел.*}}{({}^{(i)}S_m^*)}. \quad (5)$$

$${}^{(i)}k_m^{нрир.**} = {}^{(i)}N_m^{нрир.*} \frac{{}^{(i)}N_m^{насел.*}}{({}^{(i)}S_m^*)}. \quad (6)$$

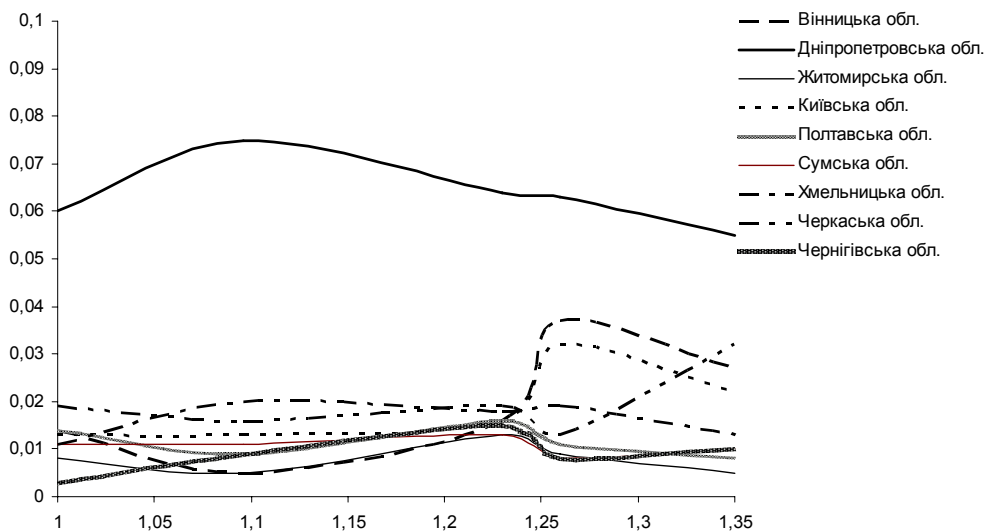


Рис. 5 – Динаміка зміни ${}^{(i)}k_m^{техн.}$ у центральних та північних регіонах України у відповідності до зміни ΔVVP^m у 2003-2006 р.р.**

Інтегральна система безпеки регіонів України, як складових державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки

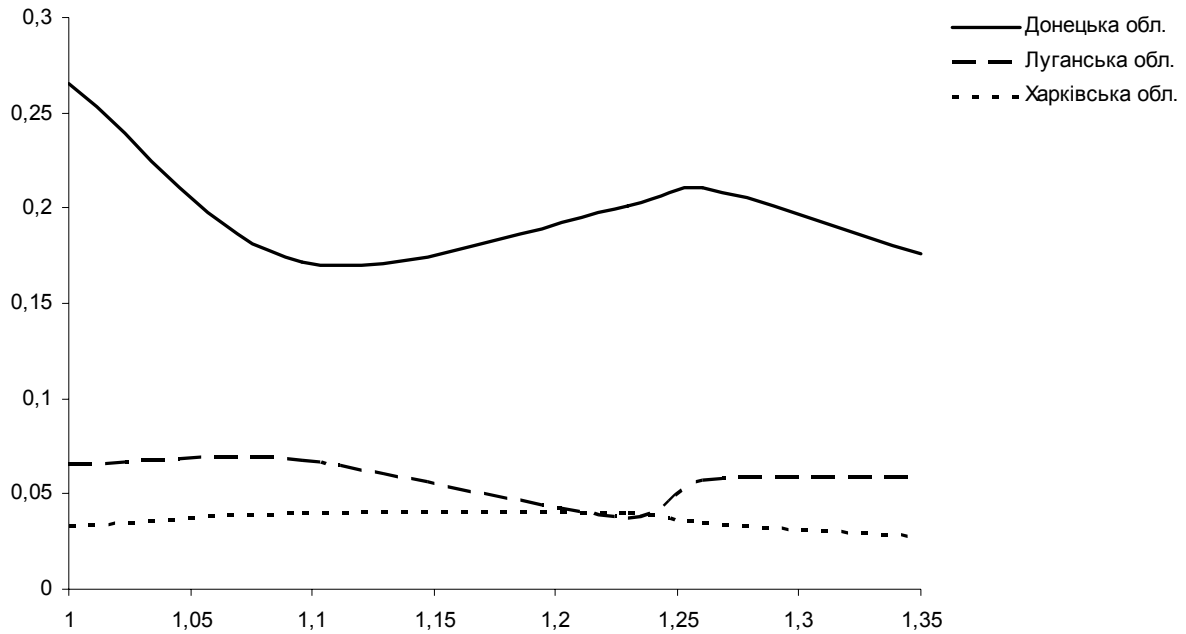


Рис. 6 – Динаміка зміни $(i)K_m^{mech.}$ у східних регіонах України у відповідності до зміни $\Delta BВП^m$ у 2003-2006 р.р.

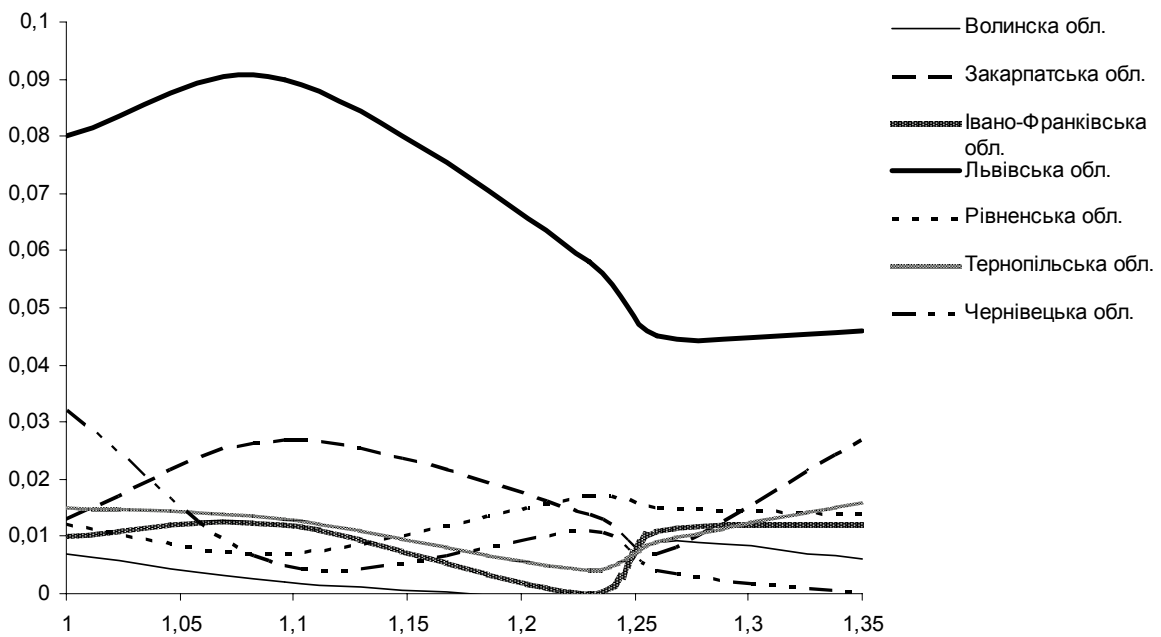


Рис. 7 – Динаміка зміни $(i)K_m^{mech.}$ у західних регіонах України у відповідності до зміни $\Delta BВП^m$ у 2003-2006 р.р.

Таблиця 2 – Динаміка зміни $(i)K_m^{прпр.}$ у регіонах України у відповідності до зміни $\Delta ВВП^m$ у 2003-2006 р.р.

Назва регіону (i)	$(i)S_m^*$	(2002 р.)		$\Delta ВВП = 1,096$ (2003 р.)		$\Delta ВВП = 1,23$ (2004 р.)		$\Delta ВВП = 1,26$ (2005 р.)		$\Delta ВВП = 1,35$ (2006 р.)	
		$(i)N_{мисл.}^*$ т	$(i)K_{прпр.}^{прпр.}$ т/млн.чол.	$(i)N_{мисл.}^*$ т	$(i)K_{прпр.}^{прпр.}$ т/млн.чол.	$(i)N_{мисл.}^*$ т	$(i)K_{прпр.}^{прпр.}$ т/млн.чол.	$(i)N_{мисл.}^*$ т	$(i)K_{прпр.}^{прпр.}$ т/млн.чол.	$(i)N_{мисл.}^*$ т	$(i)K_{прпр.}^{прпр.}$ т/млн.чол.
АР Крим	0,045	0,044	0,021	0,046	0,033	0,044	0,047	0,044	0,039	0,045	0,031
Вінницька обл.	0,044	0,039	0,014	0,04	0,011	0,039	0,029	0,039	0,027	0,039	0,020
Волинська обл.	0,034	0,023	0,019	0,024	0,004	0,023	0,008	0,023	0,008	0,024	0,008
Дніпропетровська обл.	0,053	0,078	0,017	0,08	0,057	0,078	0,038	0,078	0,038	0,079	0,021
Донецька обл.	0,044	0,106	0,042	0,109	0,036	0,106	0,044	0,106	0,055	0,105	0,054
Житомирська обл.	0,05	0,031	0,008	0,031	0,009	0,03	0,009	0,03	0,005	0,03	0,010
Закарпатська обл.	0,021	0,028	0,025	0,029	0,004	0,028	0	0,028	0,007	0,029	0,030
Запорізька обл.	0,045	0,042	0,007	0,043	0,028	0,042	0,017	0,042	0,019	0,042	0,008
Івано-Франківська обл.	0,023	0,031	0,028	0,032	0,020	0,031	0,044	0,031	0,015	0,032	0,027
Київська обл.	0,047	0,04	0,010	0,041	0,008	0,04	0,009	0,04	0,005	0,04	0,010
Кіровоградська обл.	0,041	0,025	0,009	0,025	0,007	0,025	0,009	0,025	0,014	0,024	0,005
Луганська обл.	0,044	0,056	0,012	0,058	0,019	0,056	0,028	0,056	0,036	0,055	0,014
Львівська обл.	0,036	0,057	0,040	0,059	0,062	0,057	0,035	0,058	0,027	0,059	0,051
Миколаївська обл.	0,041	0,028	0,013	0,001	0,001	0,028	0,012	0,028	0,021	0,028	0,019
Одеська обл.	0,055	0,054	0,017	0,055	0,032	0,054	0,028	0,054	0,028	0,055	0,008
Полтавська обл.	0,048	0,036	0,004	0,037	0,004	0,036	0,008	0,030	0,011	0,035	0,002
Рівненська обл.	0,033	0,026	0,021	0,027	0,007	0,026	0,014	0,026	0,007	0,027	0,005
Сумська обл.	0,039	0,029	0,007	0,03	0,004	0,029	0,000	0,029	0,002	0,028	0,002
Тернопільська обл.	0,023	0,025	0,019	0,026	0,010	0,025	0,016	0,025	0,003	0,025	0,006
Харківська обл.	0,052	0,064	0,007	0,065	0,018	0,064	0,036	0,064	0,010	0,065	0,014
Херсонська обл.	0,047	0,027	0,008	0,028	0,014	0,027	0,006	0,027	0,005	0,026	0,005
Хмельницька обл.	0,034	0,033	0,011	0,034	0,012	0,033	0,011	0,033	0,011	0,031	0,013
Черкаська обл.	0,035	0,031	0,007	0,031	0,013	0,031	0,006	0,031	0,015	0,03	0,012
Чернівецька обл.	0,013	0,02	0,020	0,021	0,036	0,02	0,038	0,02	0,021	0,021	0,031
Чернігівська обл.	0,053	0,028	0,007	0,029	0,006	0,028	0,002	0,028	0,008	0,026	0,023

Інтегральна система безпеки регіонів України, як складових державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки

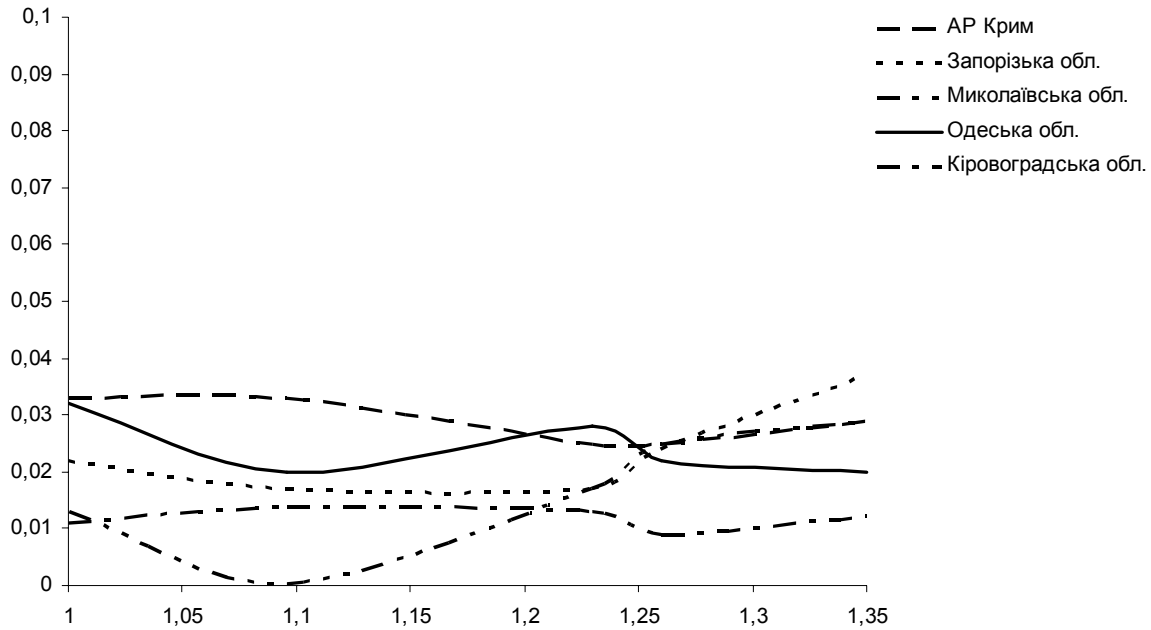


Рис. 8 – Динаміка зміни $(i)k_m^{техн.}$ у південних регіонах України у відповідності до зміни $\Delta ВВП^m$ у 2003-2006 р.р.

Висновки.

1. В роботі сформовано принцип комплексної оцінки небезпек, що базується на всебічному аналізі взаємовпливу небезпек різної природи на стан об'єкту контролю, кількісною мірою якого є інтегральний коефіцієнт безпеки регіонів (ДТЧПС).

2. Безпечний режим функціонування (Q) ДТЧПС (рис. 4) в поняттях відносно-часового розподілу визначається співвідношення між ефективністю використання системи ($K_{ef.}$) та прийнятним ризиком безпеки ($R^{небезп.}$).

3. Застосування сформованого принципу комплексної оцінки безпеки з урахуванням існуючого нормативно-правового, технічного та економічного потенціалу дозволяє визначити три рівні стану безпеки регіонів: $[0 \div 0.05]$ – стабільний; $[0.05 \div 0.1]$ – небезпечний (Луганська, Харківська, Дніпропетровська та Львівська області); $[більш 0.1]$ – особливо небезпечний (Донецька область), що у свою чергу підтверджується статистикою виникнення НС протягом 2007 року.

4. Достовірність результатів визначається якістю наданої інформації, що вимагає чіткого визначення та дотримання наступного принципу побудови інтегральної системи безпеки – плано-

вості, всебічності, достовірності та відсутності дублювання інформації що надходить.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю. та інші Моніторинг надзвичайних ситуацій. – Харків: АЦЗУ, 2005. – 530 с.
2. Національна доповідь „Про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2002 році” – К.:Чорнобильінтерінформ, 2003. – 291 с.
3. Національна доповідь „Про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2003 році” – К.:Чорнобильінтерінформ, 2004. – 435 с.
4. Національна доповідь „Про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2004 році” – К.:Чорнобильінтерінформ, 2005. – 360 с.
5. Національна доповідь „Про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 році” – К.:Чорнобильінтерінформ, 2006. – 375 с.
6. Національна доповідь „Про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році” – К.:Чорнобильінтерінформ, 2007. – 235 с.
7. Абрамов Ю.О., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. Аналіз хімічно небезпечного стану регіонів України // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. – № 4. – С. 16 – 28.
8. Абрамов Ю.А., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. Взаимосвязь иницирующих и поражающих факторов чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Украины // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. – № 5. – С. 8 – 17.
9. Кірючкін О.Ю., Мурін М.М., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. – № 6. – С. 62 – 73.
10. Тютюник В.В., Шевченко Р.І. Формування критерію „ефективність” – „інтегральна ціна”, як основи принципу комплектування технічними засобами інтегральної системи безпеки. // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. – Харьков: УГЗУ, 2008. – Вып. 23. – С. 202 – 216.

11. Махутов Н.А., Осипов В.И., Гаденин М.М. и др. Научные основы обеспечения безопасности России // ВИНТИ. Пробл. безоп. при чрезв. ситуациях. – 2002. – вып. 5. – С. 15 – 26.
12. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Алехин С.В. и др. Стратегическое управление системами безопасности городов на основе информационных и компьютерных технологий // ВИНТИ. Пробл. безоп. при чрезв. ситуациях. – 2000. – вып. 2. – С. 102 – 109.
13. Абдурахманов М.И., Баришпольц В.А., Манилов В.Л., Пирумов В.С. Основы национальной безопасности – М.: Друза, 1998. – 327 с.
14. Арсеньев В.Г., Николаев А.Ю. От интеллектуальных домов – к интеллектуальным городам. Некоторые принципы построения охранных систем // Противопожар. и аварийно-спасат. средства. – 2004. – № 3. – С. 34.
15. Дьяков В.И. Моделирование и оценка рисков // Трубопровод. трансп. нефти. – 2004. – № 3. – С. 31 – 32.
16. 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.
17. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени: Учебное пособие / Под общ. ред. С.А. Смирнова. – Звенигород: Изд. ГУ МО «СЦ «Звенигород», 2006. – 296 с.
18. Фолеев М.И. Предупреждение и ликвидация ЧС, обусловленных террористическими акциями, взрывами, пожарами: Методическое пособие. – М.: Изд. Ин-та риска и безопасн., 2001. – 400 с.
19. Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Тютюник В.В., Чучковский В.Н., Шевченко Р.И. Основы мониторинга и управления в условиях чрезвычайных ситуаций. – Х.: Изд. АГЗУ, 2005. – 257 с.
20. Агишев Р.Р., Власов В.А. Оценка эффективности средств дистанционного мониторинга техногенных загрязнений воздуха для обеспечения безопасности промышленных объектов // ВИНТИ. Пробл. безоп. при чрезв. ситуациях. – 2002. – № 6. – С. 22 – 47.
21. Моляко В.А. Особенности проявления паники в условиях экологического бедствия (на примере Чернобыльской атомной ка-

- тастрофы) // Психологический журнал. – 1992. – № 2. – С. 66 – 74.
22. Мотин Л.А., Шахманский Г.В. Автоматизированные и роботизированные комплексы для противопожарной защиты объектов // Экол. системы и приборы. – 2001. – № 2. – С. 46 – 51.
23. ЗУ „Про правові засади цивільного захисту”
24. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. В.С. Сыромятникова, Г.С. Деминой. Под общ. ред. В.С. Сыромятникова. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.

УДК 614.84

Киреев А.А., канд. хим. наук, доц., УГЗУ

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

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

Рассмотрены перспективы применения гелеобразующих составов при тушении химически опасных объектов. Показано, что эти составы являются эффективными средствами как тушения, так химической защиты

Постановка проблемы. Аварии на химически опасных объектах, как правило, сопровождаются пожарами, взрывами и заражением окружающей среды ядовитыми веществами (ЯВ). В случае пожаров на таких объектах для их тушения привлекаются подразделения оперативно-спасательной службы МЧС. Если авария не сопровождается пожаром, то эти подразделения привлекаются для уменьшения последствий химического воздействия на население и окружающую среду путём создания завес [1] и локализацию химической аварии. Во многих случаях химическое заражение местности по своим негативным последствиям многократно превышает последствия пожаров без химического заражения местности.

Тушение пожаров и ликвидация аварий на химически опасных объектах имеет свою специфику. Так одновременно необхо-

димо одновременно решать задачи локализации пожара и зоны химического заражения. Для этого необходимо прекратить выход ядовитых веществ в окружающую среду и проводить их нейтрализацию и дегазацию.

Уменьшение распространения токсичных веществ достигается уменьшением испарения или уноса пылевидных ЯВ путём нанесения на поверхности воздушно-механической пены, их охлаждения или изоляции разными способами. В большинстве случаев для этих целей используют водные и водо-пенные средства. Однако такие средства имеют либо низкий коэффициент использования (вода), либо невысокую стойкость по отношению к интенсивному тепловому излучению (пены).

Анализ последних исследований и публикаций. Этих недостатков в значительной степени лишены гелеобразующие составы (ГОС) [2-4]. Они представляют собой два отдельно хранимых и одновременно подаваемых состава. Первый состав представляет собой раствор гелеобразующего компонента. Второй состав – раствор катализатора гелеобразования. При одновременной подаче двух растворов они смешиваются на горящих или защищаемых поверхностях. Между компонентами растворов происходит взаимодействие, приводящее к образованию стойкого геля. Гель образует на поверхности нетекущий огнезащитный слой, который легко удерживается на вертикальных и наклонных поверхностях.

Преимущество гелеобразующих огнетушащих составов перед водой заключается в существенном уменьшении потерь огнетушащего вещества за счет отсутствия стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Ещё одним преимуществом гелеобразующих огнетушащих составов является их высокое огнезащитное действие.

Ранее, в работе [5] была обоснована возможность применения ГОС для целей радиационной и химической защиты. В частности, показано, что их применение имеет ряд преимуществ перед традиционными средствами радиационной и химической защиты.

Постановка задачи и её решение. Целью работы является обоснование принципов применения ГОС для тушения пожаров на химически опасных объектах и ликвидации химических аварий.

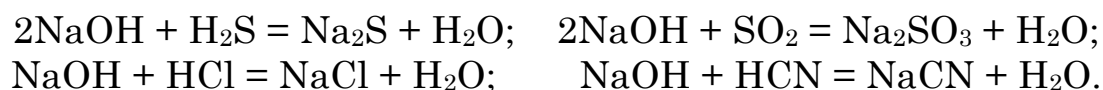
Ранее в цикле работ посвященных применению ГОС обоснована их эффективность при тушении различных типов пожаров [6-8]. Особенно эффективны ГОС при защите от теплового излучения

смежных с пожаром объектов. Эта способность ГОС объясняется их высоким охлаждающим действием и хорошими огнезащитными свойствами (низкой теплопроводностью высохших гелеобразных слоёв) [9-10].

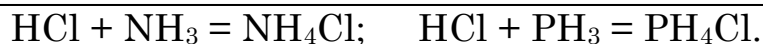
Эти свойства гелевых слоёв позволяют их использовать для защиты от теплового воздействия твёрдых горючих токсичных веществ, а также жидких и газообразных веществ, хранящихся в различных ёмкостях. Так как гели содержат большие количества воды, они предотвратят нагревание защищаемых поверхностей выше температуры её кипения. После испарения всей воды из гелевого слоя, образующиеся слои ксерогеля, будут существенно замедлять нагрев защищаемых поверхностей. Это в свою очередь будет замедлять испарение токсичных веществ.

Ещё одним положительным свойством гелеобразных слоёв является их изолирующее действие. Такие слои до удаления большей части воды сохраняют свою целостность и, образуя сплошной слой на защищаемой поверхности, затрудняют выход газообразных токсичных веществ в окружающую среду.

Кроме того подобные слои могут адсорбировать токсичные вещества, особенно если в их состав ввести целевые сорбенты [5]. Так для увеличения поглощения газов кислой природы можно получать слои геля с большими значениями рН (вводя в избытке силикатную составляющую). Так при избытке силикатной составляющей жидкая фаза гелевого слоя в результате гидролиза силиката натрия будет содержать гидроксид натрия. Последний является эффективным абсорбентом таких веществ кислой природы как сероводород, оксид серы (IV), хлороводород, циановодородная кислота



Соответственно, для поглощения газов основной природы можно выбрать в качестве гелеобразователя компонент с высокими кислотными свойствами и вводить его в композиции в избытке. Введение избытка солей сильных двух и трёхвалентных металлов вследствие их гидролиза приводит к образованию некоторого количества свободных кислот. Эти кислоты способны эффективно поглощать вещества основной природы



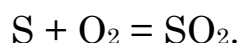
Для поглощения веществ органической природы в оба компонента ГОС имеется возможность введения такого эффективного адсорбента как активированный уголь. Активированный уголь при добавлении в водные растворы ГОС стабилизаторов (ПАВ), как показали предварительные опыты, проявляют достаточную седиментационную устойчивость. После образования геля оседание частичек активированного угля становится полностью невозможным. Это позволяет сохранить равномерное распределение твердых частичек угля в слое геля, что способствует процессу адсорбции.

Для нейтрализации некоторых веществ в гелеобразующую композицию можно ввести окислители или восстановители. Компоненты ГОС совместимы со многими окислителями и восстановителями. Так такой восстановитель как нитрит натрия совместим с гелем, имеющим щелочной характер среды жидкой фазы. Нитрид натрия в свою очередь легко реагирует с таким токсичным газообразным веществом как хлор

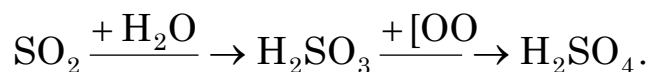


Одной из важнейших задач подразделений МЧС при борьбе с химическими авариями является создание препятствий на пути растекания жидких токсичных веществ [11]. ГОС в большинстве случаев позволяют решать и эту задачу. При подаче компонентов ГОС на горизонтальные поверхности можно создать слой геля толщиной до нескольких метров. На наклонных поверхностях с углами наклона до 40-50° также можно создать близкие по толщине преграды. При больших углах наклона толщина слоя геля, который может удерживаться на обрабатываемых поверхностях, будет зависеть от состояния поверхности (рельеф, шероховатость, гидрофильность). Важным фактором при создании преград к растеканию жидкостей с помощью ГОС является то, что их можно создавать на значительном расстоянии от места подачи. Подачу компонентов ГОС можно осуществлять для этих целей не обязательно в распыленном виде, а в виде компактных струй. Это создает более благоприятные условия для работы личного состава, снижает риск поражения по сравнению с применением традиционного насыпания преград сыпучими материалами.

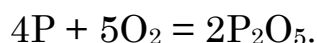
Есть основания полагать, что огнетушащие свойства ГОС распространяются на большинство твердых горючих материалов, в том числе и тех которые при горении образуют токсичные продукты. Для подтверждения этого положения были проведены качественные опыты по тушению серы и красного фосфора. Сера горит в расплавленном виде с выделением удушливого газа – оксида серы (IV)



В дальнейшем возможно поглощение влаги и окисление продуктов реакции



Красный фосфор сгорает с образованием в качестве основного продукта токсичного оксида фосфора (V)



В дальнейшем за счёт поглощения влаги образуются фосфорные кислоты



Приведенные выше продукты реакций горения хорошо растворяются в воде и водных растворах, в результате чего образуются кислые водные растворы. Применение ГОС с избыточным содержанием силикатной составляющей позволит нейтрализовать кислые продукты реакции.

Опыты показали, что при подаче на поверхность этих горючих материалов менее 0,4 кг/м² огнетушащего геля достигается надежное тушение этих веществ. Причём одновременно прекращается растекание расплавленной серы.

Выводы. Показана возможность применения гелеобразующих составов при тушении химически опасных объектов. Показано, что эти составы являются эффективными средствами как ту-

шения, так химической защиты. Введение целевых добавок в ГОС позволяет поглощать или нейтрализовать различные токсичные вещества как органической, так и неорганической природы. Обосновано применение добавок кислых и щелочных компонентов для поглощения соответственно веществ щелочной и кислой природы. Предложено для поглощения токсичных органических веществ вводить в состав гелеобразующих композиций активированного угля. Рассмотрена целесообразность применения окислителей и восстановителей для нейтрализации ряда токсичных веществ. Экспериментально установлена возможность применения ГОС при тушении серы и красного фосфора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тушение пожаров и выполнение аварийно-спасательных работ при химических заражениях. Учебное пособие /Аветисян В.Г., Палюх В.Г., Сыровой В.В., Хяникяйнин А.И. / под ред. Б.В.Дзянзука. – Харьков: ХИПБ, 1998.– 123 с.
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. Кіреєв О.О., Бабенко О.В. Обґрунтування вибору систем для дослідження явища гелеутворення при розробці нових рідинних засобів пожежогасіння. “Проблеми пожежної безпеки”, 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., Кіреєв О.О., Бабенко О.В. (Україна).-№ 2003032600. Заявл. 25.032003; опубл. 15.10.2003, бюл. № 10, 2003.
5. Киреев А.А., Тарасова Г.В., Жерноклёв К.В., Шаршанов А.Я. Гелеобразующие составы – перспективные средства радиационной и химической защиты // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил.– 2006.– Вип.3(9).– С.149–153.
6. Киреев А.А., Сумцов Ю.А., Александров А.В. Гелеобразующие составы – перспективные средства тушения лесных пожаров // Проблемы пожарной безопасности.– 2004.– Вып. 16.– С.94-98.

7. Савченко А.В., Киреев А.А., Щербина О.Н. Пути совершенствования методов тушения пожаров в жилом секторе // Проблемы пожарной безопасности.– 2004.– Вып.16.– С.90-94.
8. Савченко О.В., Киреев О.О., Жернокльов К.В., Тригуб В.В. Попередження надзвичайних ситуацій при горінні полівілхлориду // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. – вып.5.– С.177-182.
9. Абрамов Ю.О., Киреев А.А., Шаршанов А.Я. Локализация чрезвычайных ситуаций с помощью гелеобразующих составов (на примере крупных пожаров) // Проблеми надзвичайних ситуацій.– 2007.– вып.6.– С.3-11.
10. Киреев А.А. Экспериментальное исследование охлаждающего действия гелеобразующих огнетушащих составов // Проблемы пожарной безопасности.– 2007.– вып.22.– С.87-93.
11. Гражданская защита области. Т.1. / под ред. П.Василенко. Х.:2007.– 540 с.

*Кустов М.В., ад'юнкт, УГЗУ,
Калугин В.Д., д-р хим. наук, проф., УГЗУ,
Михайленко М.В., зам. директора, ООО «Энергомаш»*

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ВОДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Идея работы основана на более высокой эффективности использования мелкодисперсных водных эмульсий углеводородов (УВ) при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) за счёт повышения степени диспергирования воды. В этой связи проведён сопоставительный анализ технологических возможностей различных механических способов приготовления мелкодисперсных эмульсий и показано, что только кавитационный способ приготовления эмульсий позволяет быстро получать необходимые объёмы рабочей смеси с заданными физико-химическими параметрами для эффективной ликвидации ЧС. Экспериментально изучена кинетика образования мелкодисперсных эмульсий различной природы в зависимости от времени и интенсивности кавитационной обработки. Рассмотрена энергетика и гидродинамика кавитационных процессов при приготовлении эмульсий

Постановка проблемы. Водные эмульсии углеводородов обладают рядом свойств, которые существенно повышают эффективность ликвидации ЧС различного характера. Основным из них является высокая дисперсность потока по углеводородной компоненте. При температуре кипения микроразрывы пузырьков УВ приводят к более эффективному отбору тепла из очага горения и с разогретых поверхностей, а также к большей абсорбции диспергированной жидкостью загрязняющих веществ, что позволяет более эффективно использовать эмульсии для очистки поверхностей и воздуха от загрязняющих веществ, защиты объектов от теплового излучения и др. Между тем, решение задач эффективной ликвидации ЧС с помощью эмульсий затруднено в силу нерешённых вопросов с приготовлением мелкодисперсных водных эмульсий углеводородов с заданным комплексом физико-химических свойств (оптимальная дисперсность, стабильность) и необходимой производительностью. Указанные свойства эмульсий неразрывно связаны с химическим составом и особенностями методов их при-

Кустов М.В., Калугин В.Д., Михайленко М.В.

готовления, что и предопределило цель и задачу данного исследования.

Анализ последних исследований и публикаций. Установлено, что за счет эффекта разрыва макрокапли легкокипящей добавки в эмульсии возможно достижение высокой степени доставки воды к горячей поверхности [1]. В связи с этим актуальной оказывается задача приготовления достаточно больших объёмов растворов эмульсий УВ с очень высокими показателями дисперсности (1-5 мкм) и стабильности эмульсионной системы (не менее 4-5 суток) до повторной регенерации. На сегодняшний день существуют такие основные способы приготовления эмульсий – механическое перемешивание с помощью различных мешалок, коллоидных мельниц и ультразвуковой метод [2]. Однако эти способы не пригодны в условиях чрезвычайных ситуаций, так как требуют значительного времени для приготовления эмульсий. Поэтому нами поставлена задача выяснения возможностей использования кавитационного способа эмульгирования несмешиваемых жидкостей, который в настоящее время находит всё более широкое применение в химической, фармацевтической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности. Однако использование кавитационного способа для целей пожаротушения только начинается [3], и поэтому представляет исключительный интерес изучение возможности его использования для создания технологий получения микродисперсных эмульсий для целей ликвидации ЧС.

Постановка задачи и её решение. Существует две основные характеристики эмульсий – это стабильность, т.е. способность эмульсии сохранять свои физико-механические свойства во времени, и дисперсность, т.е. способность сохранять размеры частиц дисперсной фазы эмульсии. Если необходимая стабильность эмульсии достигается путём добавления в неё различных эмульгаторов (зачастую это поверхностно-активные вещества (ПАВ)), то дисперсность эмульсий определяется уровнем механической энергии дробления нерастворимых компонент (УВ), которая, в свою очередь, зависит от метода и режима приготовления. Недостатками способа механического перемешивания при приготовлении эмульсий являются: невозможность достижения дисперсности эмульсий с размером частиц дисперсной фазы менее 50мкм, и большие затраты технологического времени для приготовления грубодисперсных эмульсий. При эмульгировании двухкомпонентной системы (вода + УВ) ультразвуковыми волнами образуется эмульсия дисперсно-

Высокоэффективный способ приготовления мелкодисперсных водных эмульсий углеводородов, используемых при ликвидации чрезвычайных ситуаций

тью около 1мкм, однако возможности звуковых осцилляторов не позволяют приготавливать большое количество эмульсии за короткое время. Поэтому задача исследования включала рассмотрение перспектив использования кавитационного метода приготовления эмульсий высокой дисперсности (1-5 мкм) и стабильности (не менее 4-5 суток), с большой производительностью. В процессе установления условий получения высокодисперсных эмульсий кавитационным способом рассмотрены энергетика и гидродинамика этих процессов.

Кавитация (от латинского *cavitas* - пустота) – это процесс образования в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных газом, паром или их смесью. Кавитация возникает в результате локального понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении ее скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация). Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырек захлопывается, излучая при этом ударную волну [4]. Кавитационные пузырьки образуются в тех местах, где давление в жидкости становится ниже некоторого критического значения $p_{кр}$ (в реальной жидкости $p_{кр}$ приблизительно равно давлению насыщенного пара этой жидкости при данной температуре).

Поскольку в реальной жидкости всегда присутствуют мельчайшие пузырьки газа или пара, то, двигаясь с потоком и попадая в область давления $p < p_{кр}$, они теряют устойчивость и приобретают способность к неограниченному росту. После перехода в зону повышенного давления и исчерпания кинетической энергии расширяющейся жидкости рост пузырька прекращается и он начинает сокращаться. Если пузырёк содержит достаточно много газа, то по достижении им минимального радиуса он восстанавливается и совершает нескольких циклов затухающих колебаний, а если газа мало, то пузырёк захлопывается полностью в первом периоде жизни. Таким образом, вблизи обтекаемого тела (например, в трубе с местным сужением (направление движения показано стрелкой), рис. 1), создаётся довольно четко ограниченная «кавитационная зона», заполненная движущимися пузырьками.

Сокращение кавитационного пузырька происходит с большой скоростью и сопровождается звуковым импульсом (своего рода

гидравлическим ударом) тем более сильным, чем меньше газа содержит пузырьёк.



Рис. 1 – Образование кавитационной области при движении жидкости в трубе

Если бы жидкость была идеально однородной, а поверхность твёрдого тела, с которым она граничит, идеально смачиваемой, то разрыв происходил бы при давлении, значительно более низком, чем давление насыщенного пара жидкости. Прочность на разрыв молекул воды, рассчитанная при учёте тепловых флуктуаций, равна 150 Мн/м^2 (1500 кг/см^2). Однако реальные жидкости менее прочны. Максимальное растяжение тщательно очищенной воды, достигнутое при растяжении полимерной структуры воды при $10 \text{ }^\circ\text{C}$, составляет 28 Мн/м^2 (280 кг/см^2). Обычно же разрыв возникает при давлениях, лишь немного меньших давления насыщенного пара [5]. Низкая прочность реальных жидкостей связана с наличием в них так называемых кавитационных зародышей, т.е. плохо смачиваемых участков твёрдого тела, твёрдых частиц с трещинами, заполненными газом, микроскопических газовых пузырьков, предохраняемых от растворения мономолекулярными органическими оболочками, ионных образований и т.д.

При заданной форме обтекаемого тела кавитация возникает при некотором вполне определённом для данной точки потока значении безразмерного параметра x , рассчитанного по формуле

$$x = 2 \cdot \frac{p - p_n}{\rho \cdot v_\infty^2}, \quad (1)$$

где p — гидростатическое давление набегающего потока, p_n — давление насыщенного пара, ρ — плотность жидкости, v_∞ — скорость жидкости на достаточном отдалении от тела.

Параметр x называют «числом кавитации», он является одним из критериев подобия при моделировании гидродинамичес-

ких течений. Увеличение скорости потока после начала кавитации вызывает быстрое возрастание числа кавитационных пузырьков. Затем происходит их объединение в общую кавитационную каверну, поэтому течение переходит в струйное и сохраняет нестационарный характер только в области замыкания каверны. Особенно быстро струйное течение организуется в случае плохо обтекаемых тел, что и используется при конструировании высокоэффективных (по дисперсности) кавитаторов.

Если внутрь каверны, через тело, около которого возникает кавитация, подвести атмосферный воздух или иной газ, то размеры каверны увеличиваются. При этом установится течение, которое будет соответствовать числу кавитации x , образованному уже не по давлению насыщенного водяного пара p_n , а по давлению газа внутри каверны p_k в соответствии с уравнением

$$x = 2 \cdot \frac{p_\infty - p_k}{\rho \cdot v_\infty^2}. \quad (2)$$

Всплывание такой кавитационной каверны определяется числом Фруда – Fr согласно

$$Fr = v_\infty^2 / gd, \quad (3)$$

где g — ускорение силы тяжести, d — некоторый характерный линейный размер. Так как p_k может быть много больше p_n , то в таких условиях возможно при малых скоростях набегающего потока получать течения, соответствующие очень низким значениям x , т. е. глубоким степеням развития кавитации. Так, при движении тела в воде со скоростью 6—10 м/с можно получить его обтекание, соответствующее скоростям до 100 м/с [6, 7]. Кавитационные течения, получающиеся в результате подвода газа внутрь каверны, называют искусственной кавитацией. Гидродинамическая кавитация может сопровождаться рядом физико-химических эффектов, например искрообразованием и люминесценцией.

Основной составляющей любой кавитационной установки является кавитатор, в котором, собственно, и протекают кавитационные процессы. Существует два типа кавитаторов – проточного типа и роторного типа. Кавитаторы проточного типа представляют собой модернизированное сопло Лавалля (рис 2.), которое состоит из короткого суживающегося участка и расширяющейся конической

насадки. Оптимальний угол конусности α расширяющейся части должен быть равен $8-12^\circ$. При больших углах наблюдается отрыв струи от стенок канала. Длину расширяющейся части сопла можно определить по уравнению

$$l = (D - d) / 2 \operatorname{tg}(\alpha / 2), \quad (4)$$

где α - угол конусности сопла; D - диаметр выходного отверстия; d - диаметр сопла в минимальном сечении.

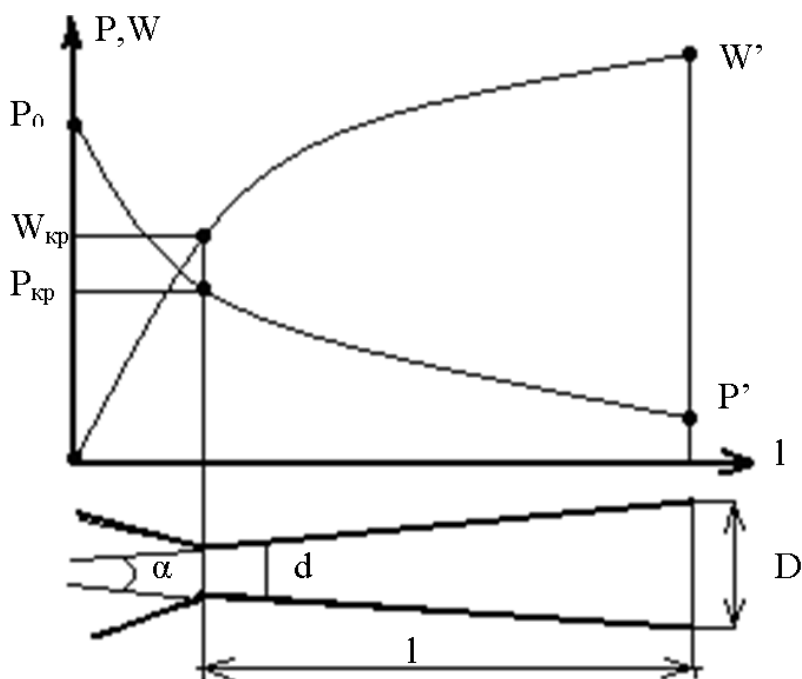


Рис. 2 – Сопло Лаваля и график истечения жидкости через него

Из рис. 2 видно, что в узкой зоне сопла достигается критическое давление $P_{кр}$, следовательно, в этой зоне скорость течения достигает своего критического значения $W_{кр}$. В результате, в зоне расширения сопла возникают кавитационные пузырьки. Поэтому суть работы такого устройства (кавитатора проточного типа) заключается в следующем: через трубку кавитатора с каналом переменного сечения проходит под давлением поток воды (или иной жидкости). Он в таком устройстве (кавитаторе) испытывает растяжение, рвется, в нем образуются полости (газовые, воздушные пузырьки), которые тотчас схлопываются со всё возрастающей скоростью. Чем выше давление жидкости на входе кавитатора, тем мо-

пнее кавитация и тем большую дисперсность эмульсии можно получить на выходе.

Преимуществом кавитаторов проточного типа является то, что сопло никогда не засоряется, даже если в потоке окажутся механические частицы. Простота конструкции и отсутствие движущихся деталей повышает надёжность данного устройства. В то же время, основным недостатком таких кавитаторов является необходимость многократного пропускания жидкости через устройство для повышения качества образования эмульсий и присутствие разрушающего эффекта кавитации в зоне образования кавитационных пузырьков. Поэтому в последнее время ведутся работы по уменьшению степени влияния разрушающего эффекта кавитации в подобных установках [8].

Наиболее эффективными, как в лабораторных, так и в промышленных условиях являются, так называемые, кавитационные роторные смесители (рис. 3). Они имеют одну или несколько рабочих камер, в которых расположены один или несколько вращающихся с большой скоростью роторов, оснащенных кавитирующими элементами (КЭ) в виде лопаток различной формы с кавитирующим профилем. Возможно также наличие различных дополнительных элементов, например, отражателей, камер предварительного смешивания, распределительных камер и т.п.

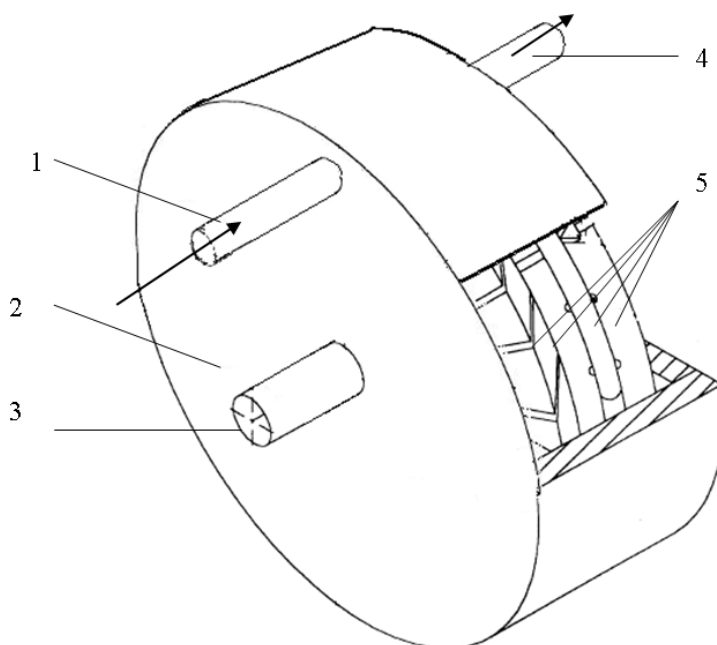


Рис. 3 – Кавитационная установка роторного типа: 1 – входной патрубок, 2 – корпус, 3 – вал, 4 – выходной патрубок, 5 – кавитационные элементы

Роторы аппаратов этого типа имеют относительно большой диаметр при малом осевом размере. Количество КЭ может изменяться от двух до нескольких десятков. При использовании двух роторов, которые вращаются встречно, последние располагаются в рабочей камере аппарата параллельно или соосно. При встречном движении КЭ обоих роторов, создаваемые ими потоки жидкости, как правило, взаимодействуют друг с другом, усиливая режим кавитации и суперкавитации. В двухроторных аппаратах для упрощения конструкции используются два двигателя.

Конструкции роторных кавитаторов позволяют реализовать устойчивые и регулируемые режимы кавитации и суперкавитации в жидких средах. Объемная концентрация кавитационных пузырьков в рабочей камере аппаратов достигает величины порядка 10^{10} на $1/\text{м}^3$, со средним диаметром около 10 мкм каждый. Время существования кавитационного пузырька составляет $(10^{-5}-10^{-4})$ с. При коллапсе каждого пузырька скорость кумулятивной струйки достигает 700 м/с. При этом возникают импульсы давления до 10^3 МПа (10^4 атм), что сопровождается повышением температуры рабочей среды до $(500-800)$ °С в зоне схлопывающегося пузырька.

Как показано в [9], высокие ударные импульсы давления при высокой объемной концентрации пузырьков в рабочей камере кавитационного аппарата способствуют тому, что удельная мощность, подводимая к единице объема обрабатываемой среды, составляет $(10^4...10^5)$ кВт/м³, что составляет $(10^3 - 10^4)$ ккал/моль. Это на несколько порядков выше удельной мощности, которая выделяется при обработке технологических сред в ультразвуковом поле (в ультразвуковых аппаратах), дезинтеграторах, вибрмельницах и аппаратах вихревого слоя.

В результате проявления выше перечисленных уровней энергетического воздействия на среду создаются условия для реализации гидромеханических, трибохимических и физико-химических процессов, которые в обычных условиях затруднены или невозможны. Объяснение возможности реализации этих процессов состоит в том, что указанных уровней энергии вполне достаточно для разрыва молекулярных связей ($(10-300)$ ккал/моль), что делает возможным, в результате кавитационной обработки смешиваемых и несмешиваемых жидкостей, получение новых химических веществ (сред).

Перемещение КЭ в жидкой среде с большой скоростью требует соответствующих энергетических затрат в двигателе аппарата, мощность которого соизмерима с энергетическими затратами насоса в проточных кавитаторах. Но здесь, благодаря отсутствию принципиальных ограничений на диаметр ротора и относительно небольшому лобовому сопротивлению КЭ, при правильном конструктивном решении роторного аппарата не сложно достичь линейных скоростей перемещения КЭ в жидкости свыше 20-30 м/с (такие скорости практически недостижимы в струйных сопловых аппаратах). Ко всему сказанному необходимо добавить, что в кавитаторах отсутствуют принципиальные конструктивные ограничения по предельным расходам жидкости, напору, вязкости, неоднородности, температурным условиям, составу жидких смесей, их склонности к налипанию на твердую поверхность и пр. Важно отметить, что эффективная работа аппарата мало зависит от изменения внешних условий: расхода жидкости, напора, вязкости, дисперсности и др. В целом, оборудование данного класса является относительно простым в изготовлении и надежным в эксплуатации, способным работать как в периодическом, так и в постоянном режимах в течение многих суток и даже месяцев.

К особенностям работы роторных аппаратов относится то, что процесс кавитационной обработки проходящей через них жидкой смеси обычно сопровождается ее разогревом (в зависимости от расхода - от нескольких градусов до (10-15) °С), вызванным эффектом кавитации, а также преодолением сил вязкостного сопротивления и др. С таким температурным эффектом необходимо считаться, если имеются ограничения на максимально допустимые температуры нагрева обрабатываемого продукта. Следует также учитывать то, что повышение температуры приводит к уменьшению вязкости дисперсной среды, уменьшению эмульгирования несмешивающихся жидкостей, появлению различных механохимических, биохимических и др. эффектов.

На основе приведенного выше анализа сущности кавитационного процесса, механизм диспергирования с помощью кавитационного метода состоит в разрушающем гидродинамическом воздействии кавитационно-кумулятивных микроструек на любые частицы твердой или упругой (жидкой) фазы, а также – на их скопления, находящиеся в обрабатываемой жидкости. В результате, имеется возможность получать высокодисперсные, и даже псевдогомогенные смеси. В сравнении, например, с ультразвуковой об-

работкой, необходимые затраты энергии на гидродинамическую кавитацию являются меньшими, примерно, в 10-15 раз, а используемое технологическое оборудование в конструктивном отношении значительно проще [10, 11].

На рис. 4 представлены результаты исследований динамики получения эмульсий со стабильными параметрами (дисперсностью). Эмульгатор в системе отсутствует, концентрация пентана – 2% мас. Дисперсность определялась с помощью микрометра МОВ 1-16.

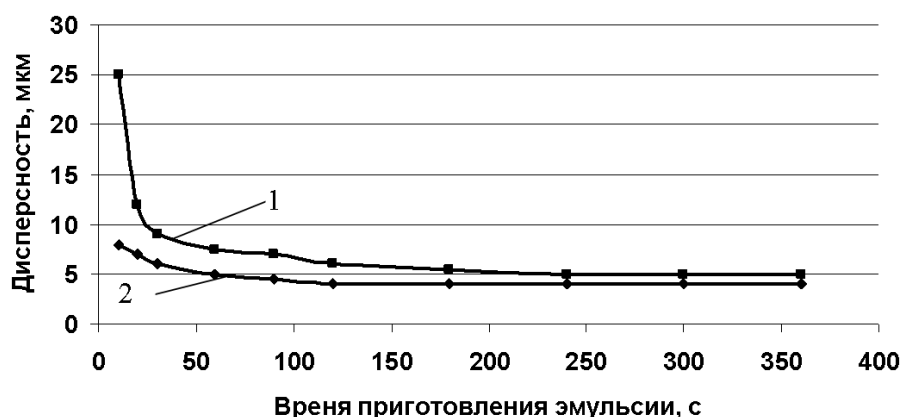


Рис 4 – Зависимость дисперсности эмульсии от времени её приготовления при различной скорости вращения ротора кавитационной установки (об/мин): 1 – 1200; 2 – 2500

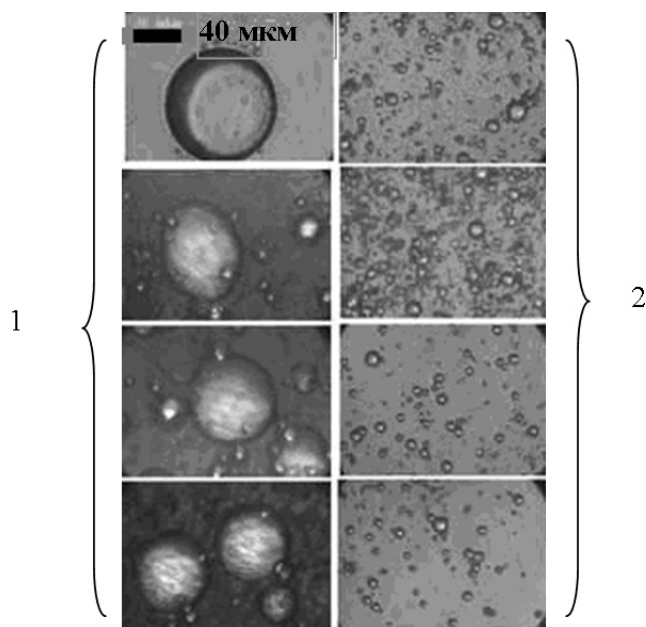


Рис. 5 – Микроструктура эмульсий, приготовленных методом механического перемешивания - 1 и кавитационным методом – 2

Высокоэффективный способ приготовления мелкодисперсных водных эмульсий углеводородов, используемых при ликвидации чрезвычайных ситуаций

Из рис. 4 видно, что полученная дисперсность не существенно зависит от интенсивности кавитационной обработки (скорости вращения ротора) водно-неводной среды, а зависит только от времени обработки системы. Эти времена соответственно составляют – 180 и 120 с. Такое соотношение времени приготовления эмульсий с постоянной дисперсностью показывает, что в случае флуктуаций скорости вращения ротора, необходимо руководствоваться верхними критическими временами, что гарантирует приготовление эмульсий с постоянной дисперсностью.

На рис. 5 представлены микроструктуры водных эмульсий пентана со стабилизацией ПАВ, приготовленных различными методами.

Из рис. 5 видно, что при механическом перемешивании размер частиц дисперсной фазы на 1,5-2,0 порядка выше, чем в случае кавитационного способа, поэтому агрегативная устойчивость в первом случае существенно ниже. Такая система способна к немедленной коалесценции (агрегации) и седиментации (разделение несмешивающихся жидкостей). В случае кавитационного способа обработки смеси жидкостей образуется мелкодисперсная стабильная эмульсия, которая сохраняет агрегативную устойчивость в течение 4-5 суток.

Выводы. 1) Установлено, что в условиях ликвидации чрезвычайных ситуаций, при недостатке времени на подготовку растворов обработки, кавитационный метод по сравнению с другими известными технологиями диспергирования позволяет наиболее оперативно обеспечить приготовление эмульсий необходимой дисперсности и устойчивости; 2) Высказано предположение, что процесс кавитационной обработки позволяет регенерировать старые и создавать новые составы с полезными свойствами и стабильными физико-химическими характеристиками для ликвидаций ЧС; 3) Экспериментально установлено, что при использовании роторных кавитационных установок требуется минимальное (по сравнению с другими способами получения эмульсий) время приготовления водных эмульсий углеводородов, что, в свою очередь, позволяет существенно повысить оперативность ликвидации чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панин Е.Н., Ройко В.М., Козлов В.А. Огнетушащая способность эмульсии воды с низкокипящей водонерастворимой добавкой. // Пожаротушение: Сб. науч. тр. М.: ВНИИПО, 1983. - С. 112-117.
2. Клейтон В. Эмульсии. Теория и технические применения. – М.: Изд-во иностр. лит., 1950. – 412с.
3. Карпенчук И.В., Пармон В.В. Решение задачи минимизации гидравлических потерь эжекторов-смесителей, работающих в кавитационном режиме. // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сборник тезисов докладов IV Международной Конференции. В 3 т. Т. 1. – Мн., 2007. - С. 109-111.
4. Кавитация / Физ. энцикл. словарь. М., “СЭ”, 1995. - С. 236-237.
5. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей, М. — Л., 1951. – 318с.
6. Биркгоф Г., Сарантонелло Э. Струи, следы и каверны: Пер. с англ. - М., 1964. – 423с.
7. Перник А. Д. Проблемы кавитации. – 2-е изд. - Л., 1966. – 237с.
8. Зима И.И. Роторный геомагнетизм. Новый взгляд на извечные проблемы. - Харьков, ООО «Оберіг», 2005. – 315с.
9. Ларионов Л.В. Пат. 2126117. «Кавитатор для тепловыделения в жидкости», 2000.
10. Аппараты для приготовления эмульсий. – Режим доступа: <http://www.menas.com.ua/emulsators.htm>. – Заголовок с экрана.
11. Федоткин Н.М., Гулый И.С. Кавитация и кавитационная техника – Киев, 1987. – 840с.

УДК 614.8

*Прохач Е.Ю., д-р техн. наук, директор
ХФ ДП МО України "Военконверс-43" - "Екоцентр-43",
Михальська Л.Л., канд. техн. наук, заст. директора
ХФ ДП МО України "Военконверс-43" - "Екоцентр-43"*

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕБЕЗПЕКИ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ЗБЕРІГАННЯМ НЕПРИДАТНИХ ХІМІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН ТА ОТРУТОХІМІКАТІВ

Розглянуті можливі шляхи зменшення небезпеки, пов'язаної із зберіганням непридатних пестицидів та отрутохімікатів. Показано, що радикальним способом зменшення небезпеки є ліквідація непридатних пестицидів. Запропоновано спосіб знешкодження пестицидів. Наведені результати випробувань установки, створеної за запропонованим способом

Постановка проблеми. Харківська область входить до переліку областей України з найбільш високими відносними і абсолютними показниками утворення та накопичення токсичних відходів – пестицидів і отрутохімікатів. На сьогодні за офіційними даними в нашій області накопичено біля 1200 тон небезпечних пестицидів.

За останні роки в області було виконано комплекс робіт для зменшення ризику виникнення небезпечних ситуацій від накопичених пестицидів та отрутохімікатів:

- в декількох районах проведено обстеження, інвентаризацію та часткову ідентифікацію сумішей і невідомих пестицидів;
- у ряді районів області проведено сортування і перезатарення пестицидів;
- розроблені технічні пропозиції, технологічний регламент, проект ОВНС та проектно-кошторисні документи щодо створення дослідно-виробничого майданчику по знешкодженню та знищенню небезпечних пестицидів;
- виготовлено обладнання для попередньої капсулізації небезпечних пестицидів з метою зменшення ризику несанкціонованого доступу в разі їх довгострокового зберігання;

- за участю датської фірми COWI в Лозівському районі Харківської області створено проміжний склад тимчасового зберігання небезпечних пестицидів ємністю 220 тон.

Всього в області переміщені у безпечну тару біля 400 тон пестицидів.

Отже, в Харківській області проведено цілу низку організаційних та технічних заходів, однак проблема виключення ризику через необхідність зберігання небезпечних пестицидів не розв'язана. Створення тимчасових проміжних складів зберігання не вирішує проблему, а тільки відкладає її на наступний час. Проблема може бути радикально вирішена тільки шляхом знешкодження пестицидів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загально прийнятим і найбільш поширеним у світі засобом знешкодження і ліквідації непридатних пестицидів є їх спалювання в установках, що забезпечують високотемпературний режим процесу окиснення і термічного розкладу. Метод полягає у тому, що при згорянні органічних речовин утворюються простіші термодинамічно стійкі газоподібні продукти. Такий метод очищення непридатних пестицидів виявляється найбільш ефективним і екологічно безпечним, що підтверджується стандартами поводження з небезпечними відходами, прийнятими Агентством з охорони навколишнього середовища США [1], та рекомендаціями Королівської комісії з охорони навколишнього середовища Великобританії [2]. Перевагою цього методу є те, що не забруднюються ґрунт і ґрунтові води.

Дані стосовно методів високотемпературного спалювання непридатних пестицидів наведені у [3-13]. Вважається [11], що при 800 °С деструкція найбільш небезпечного ізомеру досягає 99,5 % і, таким чином, при температурі спалювання 1100 °С і часі перебування в гарячій зоні не менш 2 секунд практично повністю виключено викиди діоксинів в навколишнє природне середовище.

При цьому в установці для спалювання необхідно забезпечити відсутність значних температурних градієнтів в зоні горіння і високу турбулентність газових струменів, що сприятиме кращому перемішуванню речовин, які реагують з киснем повітря. Чим вище турбулентність, тим повніше здійснюється окиснення і тим менш імовірність утворення небажаних побічних продуктів.

Якщо умови спалення далекі від оптимальних (недостатні температура і час перебування в гарячій зоні), то можливе утворення побічних продуктів окислення, іноді більш токсичних ніж

Шляхи зменшення небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із зберіганням непридатних хімічних засобів захисту рослин та отрутохімікатів

вихідні матеріали. Найбільш небезпечними побічними продуктами спалювання є поліхлоровані-*n*-діоксини і дібензо-*n*-фурани.

Постановка завдання та його вирішення. Аналіз заходів розв'язання проблеми щодо виключення ризику виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із зберіганням небезпечних пестицидів, показує, що ця проблема може бути радикально вирішена тільки шляхом знешкодження пестицидів. Однією з вимог до установки, призначеної для знищення небезпечних пестицидів, є її мобільність, що дозволяє провести знешкодження пестицидів безпосередньо в місцях їх зберігання і виключити виникнення надзвичайних ситуацій під час транспортування пестицидів.

Розгляд вітчизняних і закордонних публікацій свідчить, що найбільш ефективним є знешкодження пестицидів методом спалювання і термічного розкладу. Температура спалювання повинна бути не менш 1100 °С, час перебування в камері – не менш 2 с. Саме такі параметри забезпечуються в камері згоряння пересувних військових агрегатів нейтралізації типу 11Г426, 11Г427.

Нами проведено натурний експеримент по спалюванню на агрегаті нейтралізації 11Г426 найбільш небезпечного пестициду ДДТ [12]. Як показали результати визначення масового вмісту забруднюючих речовин у викидах при штатному режимі роботи агрегату проходить повне згоряння пестициду. ДДТ, ДДЄ та фосген у викидах відсутні. Небезпеку становить наявність у викидах хлористого водню, вміст якого перевищує гранично допустиму концентрацію більш ніж у 500 разів.

За результатами експерименту нами запропоновано спосіб знешкодження хлормістких пестицидів шляхом спалювання та термічного розкладу, який відрізняється тим, що гази після спалювання подають на фільтр уловлювання твердих часток і скруббер, заповнений розчином луку.

З урахуванням результатів експерименту і рекомендацій фахівців ХНЦ ВЕ співробітниками Мелітопольського заводу "Продмаш" (колишнього виробника агрегатів 11Г426) запропоновано технологічну лінію для знешкодження небезпечних пестицидів [14]. Установка являє собою мобільний агрегат з камерою згоряння циклонного типу, вентилятором високого тиску, високоефективною системою очищення від часток і шкідливих домішок та автоматичним забезпеченням процесу горіння (рис.1).

Від агрегату (1) дрібнення речовин, що злежалися, за допомогою стислого повітря і пристрою (2) пестицид у дрібнодисперс-

ному стані подається в камеру згоряння циклонного типу (5). В камері згоряння підтримується температура не нижче 1100°C.

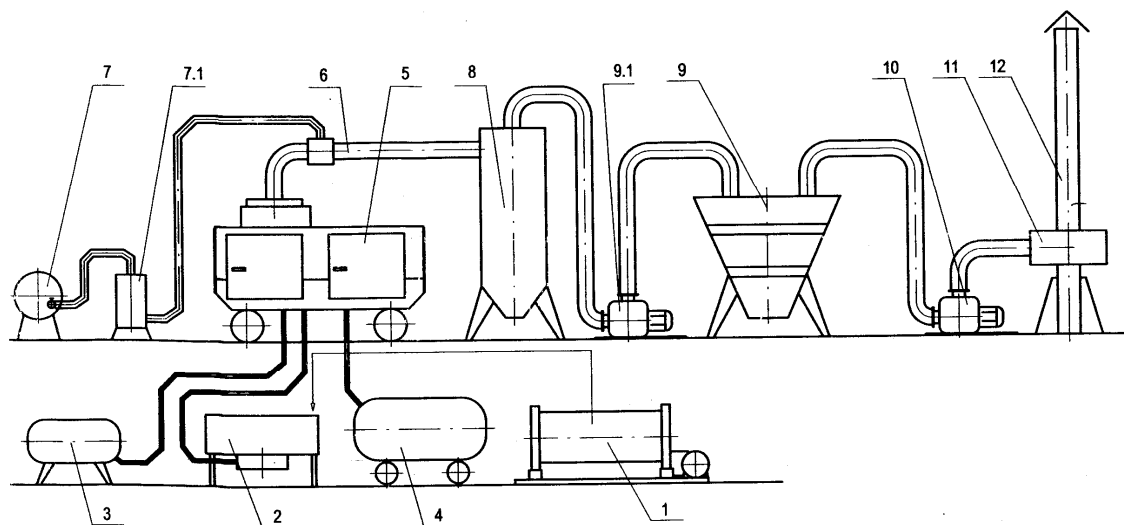


Рис. 1 – Принципова схема установки для знешкодження пестицидів

За першим варіантом через спеціально облаштовані штуцери у вихлопні газу, що відводяться від камери (5), під тиском упорскується 5% розчин лугу (NaOH). Розчин готується в агрегаті (7) і подається за допомогою пристрою (7.1). Далі димові газу надходять до циклону (8) для очищення від зважених часток, потім – до вентилятора високого тиску (9.1). Вентилятор високого тиску забезпечує барботаж димових газів через водяний фільтр (затвор, скрубери). Об'єм води у фільтрі - 5 м³. Після водяного фільтру (9) вентилятором (10) через додатковий фільтр (11) і димову трубу (12) вихлопні газу викидаються в атмосферу. Висота труби – 10 м, діаметр – 0,6 м.

За другим варіантом п'ятивідсотковий розчин лугу створюють безпосередньо у скрубери (9). Об'єм розчину 5 м³.

Установка передбачає також можливість підготовки та подачі на знешкодження розчинів небезпечних пестицидів та газоподібних хімікатів за допомогою пристроїв (3) і (4).

Загальний вид установки надано на рис. 2.

Ефективність включення до складу установки скрубера, а також упорскування у вихлопні газу лугу, або заповнення скрубери розчином лугу оцінювалась шляхом проведення натурних випробувань установки.

Шляхи зменшення небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із зберіганням непридатних хімічних засобів захисту рослин та отрутохімікатів



Рис. 2 – Загальний вигляд установки

Випробування проводились на двох режимах. За першим технологічним режимом розчин луку упорскувався у вихлопні гази, за другим розчин луку створювали безпосередньо у скрубєрі.

Вихідний продукт, що у вигляді дрібнодисперсного пилу вдувався під тиском у циклонну піч, являв собою суміш, яка містила γ -ГХЦГ (19,26%), р,р'-ДДД (41,6%), о,р'-метоксіхлор (31,54%).

Відповідно до РД 52.04.186-89 "Руководство по контролю за загрязнення атмосфєры" під час проведення випробувань були відібрані наступні проби:

- вихідного продукту;
- газових викидів безпосередньо з димової труби;
- повітря в робочій зоні;
- повітря у підфакельній зоні (на відстані 50 м за напрямом вітру);
- атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони (на відстані 1000 м за напрямом вітру).

Визначення масового вмісту забруднюючих речовин у відібраних пробах проведено аналітичною лабораторією фізико-хімічних методів контролю Харківської філії ДП МО України "Воєнконверс-43" - "Екоцентр-43".

Таблиця 1 – Результати визначення масового вмісту забруднюючих речовин у відібраних пробах

Речовина, що визначалася	ГДК робочої зони, мг/м ³	Масовий вміст забруднюючих речовин, мг/м ³			
		Газові викиди (труба)		Підфакельна зона	
		I режим	II режим	I режим	II режим
γ-ГХЦГ	0,1	н/в	н/в	н/в	н/в
р, р'-ДДД	0,1	н/в	н/в	н/в	н/в
о,р'-метоксі-хлор	0,1	н/в	н/в	н/в	н/в
ПХБ	1,0	н/в	н/в	н/в	н/в
Поліхлоровані діоксини	16·10 ⁻⁹ *	н/в	н/в	н/в	н/в
НСІ	5,0	0,25	0,4	н/в	н/в
Хлорбензол	50	0,008	0,011	н/в	н/в
Бензальдегід	5,0	н/в	0,0013	н/в	н/в
Хлоргексан	50	0,0003	0,0003	н/в	н/в
Біс (2- хлоретоксі)етан	-	н/в	0,0006	н/в	н/в
Толуол	50	0,005	0,016	н/в	н/в
Етилбензол	50	0,011	0,005	н/в	н/в
1,3,5- триметилбензол	0,1	0,0008	0,0006	0,0009**	н/в
1,2,3- триметилбензол	0,1	н/в	0,0006		н/в
п,м,о-ксилол	50	0,012	0,0009	н/в	н/в
Насичені вугле- водні	300	0,014	0,007	0,010	н/в

Примітки: н/в – речовина в пробі не виявлена;

* – гранично допустима концентрація (ГДК) в Україні не розроблена. В таблиці наведені дані стосовно ГДК, що використовуються в Російській Федерації;

** – сумарний вміст ізомерів триметилбензолу.

Після відповідної пробопідготовки ідентифікація хімічного складу забруднюючих речовин в органічних екстрактах проводилась методом газової хроматографії/мас-спектрометрії. Ідентифі-

кація виявлених сполук проводилась шляхом порівняння відповідних мас-спектрів із стандартними спектрами з електронних бібліотек Nist 02 і Wiley 138 к. Як засоби вимірювань застосовувались:

- газовий хроматограф HP-6890 з мас-селективним детектором HP-5972. Розподіл компонентів суміші проводився на капілярній колонці HP-5MS (5% Diphenil) 30 м x 0,25 мм x 0,25 мкм;

- газовий хроматограф HP-6890 з полум'яно-іонізаційним детектором. Розподіл компонентів суміші проводився на капілярній колонці HP-5 (5% Phenil) 30 м x 0,32 мм x 0,25 мкм;

- газовий хроматограф HP-6890 з електронзахоплювальним детектором. Розподіл компонентів суміші проводився на капілярній колонці HP-5(5% Phenil) 30 м x 0,32 мм x 0,25 мкм.

Для визначення вмісту хлористого водню застосовували фотокolorиметричний метод.

Результати визначення масового вмісту забруднюючих речовин у пробах, відібраних у димовій трубі та у підфакельній зоні, надані в таблиці 1.

На обох режимах випробувань у повітрі робочої зони та атмосферному повітрі на межі санітарно-захисної зони хлормістких пестицидів та продуктів їх розкладу не виявлено.

Висновки. За результатами проведених випробувань технологічної лінії із знешкодження небезпечних хімічних речовин в газових викидах від установки поліхлорованих біфенілів, діоксинів та хлормістких пестицидів не виявлено.

Вміст хлористого водню в газових викидах на виході з труби на обох режимах випробувань становить менш ніж 0,1 ГДК робочої зони (0,25 мг/м³ на першому режимі і 0,4 мг/м³ на другому режимі).

В газових викидах визначено також бензальдегід, насичені вуглеводні, ксилол, похідні бензолу, толуол, етилбензол, ксилоли, однак концентрації цих речовин на рівні слідових кількостей.

Одержані результати свідчать, що при заданих умовах хлормісткі пестициди розкладаються практично повністю до вуглекислого газу, води і хлористого водню, який поглинається розчином водяного затвору.

ЛІТЕРАТУРА

1. Freed V.N. Disposal and Management of Pesticide Waste and Containers. The Safe Disposal of Hazardous Wastes: The Special Needs and Problems of Developing Countries/ Ed by R.Batstone, J.E.Smith, D.Wilson (World Bank Technical Paper, 0253-7499; # 93). – Washington: The World Bank, 1989. – P.589-605.
2. Royal Commissions on Environmental Pollution: Eleventh Report. - London, Her Majesty's Stationary Office, 1985. – 54 p.
3. Дмитриев В.И. Овчинников В.Г., Ромашев А.С. и др. Экологическая безопасность огневого обезвреживания хлорорганических отходов // Химическая промышленность 1988.- №3.- С.17-19.
4. Глуховский И.В., Глуховский В.В., Овруцкий В.М. и др. Современные методы обезвреживания, утилизации и захоронения токсичных отходов промышленности // Учебное пособие / Минэкобезопасности Украины, Государственный институт повышения квалификации. – К.: ГИПК, 1996.- 100 с.
5. Федорченко В.С., Марченко Г.П., Шкурпело В.П., Заслав М.С. Утилизация пестицидов // Защита растений.-1992.- №8.- С.20-21.
6. Hazardous Waste Incineration: Questions and Answers (EPA/530-SW-88-018). – Washington: Office of Solid Waste, 1988.- 53 p.
7. Мальцева А.С., Фролов Ю.Е., Розловский А.И. Огневое обезвреживание отходов хлорорганических производств // Ж. Всес. хим. общества им. Д.И.Менделеева.- 1982.- Т.27.-№1.- С.67-72.
8. Дмитриев В.И. Методы обезвреживания хлорорганических отходов // Ж. Всес. хим. общества им. Д.И.Менделеева.- 1988.- Т.33.-№5.- С.586-588.
9. Мальцева А.С., Фролов Ю.Е., Жаров Н.Н., Розловский А.И. Стационарное сгорание смесей, содержащих хлоралканы // Химическая промышленность - 1984.- №1.- С. 19-21.
10. Council Directive 94/67/EC of 16 December 1994 on the incineration of hazardous waste. Official J. Eur. Commun.- 1994.-# L365.- P. 34-35.
11. Винг Цанг.Распад и образование диоксинов при горении отходов // Хим.физ.- 1994.- Т.13.- №2.-С.17-33.
12. Прохач Е.Ю., Михальська Л.Л., Ромась С.В. Аналіз вмісту викидів при пожежі на складах зберігання пестицидів // Про-

Шляхи зменшення небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із зберіганням непридатних хімічних засобів захисту рослин та отрутохімікатів

- блемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. Вып.17. – Харьков: УГЗУ, 2005. – С. 157-163.
13. Прохач Э.Е., Михальская Л.Л. Моделирование процессов горения пестицидов при пожаре // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. Вып.22. – Харьков: УГЗУ, 2007. – С. 149-153.
14. Михальська Л.Л., Прохач Е.Ю., Пижинський Я.І. Використання військових агрегатів нейтралізації для знешкодження непридатних пестицидів // Экология и промышленность. – 2007. - №4. – С. 60-63.

УДК 614.8

*Рудаков С.В., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,
Герасимов С.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр. НЦ ПС ХУПС,
Подорожняк А.О., канд. техн. наук, ст. наук. співр. НЦ ПС ХУПС*

ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БОЄПРИПАСІВ І ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН ПРИ ЇХ ЗБЕРІГАННІ

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

В статті отримані нерівності, які дозволяють визначити доцільність проведення контролю технічного стану боеприпасів та вибухонебезпечних речовин при їх зберіганні

Постановка проблеми. Проблеми зберігання запасів боеприпасів і вибухонебезпечних речовин (БВР) є надзвичайно актуальними у контексті безпеки не лише України, але й європейського регіону загалом. Така актуальність зумовлена наявністю реальних загроз, що походять від запасів БВР, нагромаджених в Україні за радянських часів та, зокрема, під час виведення радянських військ з території держав-учасниць колишнього Варшавського договору. Обсяги запасів БВР набагато перевищують максимально допустимі норми завантаження об'єктів на яких вони зосереджені, що створює додаткові ризики виникнення надзвичайних ситуацій [1].

Вибухи в Артемівську (жовтень 2003 р.), Новобогданівці (травень 2004 р.) та Цвятохі (травень 2005 р.) довели неприпустимість

подальшого зволікання з вирішення проблем надійного зберігання БВР на арсеналах, базах та складах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для підтримки БВР в технічно справному стані розробляються і продовжують удосконалюватися методи і засоби їх зберігання, захисту від корозії [1-4]. Завдяки цьому мається можливість утримати вироби на зберіганні досить тривалий час без значного зниження значень їхніх технічних показників. Однак при цьому потрібні значні матеріальні та трудові ресурси. Відсутність необхідних коштів призводить до виникнення нештатних ситуацій на об'єктах зберігання БВР. Однак у сучасних публікаціях відсутні методики проведення контролю технічного стану боеприпасів і вибухонебезпечних речовин при їх зберіганні.

Тому, **метою статті** є розробка пропозицій, щодо доцільності проведення контролю технічного стану БВР при зберіганні та підтримання їх в працездатному (боеготовому) стані.

Постановка завдання та його вирішення. Одними з головних серед комплексу організаційних і технічних заходів, спрямованих на якісну підготовку та утримання БВР при зберіганні, є контроль їх технічного стану і обслуговування в процесі зберігання у встановлений термін.

Основне завдання проведення контролю технічного стану БВР – підвищення вірогідності того, що вони знаходяться в справному стані та спроможні виконати поставлене бойове завдання, тобто ймовірність їх справного стану після проведення контролю повинна бути більше, ніж до нього. Побудова та аналіз математичної моделі експлуатації зразка ракети чи боеприпасу, який розглядається, дозволяє визначити ймовірність його знаходження в кожному з можливих станів, наприклад, у справному стані експлуатації або в стані експлуатації зі схованою відмовою [5]. Тоді без проведення контролю технічного стану при зберіганні ймовірність того, що зразок буде справний, відповідає ймовірності P_c знаходження його в справному стані для моделі експлуатації.

Ймовірність справного стану зразка БВР після проведення контролю технічного стану P_c^k визначимо, використовуючи математичну модель “зразок – засіб контролю” [5]

$$P_c^k = P_c [K_{зк} P_{зк} P_k + (1 - K_{зк} P_{зк} P_k) P_v] + (1 - P_c) P_v, \quad (1)$$

де $K_{зк}$ – нормувальний коефіцієнт, що характеризує метрологічну справність засобу контролю, $K_{зк} = 0,6 \div 0,8$ [6]; $P_{зк}$ – ймовірність справного стану засобу контролю; P_{κ} – ймовірність справного стану зразка БВР при проведенні контролю; P_{ϵ} – ймовірність відновлення несправного зразка БВР (шляхом проведення регулювальних робіт або ремонту), P_c – ймовірність того, що зразок знаходиться в справному стані.

З урахуванням виразу (1), введемо показник ефективності проведення контролю K_{κ} у вигляді відношення

$$K_{\kappa} = \frac{P_c^{\kappa}}{P_c} = \frac{P_c [K_{зк} P_{зк} P_{\kappa} + (1 - K_{зк} P_{зк} P_{\kappa}) P_{\epsilon}] + (1 - P_c) P_{\epsilon}}{P_c}. \quad (2)$$

З виразу (2) видно, що при $K_{\kappa} > 1$ проведення контролю підвищує вірогідність справного стану зразка БВР при зберіганні та його параметри обрані правильно. При $K_{\kappa} < 1$ проведення контролю не підвищує вірогідність справного стану зразка БВР і збільшує матеріальні та часові витрати на його проведення. Тому необхідно змінити вимоги до системи зберігання та технічного обслуговування, наприклад, застосувати більш точні методи вимірювань або засоби контролю, оптимізувати періодичність проведення перевірки технічного стану засобів контролю з метою підвищення їх метрологічної надійності, використовувати більш ефективні методи при проведенні відновлення несправних зразків.

Відмова від проведення контролю технічного стану БВР під час зберігання може привести до того, що на зберігання буде направлений несправний зразок, а отже, може бути нанесений певний матеріальний збиток C^- від виникнення нештатних ситуацій. З іншого боку, відмова від проведення контролю зменшує вартість зберігання, а, значить, і експлуатації БВР на величину, що визначається витратами C_{κ} на проведення їх контролю. Введемо коефіцієнт економічної ефективності проведення контролю $K_e = C_e^{\kappa} / C_e$, де C_e^{κ} , C_e – складові коефіцієнту економічної ефективності при проведенні контролю під час зберігання БВР і без його проведення відповідно.

Тоді коефіцієнт економічної ефективності проведення контролю запишемо як $K_e = C_e^{\kappa} / C_e > 1$, де при $K_e > 1$ економічний ефект

від застосування справного зразка БВР за призначенням більше витрат на проведення контролю і його проведення економічно доцільне. Якщо $K_e < 1$, то необхідно переглянути економічні вимоги до організації експлуатації.

Економічний ефект від застосування зразка БВР за призначенням C_{ef} може бути визначений згідно виразу

$$C_{ef} = K_p C^+ - (1 - K_p) C^- - C_p, \quad (3)$$

де C^+ – величина, що визначає економічний ефект (користь), як результат застосування зразка за призначенням; C_p – величина, що визначає витрати на експлуатацію БВР; K_p – чисельний коефіцієнт, що враховує факт виконання БВР поставленого завдання й залежить від параметрів експлуатації.

Розглянемо граничні умови для виразу (3). При $K_p = 1$ вони приймають вигляд: $C_{ef} = C^+ - C_p$, тобто при виконанні зразком БВР поставленого завдання (після зняття зі зберігання) функція економічного ефекту представляє матеріальний прибуток від його застосування за призначенням, крім витрат на експлуатацію. При $K_p = 0$ формула (3) перетвориться до виду $C_{ef} = -C^- - C_p$, де знак “–” показує, що при невиконанні зразком БВР поставленого завдання, збиток складе величину матеріальних втрат, пов'язаних з невиконанням зразком поставленого завдання, і витрат на його експлуатацію.

Визначимо значення коефіцієнта K_p при проведенні контролю – K_p^k і без його проведення – K_p , використовуючи [6]

$$K_p^k = P_c K_n K_\phi; \quad (4)$$

$$K_p = P_c K_n K_\phi, \quad (5)$$

де K_n, K_ϕ – чисельні коефіцієнти, що визначають відповідно рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу й рівень впливу зовнішніх факторів на застосування зразка за призначенням (зміню-

ються в діапазоні від 0 до 1 і визначаються на підставі дослідних даних або методом експертних оцінок).

Витрати на експлуатацію зразка БВР пропонується визначати як сумарні витрати на його перебування в станах моделі експлуатації й на переходи між ними та розраховувати за допомогою виразу [7]

$$C_p = \sum_{i=1}^N C_i P_i(\chi) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} P_i P_{ij}(\chi), \quad (6)$$

де C_i, C_{ij} – грошові витрати на експлуатацію зразка відповідно при перебуванні його в i -ому стані, $i = \overline{1, N}$, і при переході з i -го стану в j -й стан, $j = \overline{1, N}$; N – число станів розглянутої моделі експлуатації зразка; χ – вектор параметрів експлуатації зразка (наприклад, періодичність проведення контролю, напрацювання на відмову); $P_i(\chi)$ – імовірність перебування зразка в i -ому стані; $P_{ij}(\chi)$ – імовірність переходів зразка із i -го стану в j -й стан.

Ймовірності $P_i(\chi), P_{ij}(\chi)$ жорстко пов'язані з вектором параметрів χ , тому отримана функція C_p (6) залежить від параметрів процесу експлуатації зразка, у тому числі й від параметрів контролю (наприклад, чим менше періодичність проведення операцій контролю, тим більше витрати на його обслуговування тощо).

З урахуванням виразів (3 – 5) функції економічного ефекту C_e^k, C_e при проведенні контролю та без нього запишемо відповідно у вигляді

$$C_e^k = P_c^k K_n K_\phi C^+ - (1 - P_c^k K_n K_\phi) C^- - (C_p + C_k);$$

$$C_e = K_p C^+ - (1 - K_p) C^- - C_p = P_c K_n K_\phi C^+ - (1 - P_c K_n K_\phi) C^- - C_p.$$

Підставивши ці співвідношення у формулу K_e , маємо

$$K_e = \frac{P_c^k K_n K_\phi C^+ - (1 - P_c^k K_n K_\phi) C^- - (C_p + C_k)}{P_c K_n K_\phi C^+ - (1 - P_c K_n K_\phi) C^- - C_p}. \quad (7)$$

Спростивши цю формулу й використовуючи вираз (2), одержимо умову для визначення доцільності проведення контролю технічного стану БВР під час зберігання

$$\frac{C^+ + C^-}{C_c} > \frac{1}{(P_c^k - P_c)K_n K_\phi}.$$

У зв'язку з тим, що ймовірності P_c^k , P_c та значення коефіцієнтів K_n , K_ϕ можуть приймати значення в діапазоні $[0,1]$, отримуємо

$$\left(C^+ + C^- \right) / C_c > 1. \quad (8)$$

Проаналізувавши (8) можна зробити висновок, щодо економічної доцільності проведення контролю технічного стану БВР під час зберігання.

Висновок. Отримані в статті нерівності дозволяють визначити доцільність проведення контролю технічного стану боеприпасів та вибухонебезпечних речовин при їх зберіганні.

Проведення контролю технічного стану БВР під час зберігання доцільно тоді, коли економічний ефект від застосування їх за призначенням після зняття зі зберігання та витрати, що можуть бути спричинені нештатною ситуацією від несправного зразка БВР, більше витрат на проведення контролю. У цьому випадку проведення контролю технічного стану економічно доцільно, у протилежному випадку дані зразки БВР зберігати недоцільно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Затинайко О.І. Реформування Збройних Сил України в контексті глобальних викликів та інтеграції до євроатлантичної співдружності // Наука і оборона. – 2003. – № 4. – С. 3 – 6.
2. Руководство по хранению ракетно-артиллерийского вооружения и имущества на арсеналах, центральных и окружных базах и складах. – Київ, Варта, 1995. – 165 с.
3. Програма забезпечення живучості та вибухопожежобезпеки арсеналів, баз та складів озброєння, ракет і боеприпасів Збройних

-
- Сил України на 1995-2015 роки // Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 28.06.95 № 472 (зі змінами від 25.10.99 № 2153).
4. Інструкція про організацію обліку, зберігання і видачі стрілецької зброї та боеприпасів у Збройних Силах України // Затверджено наказом Міністра оборони України від 29.06.2005 № 359.
 5. Яковлев М.Ю., Герасимов С.В., Стадник В.В. Обобщенная математическая модель системы “контрольно-проверочное оборудование – сложный технический комплекс” // Труды 5-го Международного молодежного форума “Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке”. – Харьков: ХГТУРЭ, 2001. – Ч.1. – С. 446 – 447.
 6. Герасимов С.В., Стадник В.В., Яковлев М.Ю. Методика оценки точности измерений при измерительном контроле параметров сложных технических комплексов // Національна академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. Зб. наук. пр. – К.: ІПМЕ НАНУ. – 2004. – Вип. 26. – С. 30 – 35.
 7. Пискачев А.И., Герасимов С.В. Методика определения оптимальной периодичности проведения метрологического обслуживания сложного технического комплекса // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – № 6. – С. 13 – 17.

*Садковой В.П., канд. психол. наук, ректор, УГЗУ,
Коврегин В.В., проректор, УГЗУ,
Байтала М.Р., зам. нач., ГДПБ МЧСУ*

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ДАТЧИКА
ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ ОСЛАБЛЕНИЯ
ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ**

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

Разработана имитационная модель, описывающая процесс определения постоянной времени датчика первичной информации (ДПИ) системы ослабления последствий аварий непосредственно при его эксплуатации

Постановка проблемы. Эффективность работы системы ослабления последствий аварий во многом определяется совершенством ее системы эксплуатации. Одним из этапов при создании таких систем является их моделирование, что позволяет решать задачи по выбору структуры системы, алгоритмов ее функционирования и др. В этой связи актуальной проблемой является создание комплекса моделей, с помощью которых можно было бы осуществлять моделирование всех этапов функционирования систем ослабления последствий аварий, включая штатные режимы их работы, которые не всегда могут быть воспроизведены физически.

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно INSAG-12 [1] реализация фундаментальных принципов глубокоэшелонированной защиты, в частности АЭС, предполагает наличие систем, обеспечивающих ослабление последствий аварий. В наиболее общем виде модели таких систем рассмотрены в [2]. Эти модели принадлежат классу аналитических моделей, и их использование для моделирования обуславливает необходимость в применении соответствующих трансляторов. Более широкими возможностями обладают имитационные модели, в основе которых лежит использование пакетов визуального программирования [3].

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является создание имитационной модели, с помощью которой обеспечивает-

ся моделирование процесса определения динамического параметра датчиков первичной информации с терморезистивным чувствительным элементом во время проведения их температурных объектовых испытаний.

Теоретической основой такой имитационной модели является математическая модель терморезистивного чувствительного элемента ДПИ и алгоритм обработки информации, в основе которых лежит измерение временных параметров его выходного сигнала при протекании по такому чувствительному элементу электрического тока в виде одиночного импульса, например, треугольной формы.

В качестве математической модели терморезистивного чувствительного элемента ДПИ при внутреннем тепловом воздействии может быть использована передаточная функция, усредненная по его объему [4]

$$W(p) = \frac{\theta(p)}{L(i^2(t))} = \frac{k\tau_1}{\tau_1 p + 1}, \quad (1)$$

где $\theta(p)$ – изображение по Лапласу от выходного сигнала чувствительного элемента; $i(t)$ – электрический ток, протекающий через чувствительный элемент; L – оператор интегрального преобразования Лапласа; k , τ_1 – коэффициент передачи и постоянная времени.

Если имеет место [5]

$$i(t) = I_0 t_0^{-1} t [1(t) - 1(t - t_0)], \quad (2)$$

где I_0 , t_0 – амплитуда и длительность треугольного импульса электрического тока, то выражение для выходного сигнала терморезистивного чувствительного элемента ДПИ будет иметь вид

$$\begin{aligned} \theta(t) &= L^{-1} [k\tau_1 L(i^2(t)) (\tau_1 p + 1)^{-1}] = \\ &= k\tau_1 (I_0 t_0^{-1})^2 \left[\left[t^2 - 2\tau_1 t + 2\tau_1^2 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right) \right] 1(t) - \right. \\ &\quad \left. - \left[(t - t_0)^2 + 2(t_0 - \tau_1)(t - t_0) + \right. \right. \end{aligned}$$

$$+ \left(2\tau_1^2 - 2\tau_1 t_0 + t_0^2 \right) \left(1 - \exp \left(- \frac{t - t_0}{\tau_1} \right) \right) \Big] 1(t - t_0), \quad (3)$$

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

Пусть выполняются условия

$$t > 3\tau_1; t_0 > 3\tau_1; \frac{d\theta(t)}{dt} > 0. \quad (4)$$

Тогда для моментов времени t_i , $i = 1, 2, 3$ можно записать

$$\theta_i(t_i) = k \tau_1 I_0^2 t_i^{-2} (t_i^2 - 2\tau_1 t_i + 2\tau_1), \quad (5)$$

что следует из (3).

Величина методической погрешности при этом не будет превышать 5%.

Если положить, что

$$\theta_3(t_3) - \theta_2(t_2) = \theta_2(t_2) - \theta_1(t_1), \quad (6)$$

то из (5) следует алгебраическое уравнение первого порядка относительно динамического параметра τ_1 , т.е.

$$2\tau_1(t_3 - 2t_2 + t_1) - (t_3^2 - 2t_2^2 + t_1^2) = 0, \quad (7)$$

откуда

$$\tau_1 = 0,5 \frac{t_3^2 - 2t_2^2 + t_1^2}{t_3 - 2t_2 + t_1}. \quad (8)$$

Это выражение служит для определения величины постоянной времени ДПИ по результатам измерения параметров t_i , которые соответствуют значениям выходного сигнала $\theta_i(t_i)$ при условии, что имеет место (6).

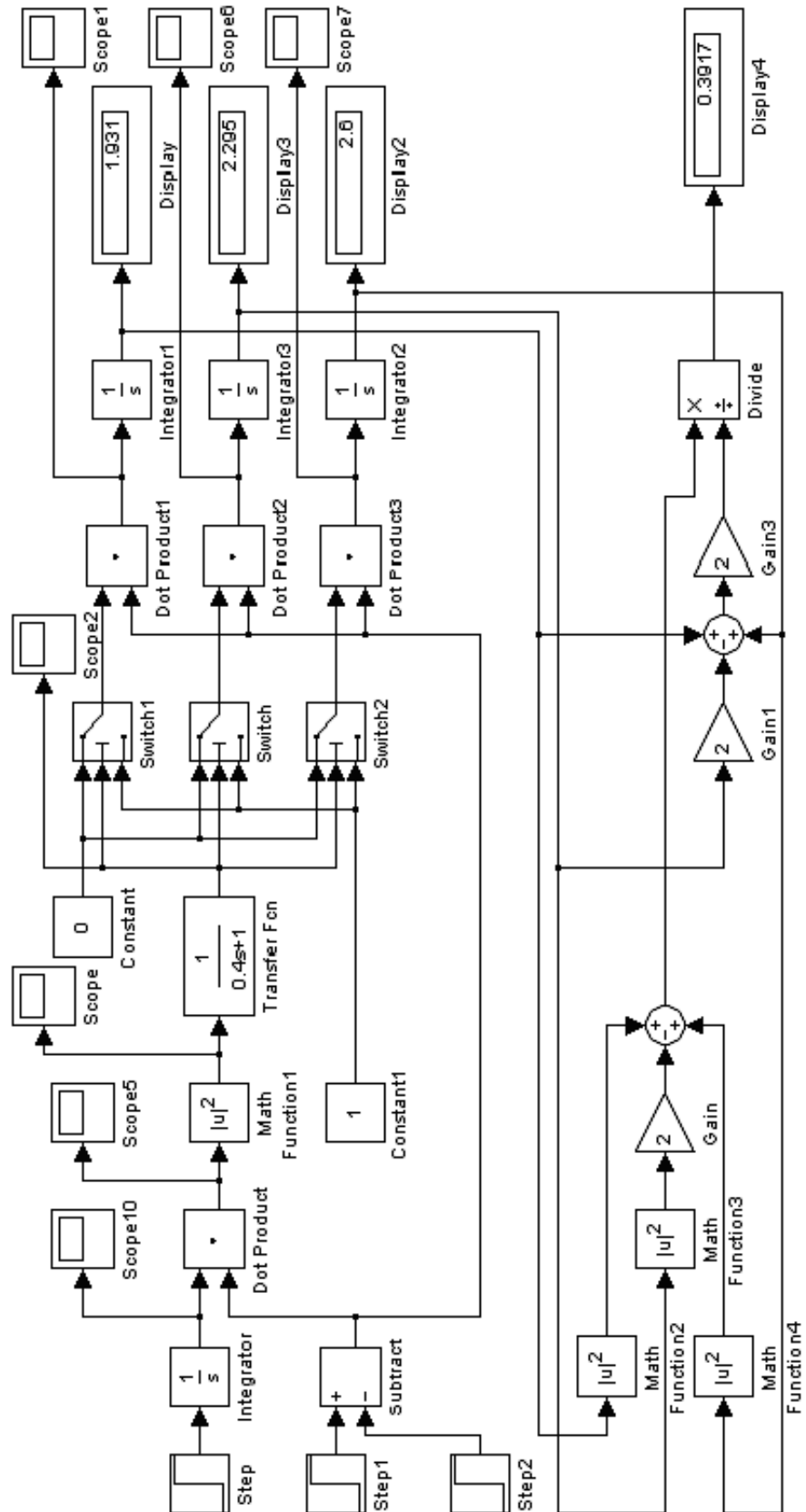


Рис. 1 – Имитационная модель процесса определения величины постоянной времени ДПИ

Садковой В.П., Коврегин В.В., Байтала М.Р.

На рис. 1 изображена структурная схема имитационной модели процесса определения величины постоянной времени ДПИ с терморезистивным чувствительным элементом. Модель включает две субмодели, одна из которых имитирует процесс измерения временных параметров t_i , а вторая служит для реализации алгоритма (8). Модель реализована в среде MATLAB с помощью пакета визуального программирования Simulink. С помощью блоков Step, Step1, Step2, Integrator, Subtract и Dot Product осуществляется моделирование источника электрического тока, который формирует одиночный импульс вида (2). Блок Math Function1 совместно с блоками Step, Step1, Step2, Integrator, Subtract и Dot Product моделируют входное воздействие на чувствительный элемент, работа которого моделируется блоком Transfer Fcn. Блоки Constant, Constant1, Switch, Switch1, Switch2, Dot Product1÷ Dot Product3, Step1, Step2 и Subtract выполняют функции трех пороговых устройств, каждое из которых настраивается на соответствующее значение порога срабатывания θ_i . Блоки Integrator1, Display, Integrator3, Display3 и Integrator2, Display2 служат для измерения моментов времени t_1 , t_2 и t_3 , в которые выходной сигнал чувствительного элемента ДПИ достигает значений θ_1 , θ_2 и θ_3 соответственно. Блоки Math Function2, Math Function3, Math Function4, Gain и сумматор реализуют алгоритм числителя в выражении (8), а блоки Gain1, Gain3 совместно со вторым сумматором реализуют алгоритм знаменателя (8). Оператор деления реализуется с помощью блока Divide.

С помощью такой модели осуществлялось имитационное моделирование с параметрами $t_0 = 3,0$ с; $I_0 = 3,0$ А; $\tau_1 = 0,4$ с; $\theta_1 = 2,75$ К; $\theta_2 = 3,5$ К; $\theta_3 = 4,25$ К.

В результате моделирования было получено значение постоянной времени, равное 0,3911 с, т.е. погрешность рассогласования равна 2,2%.

Вывод. Разработана имитационная модель процесса определения динамического параметра датчика первичной информации при проведении его объектовых испытаний, в основе которой лежит реализация метода, предусматривающего измерение временных параметров выходного сигнала терморезистивного чувствительного элемента ДПИ системы ослабления последствий аварий при тепловом воздействии, обусловленном протеканием электрического тока в виде одиночного импульса треугольной формы.

Имитационное моделирование процесса определения динамического параметра датчика первичной информации системы ослабления последствий аварий

Имитационная модель получена в среде MATLAB с помощью пакета визуального программирования Simulink.

Результаты имитационного моделирования тест-задачи свидетельствуют о том, что величина методической погрешности равна 2,2%, что характеризует достаточно высокую степень адекватности математического описания процессов, протекающих в терморезистивном чувствительном элементе ДПИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. INSAG-12. Basic safety principles for nuclear power plants // 75-INSAG-3 Rev. 1. IAEA. – Vienna, 1999.
2. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Идентификация математической модели автоматической системы ослабления последствий аварий на АЭС // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5. – С. 182-184.
3. Лазарев Ю.В. Моделирование процессов и систем в MATLAB. – СПб.: Питер, 2005. – 512 с.
4. Коврегин В.В., Абрамов Ю.А. Математическое обеспечение испытаний тепловых пожарных извещателей // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2007. – Вып. 22. – С. 94-99.
5. Коврегин В.В. Модель выходного сигнала ТПИ с терморезистивным чувствительным элементом при протекании по нему электрического тока в виде импульса треугольной формы // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2008. – Вып. 23. – С. 86-90.

*Сенчихин Ю.Н., канд. техн. наук, нач. фак., УГЗУ,
Попов В.М., канд. техн. наук, проректор, УГЗУ,
Ромин А.В., канд. техн. наук, зам. нач. фак., УГЗУ,
Фесенко Г.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ МЕСТА И ПОВЕДЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНУЮ ДОЗУ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ ПРИ РАДИОАКТИВНОМ ЗАРАЖЕНИИ ТЕРРИТОРИИ

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

Проведены исследования влияния факторов места и поведения на эффективную дозу внешнего облучения работников лесного хозяйства и служащих сельской местности при восстановительной фазе аварии на атомной электростанции. Показаны некоторые пути снижения дозы облучения работников лесного хозяйства

Постановка проблемы. Для принятия обоснованных решений об уточнении комплекса мер, осуществляемых для возврата к условиям нормальной жизнедеятельности населения, на восстановительной фазе аварии на атомной электростанции осуществляется оценка эффективной дозы облучения населения за заданный промежуток времени [1-5]. При этом используются исходные данные, полученные в ходе радиационного мониторинга. Следует отметить, что, в отличие от открытой местности, при облучении населения в антропогенной среде (в статье речь пойдет о сельской местности) значительно меняются характеристики поля излучения. Учет этого при расчетах производится с помощью факторов места и поведения [5,6]. Факторы места L_j могут быть определены как отношение мощности дозы в точке j внутри населенного пункта (НП) или в его ареале, обусловленной техногенным гамма-излучением, к аналогичной величине над открытым целинным участком почвы. Фактор поведения зависит от времени года и представляет собой долю времени, в течение которого представители i -й группы населения находятся в j -й точке НП. В связи с тем, что вышеуказанные факторы подлежат учету при проведении

расчетов в условиях антропогенной среды, весьма актуальной представляется задача исследования их влияния на эффективную дозу внешнего облучения населения.

Анализ последних исследований и публикаций. В ряде работ, посвященных рассматриваемым вопросам [1-5], как правило, используются усредненные оценки факторов поведения (без учета времени года), либо учет факторов места и поведения осуществляется путем введения так называемого обобщенного антропогенного фактора, что приводит к получению наиболее консервативных ожидаемых значений доз облучения рассматриваемой группы населения.

Постановка задачи и ее решение. Для проведения исследований базовую формулу расчета эффективной дозы внешнего облучения населения от подстилающей поверхности, предложенную в [6], запишем с учетом факторов места и поведения в следующем виде

$$E_{i,s} = K_i^E \cdot \sum_i L_j \cdot F_{ij} \cdot \sum_k \left(\frac{1}{\lambda_k} (1 - \exp(-\lambda_k \cdot T)) \right) \cdot e_s^k \cdot \sigma_s^k,$$

где $K_{i,S}^E$ - коэффициент перехода от дозы в воздухе на высоте 1 м над подстилающей поверхностью к эффективной дозе для представителей i - ой группы населения, Зв/Гр; L_j - фактор места в i - й точке населенного пункта; F_{ij} - фактор поведения для i - й группы населения, находящейся в j - й точке НП; λ_k - постоянная радиоактивного распада k -го радионуклида, ч^{-1} ; T - интервал времени, для которого выполняется оценка, ч; e_s^k - дозовый коэффициент, определяемый как мощность поглощенной дозы k -го радионуклида на высоте 1 м от плоского изотермического источника, расположенного на границе воздух-земля, (Гр/ч)/(Бк/м²); σ_s^k - поверхностная активность k - го радионуклида на почве на момент измерений, Бк/м².

В качестве групп населения рассмотрим работников лесного хозяйства (группа 1) и служащих (группа 2). Интервал рассматриваемого времени $T = 2208$ часов (три летних месяца - июнь, июль, август). Основной дозообразующий радионуклид - Cs-137. Возможные места пребывания каждой группы населения и определенные для них факторы места и поведения следующие [6]: группа 1 -

одноэтажный кирпичный дом жилой зоны ($L_1=0,4$; $F_{11}=0,47$), дороги ($L_2=0,75$; $F_{12}=0,08$), участки вне помещений ($L_3=0,80$; $F_{13}=0,2$), одноэтажный деревянный дом рабочей зоны ($L_4=0,2$; $F_{14}=0,04$), лес ($L_5=1$; $F_{15}=0,21$); группа 2 - одноэтажный кирпичный дом жилой зоны ($L_1=0,4$; $F_{21}=0,42$), дороги ($L_2=0,75$; $F_{22}=0,04$), участки вне помещений ($L_3=0,80$; $F_{23}=0,20$); 1-й этаж трехэтажного административного здания рабочей зоны ($L_6=0,2$; $F_{26}=0,30$), рабочие дворы ($L_7=0,75$; $F_{27}=0,02$), зона отдыха (лес, луг) ($L_8=1$; $F_{28}=0,02$). Различия в факторах места и поведения для рассмотренных групп населения показаны в табл.1. Если фактор места или поведения характеризует ту или иную группу населения, то в столбике с ее названием ставится знак «+», в противном случае – «-».

Таблица 1 – Факторы места и поведения, характеризующие работников лесного хозяйства и служащих сельской местности и учитываемые при расчете эффективной дозы внешнего облучения

Факторы места	Работники лесного хозяйства	Служащие	Факторы поведения	Работники лесного хозяйства	Служащие
L_1	+	+	F_{11}	+	
L_2	+	+	F_{12}	+	
L_3	+	+	F_{13}	+	
L_4	+	+	F_{14}	+	
L_5	+	-	F_{15}	+	
L_6	-	+	F_{21}	-	+
L_7	-	+	F_{22}	-	+
L_8	-	+	F_{23}	-	+
			F_{26}	-	+
			F_{27}	-	+
			F_{28}	-	+

Из таблицы видно, что работники сельского хозяйства и служащие сельской местности характеризуются четырьмя общими факторами места (L_1, L_2, L_3, L_4) и не имеют общих факторов по-

Исследование влияния факторов места и поведения на эффективную дозу внешнего облучения различных групп населения сельской местности при радиоактивном заражении территории

ведения. О том, как подобное различие в факторах сказывается на эффективной дозе внешнего облучения, можно судить по графикам, представленным на рис.1.

Из графиков видно, что на всем диапазоне изменения параметра σ_s^{Cs-137} работники лесного хозяйства получают большую дозу, чем служащие, причем с увеличением параметра σ_s^{Cs-137} различие в дозах между данными группами населения возрастает. Так, например, для рассмотренных исходных данных при $\sigma_s^{Cs-137} = 1000$ кБк/м² работники лесного хозяйства получают дозу на 0,5 мЗв больше, чем служащие, а при $\sigma_s^{Cs-137} = 9000$ кБк/м² – на 3,9 мЗв больше. Таким образом, ввиду меньшей защищенности от внешнего облучения, для работников лесного хозяйства целесообразно рассмотреть возможные пути снижения получаемой дозы облучения.

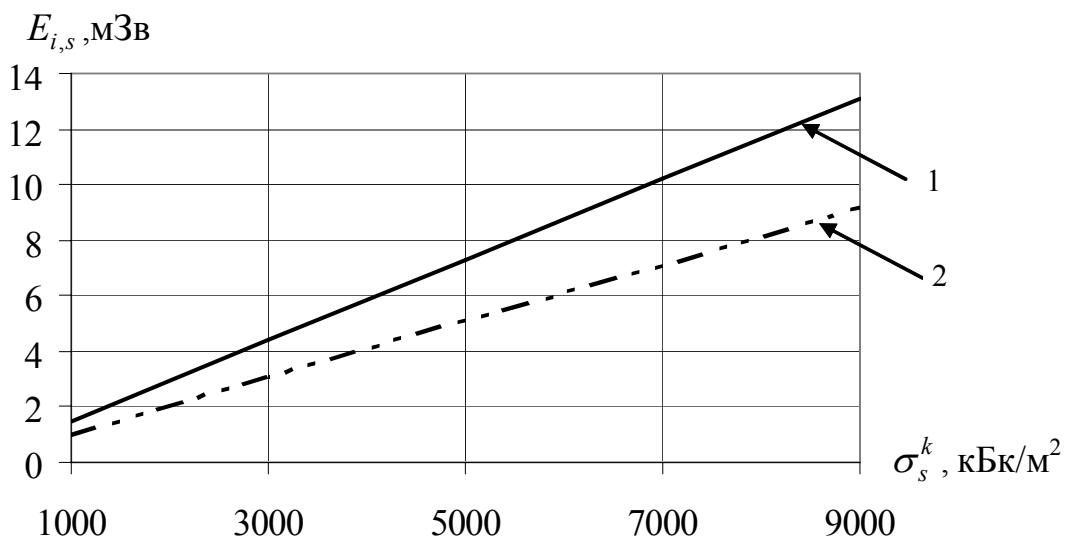


Рис. 1 – График зависимости эффективной дозы внешнего облучения населения сельской местности от поверхностной активности радионуклида Cs-137 при радиоактивном заражении местности: 1 – работники лесного хозяйства; 2 – служащие

Исходя из мест их пребывания в течение суток, можно заключить, что одним из путей снижения дозы облучения для этой категории населения может быть увеличение времени нахождения (увеличение значения фактора поведения) в местах с лучшей защитой от облучения (с меньшим значением фактора места). В качестве такого места можно выбрать одноэтажный дом рабочей

зоны. О том, насколько возможно уменьшить дозу облучения $E_{i,s}$ за счет увеличения времени пребывания в указанном месте для различных значений параметра σ_s^{Cs-137} можно судить по графикам, приведенным на рис.2. Так, например, при увеличении времени нахождения в одноэтажном доме рабочей зоны $t_{одрз}$ с 2-х часов до 5-ти при $\sigma_s^{Cs-137} = 5000$ кБк/м² доза облучения уменьшается с 7,3 мЗв до 5,5 мЗв. При $\sigma_s^{Cs-137} = 3000$ кБк/м² и $\sigma_s^{Cs-137} = 1000$ кБк/м² данное уменьшение происходит соответственно с 4,4 мЗв до 3,3 мЗв и с 1,5 мЗв до 1,1 мЗв.

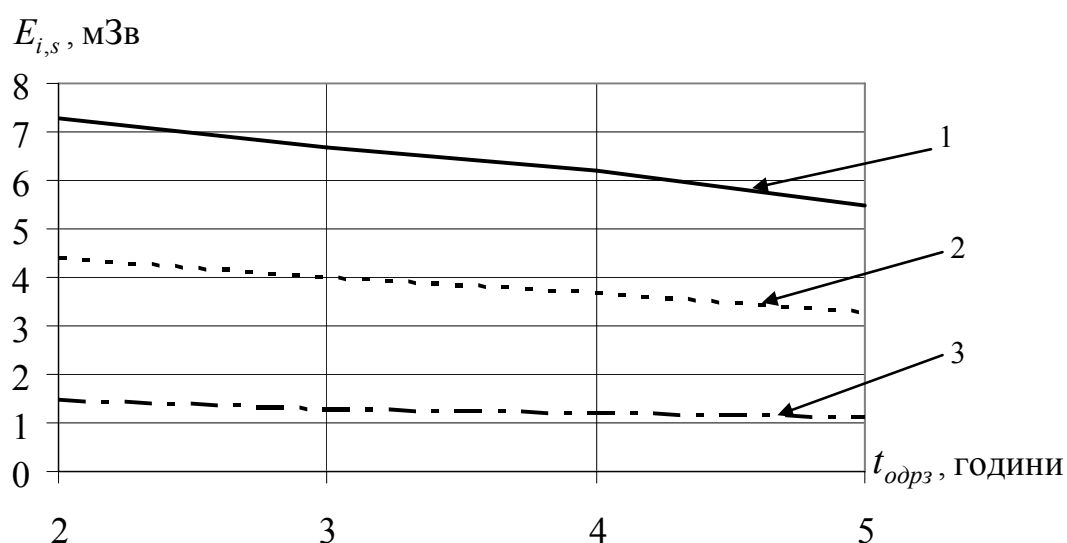


Рис. 2 – График зависимости эффективной дозы внешнего облучения работников лесного хозяйства сельской местности от времени нахождения в одноэтажном деревянном доме рабочей зоны для случая 6-ти часового рабочего дня: 1 - при $\sigma_s^{Cs-137} = 5000$ кБк/м²; 2 - $\sigma_s^{Cs-137} = 3000$ кБк/м²; 3 - $\sigma_s^{Cs-137} = 1000$ кБк/м²

Выводы. Рассмотрено влияния факторов места и поведения на эффективную дозу внешнего облучения работников лесного хозяйства и служащих сельской местности при восстановительной фазе аварии на атомной электростанции. Показано, насколько возможно снизить данную дозу облучения для работников лесного хозяйства за счет увеличения времени их нахождения в одноэтажном деревянном доме рабочей зоны при 6-ти часовом рабочем

дне и различных значениях поверхностной активности дозообразующего радионуклида Cs-137.

ЛИТЕРАТУРА

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – К., 2003. – 135 с.
2. Інструктивно-методичні вказівки «Радіаційно-дозиметрична паспортизація населених пунктів території України, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС, включаючи тиреодозиметричну паспортизацію» (Методика-96). – К., 1996. – 74 с.
3. Инструктивно-методические указания «Реконструкция и прогноз доз облучения населения, проживающего на территориях Украины, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС» (Методика-97). – К., 1998. - 79 с.
4. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Узагальнені дані за 2001-2004 рр. (Збірка 10). – К.: МНС України, НЦРМ України, ІРЗ АТН України, 2005. – 62 с.
5. Методические указания «Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС» (МУ 2.6.1.2003-05). – М., 2005. – 20 с.
6. Методические указания «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем» (МУ 2.6.1.2153-06). – С-Пб.: ФГУН СПбНИИРГ, 2007. – 56 с.

Соболь О.М., канд. техн. наук, докторант, УЦЗУ

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ПОСТІВ КОНТРОЛЮ З УРАХУВАННЯМ ПОРОГУ СПРАЦЬОВУВАННЯ ТА ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ДАТЧИКІВ

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

В роботі наведено метод раціонального розбиття заданої території на райони функціонування постів контролю з урахуванням порогу спрацьовування та похибки вимірювання датчиків

Постановка проблеми. На теперішній час велике значення для захисту населення від негативного впливу надзвичайних ситуацій різного характеру має моніторинг довкілля. Так, наприклад, навіть при нормальній роботі АЕС [1] до навколишнього середовища потрапляють газо-аерозольні та рідинні відходи під час організованих та неорганізованих викидів до атмосфери та водоймищ, при цьому тривалість та потужність викиду радіоактивних забруднень може значно змінюватися, а поля забруднень характеризуються значною довжиною. Все це призводить до зниження точності розрахункового моніторингу. Тому, разом із розрахунковими та прогностичними методами паралельний розвиток почали отримувати ідеї вимірювального моніторингу [2], які разом з методами короткострокового прогнозування використовуються як основа для оцінки стану навколишнього середовища [1].

Таким чином, існує проблема удосконалення системи збору, передачі й обробки інформації. Актуальність даної проблеми підтверджується тим, що в Національній доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році зазначено: проблемним є функціонування морально і фізично застарілої державної системи моніторингу довкілля. До основних недоліків існуючої системи моніторингу слід віднести:

- недостатню кількість постів спостережень;
- відсутність обґрунтованості їх розміщення;
- нерегулярність вимірювань;
- обмеженість складу вимірюваної екологічної інформації;
- неоперативність її отримання.

Однією із задач, розв'язання якої сприятиме вирішенню зазначеної проблеми, є задача раціонального розбиття територій на райони функціонування постів контролю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Норми радіаційної безпеки України викладено в [3]. В роботі [4] наведено методику обробки інформації, що надходить від нерегулярної сітки датчиків. При цьому для відтворення поля забруднення по даних від датчиків використовується регулярна сітка, в зв'язку з чим похибка отриманої інформації від постів контролю збільшується (за рахунок перетворення нерегулярної сітки до регулярної). Таким чином, задачу раціонального розміщення постів контролю доцільно розв'язувати методами регулярного розбиття точкових множин на підмножини, що не перетинаються. В роботі [5] наведено методи раціонального розбиття неперервних точкових множин, але ці методи неможливо застосувати для розв'язання зазначеної задачі.

Постановка завдання та його вирішення. Розглянемо постановку задачі раціонального розбиття територій на райони функціонування постів контролю.

Нехай задано множину розбиття S_0 , яка може бути однозв'язною, багатозв'язною та незв'язною. Існує стаціонарне точкове джерело забруднення, причому поле забруднення описується неперервною на заданій множині функцією. У якості вхідної інформації також розглядається наступна:

1. Технічні характеристики датчиків:

- поріг спрацьовування датчика, p ;
- похибка вимірів, ε_m .

2. Напрямок вітру \vec{V} . Використовуючи метеорологічну статистику можна визначити математичне очікування напрямку вітру для кожної конкретної місцевості [6].

Таким чином, необхідно побудувати регулярну сітку датчиків моніторингу довкілля, яка адекватно відтворювала б задане поле забруднення, що необхідно для прийняття відповідних управлінських рішень.

Математична модель раціонального розбиття точкових множин на підмножини, що не перетинаються, наведена в роботі [7].

Розглянемо метод розв'язання поставленої задачі.

Перш за все, здійснимо поворот глобальної системи координат таким чином, щоб вісь ординат була спрямована паралельно напрямку вітру (рис. 1).

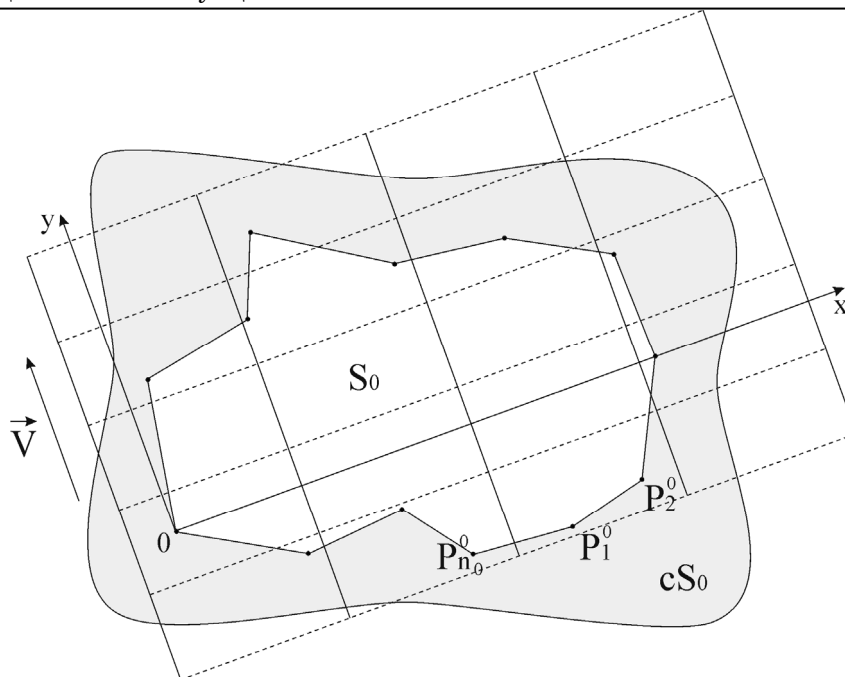


Рис. 1 – Розбиття заданої множини ортогональною регулярною сіткою з урахуванням напрямку вітру

Надалі розбиття заданої множини (території) S_0 здійснюється ортогональною регулярною сіткою так, як це наведено на рис. 1. Причинами того, що в даному випадку необхідне саме регулярне розбиття території на райони функціонування постів контролю, є наступні:

- зменшення обчислювальної похибки за рахунок того, що не потрібна перебудова нерегулярної сітки датчиків для відтворення полів забруднення [4];
- швидкість та простота обчислень, що необхідно для оперативної обробки інформації.

В зв'язку з тим, що результати вимірів датчиків, які розташовані в вузлах регулярної ортогональної сітки, мають значну похибку $\varepsilon_m \approx 15 - 20\%$, то для відтворення поля забруднення використовується лінійна інтерполяція в межах кожної комірки регулярної сітки (рис. 2). Інакше кажучи, використання інтерполяційних багаточленів високого степеня для інтерполяції поля забруднення є недоцільним, в зв'язку із значним зростанням трудомісткості без забезпечення адекватної точності [4].

Що стосується обмежень даної задачі розбиття щодо порогу спрацьовування та похибки вимірів датчиків, то для їх виконання необхідно наступне:

Визначення раціональної кількості постів контролю з урахуванням порогу спрацьовування та похибки вимірювання датчиків

1. Врахування порогу спрацьовування датчика, p . Якщо величина, що характеризує поле забруднення d_i (рис. 2) в i -му вузлі регулярної сітки ($i = 1, 2, \dots$), з урахуванням заданої похибки вимірів ε_m , не перевищує порогу спрацьовування датчика ($d_i \cdot (1 \pm \varepsilon_m) \leq p$), то при відтворенні поля забруднення вважається, що $d_i = 0$, тобто датчик не фіксує забруднення.

2. Врахування похибки вимірів датчиків ε_m . В точках перетину діагоналей комірок ортогональної регулярної сітки T^j , $j = 1, 2, \dots$, необхідно визначити наступний інтервал $[d^j - \varepsilon_m d^j, d^j + \varepsilon_m d^j]$, причому d^j - величина, що характеризує поле забруднення в j -тій точці. Якщо величини поля забруднення d^j (отримані шляхом інтерполяції значень вимірів від датчиків, що розташовані у вузлах сітки) в точках T^j , $j = 1, 2, \dots$, (рис. 2) належать інтервалу $[d^j - \varepsilon_m d^j, d^j + \varepsilon_m d^j]$, то вважаємо, що поточна ортогональна регулярна сітка є припустимою.

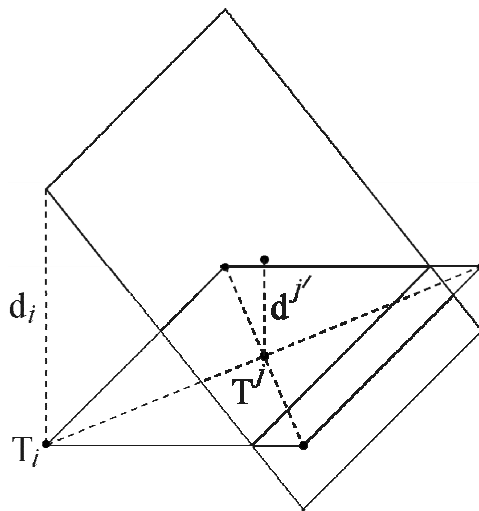


Рис. 2 – Відтворення поля забруднення в межах комірки регулярної сітки

Що стосується вірогідності виходу із строю датчиків моніторингу довкілля, то:

а) вірогідність виходу із строю лише 1-го датчика в певній комірці регулярної ортогональної сітки враховується автоматично, тобто для відтворення поля забруднення в межах однієї комірки використовується лінійна інтерполяція, для здійснення якої необхідні результати вимірів лише від 3-х датчиків, що розташовані у

вузлах комірки. Інакше кажучи, дана ситуація не впливає на відтворення поля забруднення;

б) вірогідність виходу із строю 2-х, 3-х та 4-х датчиків в одній комірці ортогональної регулярної сітки призводить до необхідності перебудови нерегулярної ділянки сітки до регулярної (під час опрацювання результатів вимірів) так, як це наведено в роботі [4]. Інакше кажучи, дана ситуація призводить до підвищення трудомісткості обробки даних, що надходять від постів контролю.

На рис. 3 наведено результати роботи програмного забезпечення, що створене на основі розробленого методу розв'язання задачі визначення раціональної кількості постів контролю.

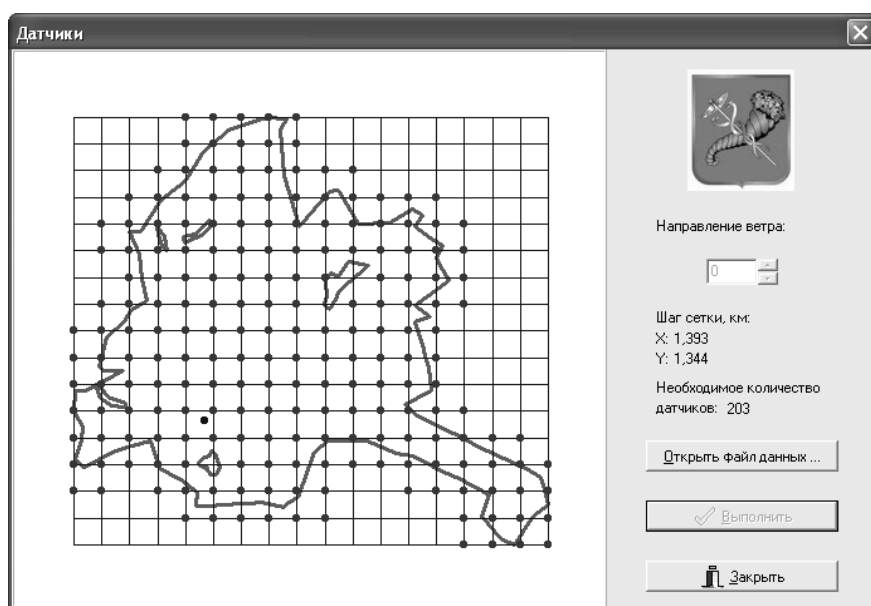


Рис. 3 – Результат розв'язання задачі визначення раціональної кількості постів контролю

Функція, що описує поле забруднення, має наступний вигляд

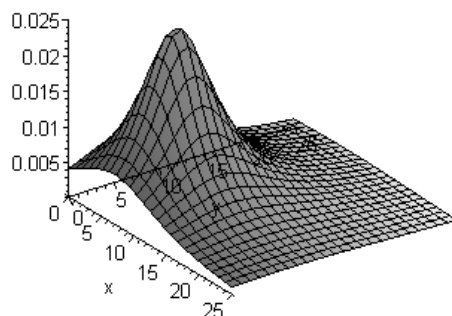


Рис. 4 – Поле забруднення

Визначення раціональної кількості постів контролю з урахуванням порогу спрацювання та похибки вимірювання датчиків

На рис. 5 та 6 наведено побудову полів забруднення по даних від датчиків, що розташовані у вузлах регулярної сітки, як без урахування (рис. 5), так і з урахуванням (рис. 6) порогу спрацювання та похибки вимірів датчиків.

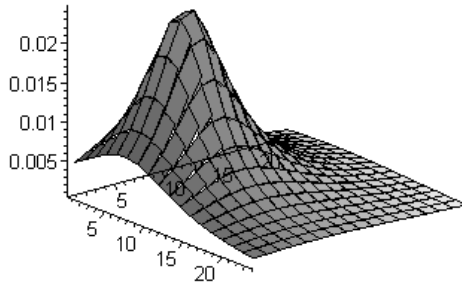


Рис. 5

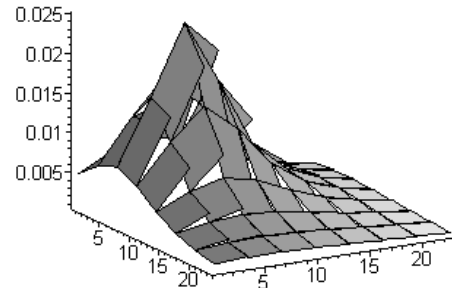


Рис. 6

Порівняння поверхонь на рис. 4-6 дозволяє зробити висновок про адекватність розробленого методу розв'язання та отриманих результатів.

Після побудови ортогональної регулярної сітки постів контролю, необхідно визначити місця їх розташування. Наведемо приклад побудови областей припустимих розміщень постів контролю. Для цього розглянемо суміжні комірки ортогональної регулярної сітки постів контролю (рис. 7).

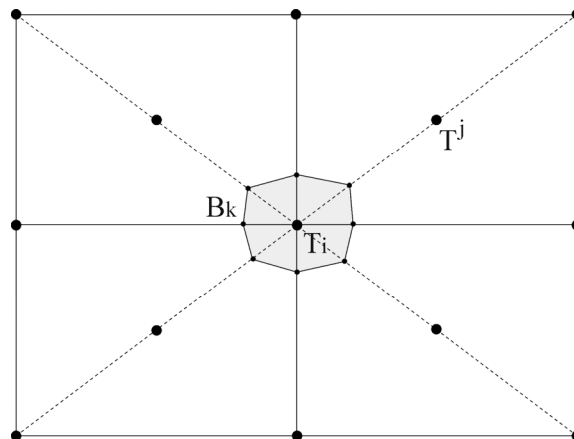


Рис. 7 – Побудова області припустимих розміщень поста контролю

Для побудови області припустимих розміщень постів контролю розглянемо прямі, що утворюють ортогональну регулярну сітку, яким належить точка T_i , $i = 1, 2, \dots$, та прямі, що проходять че-

рез точку T_i та точки T^j , $j = 1, 2, \dots$, в суміжних комірках сітки. На даних прямих визначаються точки B_k , $k = 1, \dots, 8$, так, щоб при розміщенні поста контролю в будь-якій з точок B_k похибка відтворення поля забруднення не перевищувала ε_m . Інакше кажучи, області припустимих розміщень постів контролю мають забезпечувати потрапляння величин поля забруднення d^j (отриманих шляхом інтерполяції значень вимірів від датчиків, що розташовані в областях припустимих розміщень) в точках T^j , $j = 1, 2, \dots$, в інтервал $[d^j - \varepsilon_m d^j, d^j + \varepsilon_m d^j]$.

Висновки. В даній роботі наведено моделювання раціонального розбиття територій на райони функціонування постів контролю. Створене програмне забезпечення на основі метода розв'язання задачі визначення раціональної кількості постів контролю дозволяє відтворювати поля забруднення по даних від датчиків. Побудова полів забруднення дозволяє оперативно приймати відповідні управлінські рішення, наприклад, рішення стосовно евакуації населення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО) Хмельницкой АЭС: эскизный проект. Пояснительная записка ААНС. 466 452. 012 П1. – Харьков: СФ ИНЭК, 1998. – 128 с.
2. Методология комплексного мониторинга на территории расположения АЭС / Арлинская А.М., Барбашев С.В., Доброта Т.И. и др. – Радиационная безопасность и защита АЭС: Сб. статей. – Вып. 11. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 168-176.
3. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи: Видання перероблене та доповнене у відповідності із Законом України «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань» від 14.01.1998. – К.: МОЗ України, 1998. – 125 с.
4. Коба К.М. Моделі і методи розв'язання задач маршрутизації при ліквідації наслідків техногенних аварій: Автореф. ... дис. канд. техн. наук: 01.05.02. – Харків, 2005. – 19 с.

5. Киселева Е.М., Шор Н.З. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств: теория, алгоритмы приложения: Монография. – К.: Наукова думка, 2005. – 564 с.
6. СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика. - М.: Стройиздат, 1983.-136 с.
7. В.М. Комяк, О.М. Соболев. Математична модель задачі розбивання множини на підмножини з урахуванням обмежень у вигляді рівностей та нерівностей // Вестник Херсонского национального технического университета. Вып. 2(22). – Херсон: ХНТУ. – 2005. – с. 152-156.

УДК 331.101

*Стрелец В.М., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Бородич П.Ю., преп., УГЗУ,
Беридзе С.С., курсант, УГЗУ*

ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ТИПОВЫХ ОПЕРАЦИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПРОВЕДЕНИЕ АВАРИЙНО- СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА СТАНЦИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА (представлено д-ром техн. наук Лариным А.Н.)

Особенностью распределения времени выполнения типовых операций при проведении аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена является то, что с 10%-ным уровнем значимости они могут быть описаны с помощью β -распределения, имеющего параметры $\alpha=2,111$ и $\beta=2,995$

Постановка проблемы. Для разработки и принятия обоснованных решений штаб ликвидации чрезвычайной ситуации в метрополитене должен знать особенности выполнения типовых операций, присущих проведению аварийно-спасательных работ. Кроме того, их знание необходимо для повышения эффективности специализированной подготовки спасателей.

Анализ последних исследований и публикаций. С комплексных позиций процесс АСР как процесс функционирования сложной человеко-машинной системы рассматривались в [1,2]. Там отмечено, что для объективной оценки такого процесса необходимо проанализировать большое количество взаимозависимых

промежуточных работ, которые обеспечивают тушение, эвакуацию и спасание (при необходимости) пострадавших. Однако вопросы, связанные со спецификой метрополитена (в первую очередь с тем, что они выполняются крайне редко), ими не рассматривались.

Метод имитационного моделирования деятельности личного состава пожарной охраны, разработанный в работах [3,4,5], в котором основу составляют сетевые модели отдельных этапов тушения пожара, а также его развитие в работах [6,7], когда при описании аварийно-спасательных работ по извлечению пострадавшего из-под завала допускается вероятностный характер развития ситуации, не позволяющий рассматривать в модели случаи, которые имеют место в ходе АСР СМ, отличительной особенностью которых является как значительная продолжительность проведения разведки, так и работа в изолирующих аппаратах.

Особенности выполнения спасательных работ в метрополитене, связанные с их вероятностным характером, приведены в [8], однако там рассмотрены только распределения скорости движения газодымозащитников в разных ситуациях.

Постановка задачи и ее решение. В связи с этим поставлена задача раскрытия закономерностей выполнения типовых операций личным составом оперативно-спасательных подразделений в ходе АСР СМ.

Для этого были проведены экспериментальные исследования выполнения операций, которые являются типовыми для процесса АСР СМ независимо от характеристики станции и места возникновения чрезвычайной ситуации в процессе тактико-специальных учений, а также во время практических занятий.

Рассматривались спуск и подъем по неподвижным эскалаторным линиям, эвакуация пассажиров и обслуживающего персонала путем сопровождения и переноски, проведение разведки в помещениях со сложными конструктивно-планировочными решениями, боевое развертывание подразделений с прокладкой рукавных линии, передвижение по горизонтальной поверхности, подготовка звена ГДЗС к работе, проведение боевой проверки аппаратов.

Анализ результатов, некоторые из которых приведены на рис. 1-3, показал, что полученные в ходе учений экспериментальные данные не поддаются описанию с помощью нормального распределения по причине существенного отличия показателя скорости распределения j -ой боевой операции от нуля, т.е.

$$Sk_j = \frac{1}{n \cdot G_j^3} \cdot \sum_{i=1}^n (t_{ij} - \bar{t}_j)^2 \gg 0, \quad (1)$$

где n – число независимых опытов; t_{ij} – результат i -го измерения времени выполнения j -ой операции, с; \bar{t}_j, G_j – соответственно, оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения, с.

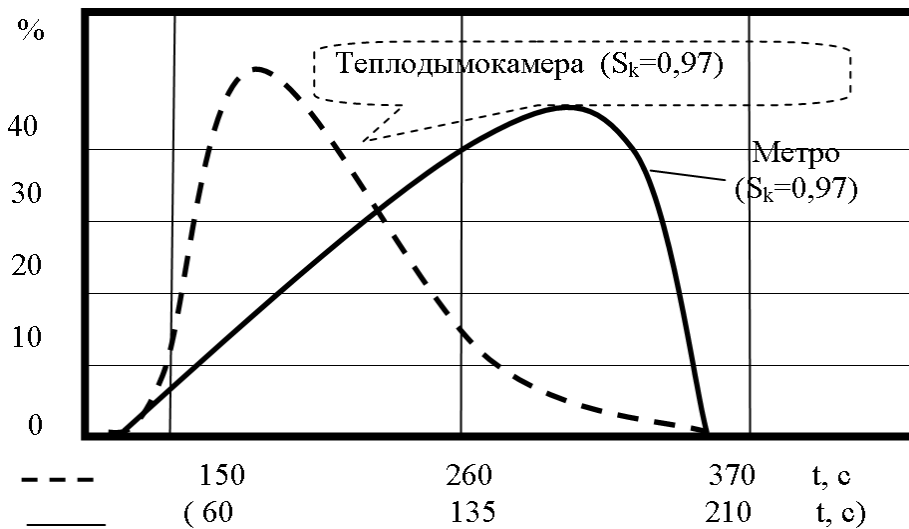


Рис. 1 – Распределение времени подготовки звена к работе

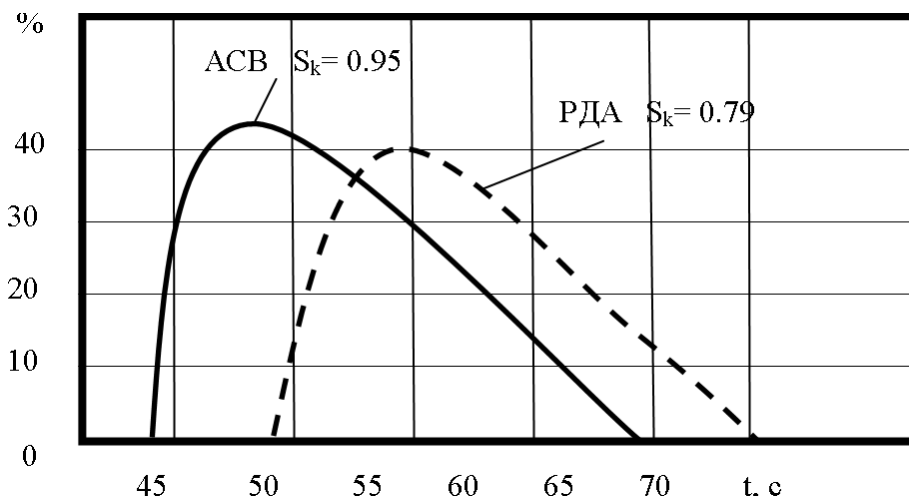


Рис. 2 – Распределение времени боевой проверки изолирующих аппаратов

В то же время видно (рис. 1-3), что характерными особенностями, присущими времени выполнения той или иной операции процесса ликвидации пожара или аварии на станциях метрополитена, являются:

- значение времени выполнения при выполнении любой операции ограничено как сверху, так и снизу, т.е. всегда можно указать максимальное значение $t_{j\max}$, которое имеет место при стечении самых неблагоприятных обстоятельств, и минимальное значение $t_{j\min}$, которое понадобится для выполнения работы при наиболее благоприятном стечении обстоятельств;

- при выполнении операции может быть любое значение времени на заданном интервале $[t_{j\min}, t_{j\max}]$, т.е. оно является непрерывной случайной величиной;

- среди данных операций могут быть такие, время выполнения которых зависит от большого числа случайных факторов, каждый из которых в отдельности является малосущественным, а также операции, на время выполнения которых оказывает влияние небольшое число важных факторов.

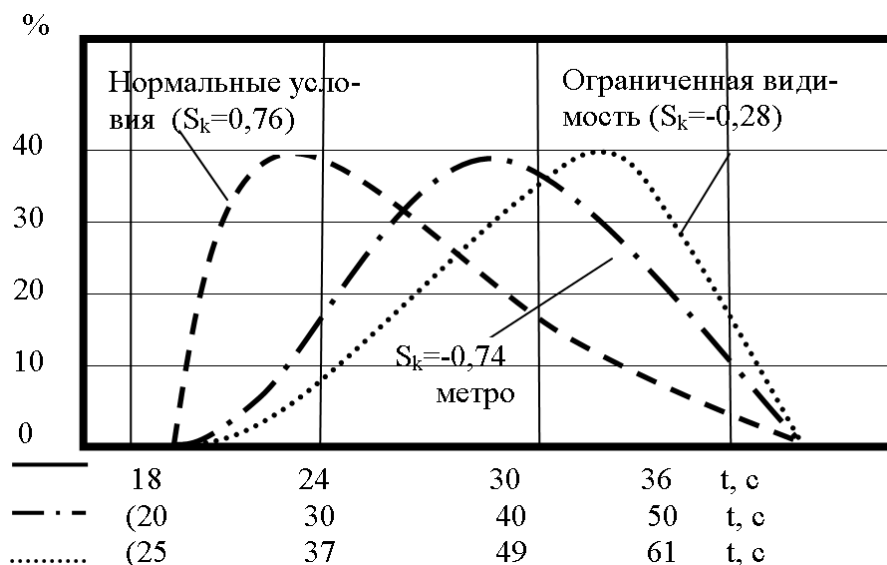


Рис. 3 – Распределение времени присоединения рукава к пожарному крану

Исходя из этого, для описания распределения полученных результатов было выбрано β – распределение. Для получения обобщенных параметров последнего α и β были сгруппированы в кодированных переменных по аналогии с [8] результаты всех времен

Особенности выполнения типовых операций, обеспечивающих проведение аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена

выполнения типовых операций. Расчеты с помощью пакета прикладных статистических программ позволили получить искомую β -функцию

$$\beta(x;2.891;2.005) = \frac{1}{B(2.891;2.005)} \int_0^x x^{4.891} \cdot (1-x)^{1.005} dx, \quad (2)$$

где $\alpha=2.111$ и $\beta=2.005$ – параметры обобщенного β -распределения времени выполнения операций, характерных для функционирования эргатической системы «спасатель – чрезвычайная ситуация в метрополитене – средства ее ликвидации и защиты».

Проверка оценки степени согласованности теоретического и статистического распределений с помощью критерия Колмагорова позволяет с 10%-ным уровнем значимости говорить об их сходимости. Это, в соответствии с [9] позволяет использовать полученную закономерность времени выполнения типовых операций для получения ориентировочных оценок, в том числе штабом ликвидации чрезвычайной ситуации.

Кроме того, анализ полученных распределений (рис.1.-3.) позволяет утверждать, что по величине показателя скошенности времени выполнения j -ой боевой операции можно судить об уровне подготовленности личного состава к выполнению этой операции. Чем больше положительное значение рассматриваемого показателя, тем большее количество спасателей выполняет рассматриваемую боевую операцию с результатами, близкими к наилучшим. Это свидетельствует о том, что дальнейшая подготовка не даст существенного улучшения результатов. И наоборот, чем больше модуль этого показателя для распределений с отрицательной скошенностью, тем существеннее будут улучшаться результаты после тренировок.

Таким образом, по величине показателя скошенности распределения времени выполнения типовых операций АСР СМ, особенно при их сравнении с аналогичными, когда те выполняются в обычной деятельности оперативно-спасательных подразделений, можно конкретизировать упражнения и задания для их использования при проведении практических занятий. Например, среди операций, время выполнения которых может быть существенно сокращено за счет соответствующих тренировок, можно выделить подготовку звена к работе (оснащение его средствами страховки и спасения пострадавших, связи, пожарно-техническим вооружени-

ем, выполнение боевой проверки дыхательных аппаратов и т.д.). Распределение времени выполнения последней приведены на рис. 3.1 (сплошная линия).

В то же время, выполнение аналогичной операции в теплодымокамере (рис. 3.1, штриховая линия), где личный состав ГДЗС имеет хорошие знания и навыки своих действий, скошенность распределений времени выполнения - положительная, поскольку подавляющее большинство результатов тяготеет к минимальному значению. Сравнительный анализ действий звена ГДЗС при подготовке к работе в теплодымокамере и к выполнению боевой задачи в ходе АСР СМ показал, что время подготовки определяет работа постового на посту безопасности. Соответственно, для сокращения времени выполнения этой операции в процессе плановых занятий основное внимание должно быть уделено повышению уровню подготовленности постового на посту безопасности, а также расширению его обязанностей на начальном этапе работы звена.

Особо нужно выделить такие операции, как выполнение боевой проверки АСВ (сплошная линия на рис. 2.) и боевой проверки РДА (штриховая линия на рис. 2.). Распределение времени выполнения как одной, так и другой операции имеет положительную скошенность. Это является закономерным, поскольку эти операции выполняются перед каждым включением в аппарат (независимо от того, что будет или нет проводиться АСР в метрополитене) и, если не было боевой работы в непригодной для дыхания среде, тренируются не реже одного раза в месяц.

Сравнение показателей скошенности распределения времени присоединения рукава к пожарному крану (рис. 3) при выполнении этой операции в разных условиях позволяет говорить о необходимости в процессе подготовки спасателей к АСР СМ использовать специальные упражнения [10] для тренировки координационных качеств на фоне усталости.

Анализ полученных распределений, характерных только для типовых операций общего процесса «спасатель – чрезвычайная ситуация в метрополитене – средства ее ликвидации и защиты», показал, что все распределения времен выполнения операции имеют отрицательную скошенность, а распределения скорости [8] выполнения – положительную. Это говорит о том, что штаб ликвидации ЧС в метрополитене должен ориентироваться на худшие результаты.

Выводы. Впервые получены закономерности выполнения спасателями типовых операций при проведении АСР СМ, отличительной особенностью которых является то, что распределения времен их выполнения с 10%-ным уровнем значимости могут быть описаны с помощью β -распределения, имеющего параметры $\alpha=2,111$ и $\beta=2,995$.

Практическая значимость заключается как в обеспечении исходными данными имитационной модели функционирования эргатической системы «спасатель – чрезвычайная ситуация в метрополитене – средства ее ликвидации и защиты», так и в обосновании вывода о том, что при анализе отдельных рекомендаций штабу ликвидации чрезвычайной ситуации в метрополитене целесообразно ориентироваться на худшие результаты. Кроме того, по величине скошенности распределения времени выполнения типовых операций АСР СМ можно судить об уровне подготовленности спасателей. Чем больше положительное значение рассматриваемого показателя при оценке времени выполнения, тем большее количество спасателей выполняет рассматриваемую боевую операцию с результатами, близкими к наилучшим. Это свидетельствует о том, что дальнейшая подготовка не даст существенного улучшения результатов. И наоборот, чем больше модуль этого показателя для распределений с отрицательной скошенностью (при оценке продолжительности выполнения), тем существеннее будут улучшаться результаты после тренировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Чучковский В.Н., Стрелец В.М. Имитационная оценка деятельности боевых расчетов пожарных автомобилей // Эргономика на автомобильном транспорте: Сб. науч. тр. – Харьков, ХГАДТУ, 1997. – С. 92-95.
2. Стрелец В.М., Грицай В.Б. Статистический метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения // Право і безпека: Науковий журнал – 2002. – Вип.1. –С.165-171.
3. Ковалев П.А. Алгоритм работы звена ГДЗС в помещениях, имеющих сложные конструктивно-планировочные решения // Проблемы совершенствования пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Харьков: ХВУ, 1997. – С.7-10.

4. Ковалев П.А., Чучковский В.Н. Моделирование деятельности личного состава газодымозащитной службы при работе со специальной техникой // Актуальные проблемы философии, науки и современных технологий X, XI Вестник ХДУ N 388 - X, ХДУ - ХІПБ, 1997. - С. 268-272
5. Стрелец В.М., Ковалев П.А. Особенности представления исходных данных при имитационном моделировании деятельности личного состава пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Харьков: ХІПБ, 1997.- С.50-53.
6. Стрелец В.М., Данильченко В.А., Аветисян В.Г., Ковалев П.А. Особенности подготовки газодымозащитников для эвакуации людей при пожаре с этажей здания // Пожарная безопасность – 95: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции. - М.: ВНИИПО МВД России, 1995. – С.84-86
7. Стрелец В.М., Аветисян В.Г. Имитационное моделирование аварийно-спасательных работ, проводимых в процессе извлечения пострадавшего из-под завала // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. Вип. 2(6). – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1999. – С.78-82
8. Стрелец В.М., Бородич П.Ю. Особенности скорости движения газодымозащитников при проведении аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2007. – Вып.21. – С. 256-259.
9. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
10. Настанова по ГДЗС ПО МВС України (Наказ Міністра внутрішніх справ №657–94 р.). - Київ, 1994. - 64 с.

Тарасенко А.А., канд. техн. наук, докторант, УГЗУ

ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО ФОНА ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

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

Предложена математическая модель распределения напряженности солнечной радиации и суточных сумм тепла по поверхности рельефа, которая может быть использована при идентификации условий самовоспламенения горючих веществ и динамики влажности растительного горючего материала

Постановка проблемы. Одной из компонент теплового баланса, под действием которого формируется влажность слоя растительного горючего материала (РГМ), является тепло, поступающее в результате прямой солнечной радиации. Быстрое пожарное созревание РГМ южных склонов в условиях холмистой либо горной местности, в засушливую погоду приводит к возникновению чрезвычайных лесопожарных ситуаций [1], и, как следствие, - возможности возникновения и распространения лесных пожаров. В силу неоднородности топографических условий, годовых и суточных изменений положения солнца, влажность РГМ подвержена пространственно-временным изменениям, что непосредственно влияет на динамику контура ландшафтного пожара [2], развивающегося по слою РГМ.

Таким образом, для прогнозирования возможности возникновения некоторых видов техногенных и природных ЧС, динамики их параметров, существует необходимость в определении напряженности солнечной радиации в условиях произвольного рельефа.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [3-4] приведены модели и экспериментальные данные для напряженности солнечной радиации [3] и суточных сумм тепла [4] на горизонтальной либо наклонной площадке для отдельных значений наклона и экспозиции в зависимости от географической широты, времени года и суток.

При этом в работе [3] допущены ошибки в определении азимута солнца, в работе [4] вывод выражения для определения суточных сумм тепла справедлив лишь для горизонтальной площад-

ки. Данные модели неприменимы для произвольного рельефа в силу отсутствия математической модели поверхности рельефа, определений угла склона и экспозиции.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является создание математической модели углового коэффициента инсоляции и нахождение суточных сумм тепла для поверхности реального рельефа.

В [5] на основе векторизированных карт высотных изолиний получена модель поверхности рельефа $Z(x, y)$ в виде

$$Z(x, y) = \sum_{s=0}^{S-1} \sum_{t=0}^{T-1} Z_{st}(x, y) (\eta(x - x_s) - \eta(x - x_{s+1})) (\eta(y - y_t) - \eta(y - y_{t+1})), \quad (1)$$

где $\eta(x), \eta(y)$ - функции Хэвисайда; S, T - количество узлов интерполяции по абсциссе и ординате; x_s, y_t - значения абсциссы и ординаты в узлах регулярной решетки ($s = 0 \dots S; t = 0 \dots T$); $Z_{st}(x, y)$ - бикубические сплайны

$$Z_{st}(x, y) = \sum_{u=1}^4 \sum_{v=1}^4 a_{uv}^{st} (x - x_s)^{v-1} (y - y_t)^{u-1}, \quad (2)$$

коэффициенты которых a_{uv}^{st} получены из условий гладкой сшивки $Z_{st}(x, y)$ с использованием метода Кунса [6].

На рис.1 приведен график поверхности реального рельефа (балка Терновая у юго-восточной окраины г. Харькова - $36^{\circ}25'$ в.д., $49^{\circ}55'$ с.ш.), полученной на основании модели (1)-(2). Направлению на север соответствует положительное направление оси OY .

Поверхность рельефа $Z(x, y)$ в каждой точке (x, y) характеризуется двумя параметрами – крутизной склона $\alpha(\varphi, x, y)$, отмеряемой от горизонтальной плоскости в азимутальном направлении φ , которое в свою очередь отмеряется от направления максимальной крутизны и изменяется в пределах $-\pi \leq \varphi < \pi$ и экспозицией $\beta(x, y)$. Согласно данному определению максимальная крутизна склона $\alpha_{\max}(x, y) = \alpha(0, x, y)$.

$$\alpha_{\max}(x, y) = \arcsin \left(\frac{\sqrt{[\partial Z(x, y)/\partial x]^2 + [\partial Z(x, y)/\partial y]^2}}{\sqrt{[\partial Z(x, y)/\partial x]^2 + [\partial Z(x, y)/\partial y]^2 + 1}} \right). \quad (3)$$

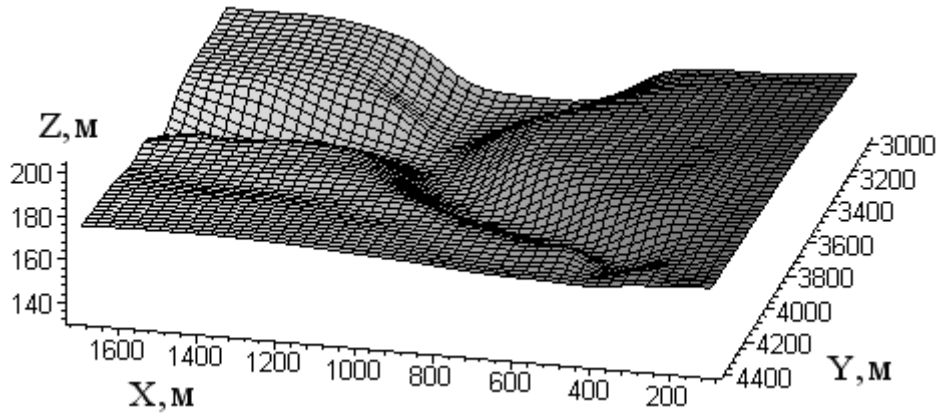


Рис. 1 – График поверхности рельефа северного окончания балки Терновой

В каждой точке (x, y) можно задать направление, противоположное направлению максимальной крутизны склона, в виде вектора $\vec{c} = \left(-\frac{\partial Z(x, y)}{\partial x}; -\frac{\partial Z(x, y)}{\partial y}; 0 \right)$. Экспозицию склона β в точке (x, y) определим как угол между направлением на север и вектором \vec{c} , отмеряемый против часовой стрелки (направление на север соответствует положительному направлению оси OY). В этом случае северному склону соответствует нулевая экспозиция, западному - $\beta = \pi/2$, южному - $\beta = \pi$, восточному - $\beta = 3\pi/2$. Для произвольного склона выражение для экспозиции удобно записать в виде

$$\beta = \pi - \operatorname{arctg} \left(\frac{\partial Z(x, y)}{\partial x}; \frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} \right). \quad (4)$$

При этом использование функции $\operatorname{arctg}(y, x) = -i \cdot \ln \left(\frac{x + i \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right)$; $-\pi < \operatorname{arctg}(y, x) \leq \pi$; комплексного аргумента $x + i \cdot y$, позволяет записать (4) в компактном виде (с учетом знаков y и x).

Для рельефа $Z(x, y)$, найдем мощность прямой солнечной радиации.

Значение излучательной компоненты теплового потока, проходящей на единицу земной поверхности и имеющей в физической географии название напряжение солнечной радиации, определяется крутизной склона $\alpha_{\max}(x, y)$, углом экспозиции $\beta(x, y)$, географической широтой, временем года и временем суток (определяющих динамику высоты и азимута солнца), альбедо подстилающей поверхности, прозрачностью атмосферы и облачностью [4]. Под влиянием данных факторов формируются суточные суммы тепла.

Найдем их значение в каждой точке поверхности рельефа $Z(x, y)$.

Напряжение солнечной радиации для точки склона, характеризуемой крутизной склона α_{\max} и экспозицией β , вычисляется, согласно [3], как

$$J = J_0 K, \quad (5)$$

где $J_0 = 1.94 \text{ кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$ [3] - т.н. солнечная постоянная - напряжение солнечной радиации на перпендикулярную лучам поверхность; K - угловой коэффициент облучения [3], $0 \leq K \leq 1$

$$K = \cos\left(\frac{\pi h}{180^\circ}\right) \sin\left(\frac{\pi \beta}{180^\circ}\right) \cos\left(\frac{\pi(\tilde{A} - \beta)}{180^\circ}\right) + \sin\left(\frac{\pi h}{180^\circ}\right) \cos\left(\frac{\alpha_{\max}}{180^\circ}\right). \quad (6)$$

Отметим недостаточность выражения (5), в силу того, что в нем не учтены альбедо подстилающей поверхности, прозрачность атмосферы, облачность и длина оптического пути солнечного луча сквозь атмосферу, различная в разное время дня.

В выражении (6) величина

$$h = \frac{180^\circ}{\pi} \arcsin \left[\sin\left(\frac{\pi \phi}{180^\circ}\right) \sin\left(\frac{\pi \delta}{180^\circ}\right) + \cos\left(\frac{\pi \phi}{180^\circ}\right) \cos\left(\frac{\pi \delta}{180^\circ}\right) \cos\left(\frac{\pi \omega}{180^\circ}\right) \right] \quad (7)$$

определяет высоту солнца h над горизонтом (градусы) [3]. Величина

$$\tilde{A} = \frac{180^\circ}{\pi} \arcsin \left[\cos \left(\frac{\pi \delta}{180^\circ} \right) \sec \left(\frac{\pi h}{180^\circ} \right) \sin(\omega) \right] \quad (8)$$

определяет азимут солнца (градусы). Азимут отсчитывается от направления на север по часовой стрелке [4].

В выражениях (6)-(8):

- ϕ - географическая широта (градусы) - положительная для северного и отрицательная для южного полушария;
- δ - годовое склонение солнца (градусы);

$$\delta = 23^\circ 26' 43'' \cos(2\pi T / 365.29 \text{ сутки}); \quad (9)$$

- T - время года (сутки), отмеряемое от дня летнего солнцестояния;

- ω - часовой угол солнца (радианы), отмеряемый в плоскости эклиптики по часовой стрелке от угла, соответствующего астрономическому полудню

$$\omega = 2\pi / (24 \cdot 60 \text{ мин}) t; \quad (10)$$

- t - время (минуты), отмеряемое от астрономического полудня.

Отметим ошибочность выражения (8), приведенного в [3], которое приводит к нефизичному результату. Проведенный нами вывод показал, что правильное определение азимута имеет вид

$$A = \begin{cases} -\tilde{A}, & t \leq t_1; \\ 180^\circ + \tilde{A}, & t \leq t_2; \\ 360^\circ - \tilde{A}, & t > t_2, \end{cases} \quad (11)$$

где $t_1 \in [-\pi; 0]$; $t_2 \in [0; \pi]$ - решения уравнения $\frac{\partial \tilde{A}}{\partial t} = 0$. Поэтому необходимо в (6) заменить \tilde{A} на A . Выражение (11) не справедливо для тропических широт.

Модель (1)-(11) дозволяє вычислити значення коефіцієнта $K(x,y)$ для реального рельєфа $Z(x,y)$ на заданній широті $\phi \in [-90^\circ; -23^\circ] \cup [23^\circ; 90^\circ]$ в різне время суток t і різне время года T . На рис. 2 приведені графіки $K(x,y)$ для різного времени суток.

Знання коефіцієнта $K(x,y)$ при учете параметрів, характеризуючих свойства атмосфери і підстилюючої поверхності, дозволяє находить сумми тепла $Q(x,y,t)$ от сонячної радіації, приходящися на єдиничную площадку поверхності рельєфа к моменту времени t . Сделав сдвигку $\tilde{t} = 12$ часов $-t$ удобно отсчитывать время от астрономической полуночи.

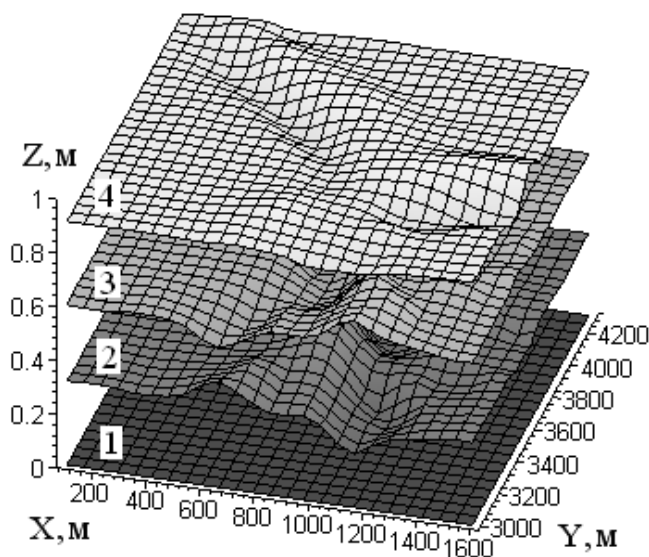


Рис. 2 – График коэффициента $K(x,y)$ в день летнего солнцестояния. Поверхности: 1- $\tilde{t} = 1$ час; 2- $\tilde{t} = 6$ часов; 3- $\tilde{t} = 16$ часов; 4- $\tilde{t} = 12$ часов

В этом случае радиационная сумма тепла пропорциональна интегралу

$$Q(x,y) \sim \int_0^{\tilde{t}} K(x,y,t) dt. \quad (12)$$

Вычисление данного интеграла осуществлялось численно методом прямоугольников в узлах регулярной сетки $[x_s; y_i]$,

$\hat{s} = 0 \dots 2S$; $\hat{t} = 0 \dots 2T$ с временным шагом $\Delta t = 1$ час и с последующей билинейной интерполяцией [5].

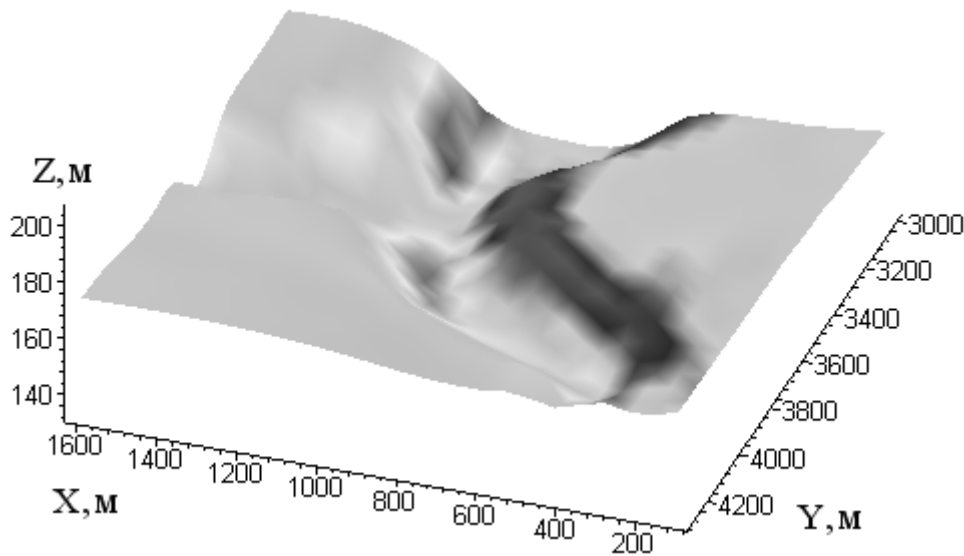


Рис. 3 – График интеграла (12) в день летнего солнцестояния, $\tilde{t} = 20$ часов

Результат вычисления данного интеграла, приведенный в виде окраски поверхности рельефа на рис. 3, позволяет наглядно представить относительное пространственное распределение значений суточной суммы тепла (для $\tilde{t} = 24$ часа).

Для определения абсолютных значений сумм тепла необходимо учесть параметры, характеризующих свойства атмосферы и подстилающей поверхности.

Выводы. Предложена математическая модель распределения напряженности солнечной радиации и суточных сумм тепла по поверхности рельефа, которая может быть использована при создании модели динамики влажности растительного горючего материала в условиях горной местности

ЛИТЕРАТУРА

1. Подрезов Ю.В., Шахраманьян М.А. Методологические основы прогнозирования динамики чрезвычайных лесопожарных ситуаций. – М.: ВНИИ ГОЧС, 2001. – 266 с.
2. Калиновский А.Я., Созник А.П. Модель распространения ландшафтного пожара с учетом изменения влажности горюче-

- го матеріала. Науковий вісник будівництва: Сб. науч. тр. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2005. – Вип. 31. – С. 291-295.
3. Захарова А.Ф. Радиационный режим северных и южных склонов в зависимости от географической широты. Ученые записки ЛГУ, №269. Серия географические науки. Вип. 13. КЛИМАТОЛОГИЯ. Ленинград : ЛГУ, 1959, 185 с.
 4. Хригиан А.Х. Физика атмосферы. Ленинград: Гидрометеорологическое из-во, 1969 г. 647 с.
 5. Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Формирование априорной информации для систем ликвидации последствий чрезвычайной ситуации // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 6. – Харків: УЦЗУ, 2007.- С. 11-22.
 6. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. – М.: Мир, 1972. – 316 с.

УДК 614. 8

*Тесленко О.О., канд. фіз.-мат. наук., доц., УЦЗУ,
Михайлюк О.П., канд. хім. наук, проф., УЦЗУ,
Олійник В.В., канд. техн. наук, нач. каф., УЦЗУ*

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

Запропонована імітаційна модель потенційно небезпечного об'єкту. Вивчено досвід дослідження статистичної поведінки цієї моделі щодо процедури ідентифікації. Пропонується мова до моделювання щодо визначення властивостей імітаційної моделі

Постановка проблеми. Одним із кроків зменшення ризику надзвичайних ситуацій (НС) на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО) є робота по виявленню потенційних джерел НС, прогнозуванню і запобіганню НС. Одним із важливих напрямів даної роботи є своєчасне проорокування величини та характеру аварійної ситуації, основною задачею якого є передбачення всіх можливостей що можуть відбуватися до й під час аварії. При цьому важливою залишається кількісна оцінка проявів аварії. Розв'язання даної

задачі можливе за допомогою імітаційного моделювання на ЕОМ, що пропонується в даній роботі. Імітаційне моделювання на ЕОМ дає можливість вивчати поведінку моделі в якості самостійно діючого об'єкту, яка може бути використана для вивчення закономірностей виникнення та розвитку надзвичайної ситуації. Така модель дозволила б виявити найбільш імовірні умови виникнення аварій та характер їх протікання.

Дана імітаційна модель на ЕОМ не розглядається як альтернатива до аналітично визначеної математичної моделі або будь-якого іншого моделювання. При необхідності отримання надійних результатів, необхідна верифікація результатів. Одержання результатів двома та більше засобами досить часто використовується для перевірки вірності результатів. Імітаційна модель, за умов її існування, в більшості випадків більш легко пристосовується до перевірки будь-яких гіпотез, ніж альтернативні засоби. Імітаційне моделювання на ЕОМ, у порівнянні з експериментальним та аналітично-математичним моделюванням, є більш дешевим у часі при реалізації. У деяких випадках імітаційна модель дає можливість передбачити нові, ще не реалізовані сценарії аварійних ситуацій, які за деяких причин складно розглядати іншими засобами.

Імітаційне моделювання - метод, що дозволяє будувати моделі, які описують процеси в умовах наближених до дійсності. Таку модель можна розглядати у часі як для одного випробування, так і для декількох. Результати при цьому можуть визначатися випадковим характером процесів. Взагалі ж імітаційне моделювання – метод дослідження, заснований на тому, що досліджувана система замінюється імітатором, з яким проводяться експерименти з метою одержання інформації про цю систему.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Публікацій в галузі розробки імітаційних моделей ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів не відомо. Аналіз літературних джерел в галузі імітаційного моделювання не дозволив також встановити і відомості щодо створення мови до моделювання потенційно небезпечних об'єктів. На даний час існує багатий досвід створення спеціалізованих мов до вирішення окремих технічних проблем спеціалістами різноманітних галузей науки, але в даній статті він не розглядається [1, 2].

Постановка завдання та його вирішення. В даній роботі взято за мету з'ясувати доцільність застосування імітаційного мо-

делювання у вигляді мови саме до ПНО. Так для опису умов виникнення та розвитку аварійної ситуації на ПНО була запропонована імітаційна модель – логіко-математичний опис об'єкта, що може бути використаний для експериментування на комп'ютері як з імітаторами існуючих об'єктів, так і з проектами таких об'єктів. Було запропоновано також розробити можливість створення таких моделей у спеціалізованій мові моделювання. Використовуючи цю мову було б можна створювати імітаційні моделі потенційно небезпечних об'єктів, що дозволяють враховувати їх особливості, довільне розташовувати в необхідній кількості, а також враховувати життєво-важливі об'єкти (ЖВО), що розташовані поруч [3]. Також пропонується розробляти таку мову подібною до мови HTML. Структура мови HTML досить проста і її вивчення входить до програми середньої школи. Тому реалізація імітаційних моделей, запропонованим засобом, на думку авторів буде відносно легкою та ефективною.

Для того щоб довести цей факт (який не є очевидним) створена перша проста версія мови до створення імітаційних моделей. Реалізована можливість створення тільки дуже простих моделей ПНО, які описані в [3]. В цій моделі, на основі алгоритму з документу [4] визначаються порогові маси небезпечних речовин. Враховується кількість небезпечних речовин, розташування ПНО та ЖВО (в точній відповідності до [4]). За критерій безпеки узяті перевищення порогової маси. Зараз розроблені перші теги такої мови, до яких входять:

<Область> - має змінні: «Мін_X», «Макс_X», «Мін_Y», «Макс_Y», і команди: «Встановити_головні_межі», «Очистити_область», «Створити_квадратну_область», «Додати_вікно», «Прив'язати_головну_область_до_поточного_вікна», «Намалювати_область».

Приклад програми.

```
<Область>  
Уничтожить_все_переменные;  
<var>  
Double_on;  
c1=3;  
</var>  
Создать_квадратную_область;  
Добавить_окно;  
Мин_X=-5000;
```

```

Макс_X=5000;
Мин_Y=-5000;
Макс_Y=5000;
Привязать_главную_область_к_текущему_окну;
Установить_главные_границы;
Очистить_область;
<Идентификация>
Включить_генерацию_ошибок;
<ПОО>
Включить_генерацию_ошибок;
Ошибка_в_категории_первого_класса = 0,0;
Ошибка_в_категории_второго_класса = 1,3000;
Ошибка_в_категории_второго_класса = 3,0;
Ошибка_в_категории_второго_класса = 4,0;
Ошибка_в_категории_второго_класса = 5,2000;
Ошибка_в_категории_второго_класса = 6,0;
Ошибка_в_категории_второго_класса = 8,0;
Ошибка_в_категории_второго_класса = 9,0;
Ошибка_в_категории_второго_класса = 10,0;
Ошибка_в_категории_второго_класса = 11,0;
Вещество=Бутилен,22, 22,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, 22, 22, 0;
Вещество=Бутадиен,18, 18,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, 18, 18, 0;
Вещество=Ацетонитрил,35, 35, 0,15,20,0,0,0,0,35,0,35,0,0, 20,
15, 35;
Вещество=Аммиак,5,5, 5,0,0,0,0,0,0,5,0,5,0,0, 5, 5, 5;
Координата_центра_по_широте=1500;
Координата_центра_по_долготе=3000;
</ПОО>
<ПОО>
.....
.....
Координата_центра_по_широте=2000;
Координата_центра_по_долготе=4000;
Произвести_расчет;
</Идентификация>
Нарисовать_область;
</Область>.

```

Таким чином, в даній програмі пропонується область, в якій розташовані п'ять потенційно небезпечних об'єктів. В якості критерію безпеки розглядається маса небезпечної речовини, що пе-

ревищує гранично допустиму з врахуванням розташування життєво-важливих об'єктів. ЖВО пропонується розміщати в кожній точці області з наступним визначенням в ній перевищення порогової маси небезпечних речовин. Дана ситуація описується характеристичними ізолініями (рис.1). На картині ізоліній чорним кольором позначені місця, де відсутнє перевищення порогової маси небезпечних речовин. Виходячи з цього можна говорити про кількісний розподіл небезпеки на ПНО, що дає можливість зробити висновок про небезпеку об'єкта взагалі при його ідентифікації.

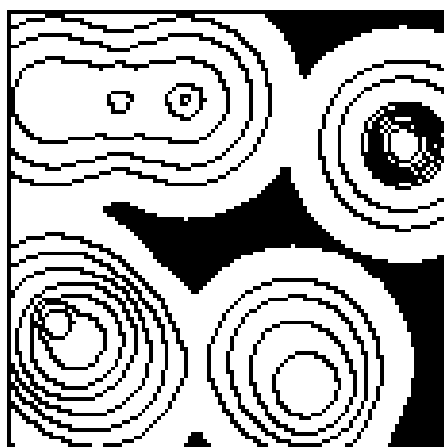


Рис. 1 – Картина ізоліній перевищення порогової маси небезпечних речовин. Максимальна 3000 т, мінімальна 0 т

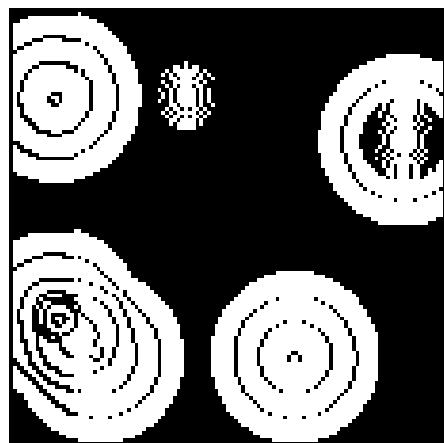


Рис. 2 – Картина ізоліній дисперсії порогової маси небезпечних речовин. Максимальна дисперсія 1500 т², мінімальна 0 т²

Представлений варіант імітаційної моделі реагує також на величини порогових мас небезпечних речовин за категоріями. При цьому порогові маси небезпечних речовин за категоріями ви-

Досвід застосування імітаційного моделювання до ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки

значаються випадково з рівномірно розташованими в інтервалі, що позначені другою цифрою у відповідній строчці (Ошиб-ка_в_категории_второго_класса = 10,2000). Перша цифра - номер категорії. Розподіл дисперсії для цього випадку наведено на рис.2, де область чорного кольору відповідає нульовій дисперсії. Максимальна дисперсія – 1500 т².

Висновки. Дана версія мови (імітаційної моделі) може бути використана при дослідженнях в галузі розробки імітаційного моделювання на ЕОМ кількісної оцінки потенційних джерел надзвичайних ситуацій з метою їх прогнозування, виявлення та попередження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рвачев В.Л., Синекоп Н.С. Метод R-функций в задачах теории упругости и пластичности.- Киев: Наук. думка, 1990.- 216с.
2. Манько Г.П., Синекоп Н.С., Синекоп Н.И. Автоматизация решения основных задач теории упругости методом R-функций. // Тр. республ. конф. «Вычислительная математика в современном научно-техническом прогрессе», Канев, 3-8 окт. 1978.- Киев, 1978.-С.171.
3. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Михайлюк А.О. Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки. Навчально-методичний посібник.- Харків: УЦЗУ, 2007.- 190 с.
4. Нормативи порогових масс небезпечних речовин для ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки. Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 11.07.02. №956.

*Толкунов И.А., ст. преп., УГЗУ,
Барбашин В.В., канд. техн. наук, нач. каф., УГЗУ,
Попов И.И., канд. техн. наук, доц., УГЗУ*

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛИЧНОГО СОСТАВА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ МЧС УКРАИНЫ

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

Проведен анализ особенностей рабочей среды помещений оперативного управления силами и средствами МЧС Украины и показано их влияние на эффективность деятельности личного состава. Обоснована целесообразность искусственной аэроионизации рабочей среды помещений и определены основные задачи разработки методов и средств для ее реализации

Постановка проблемы. Реализация мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций требует постоянного повышения эффективности оперативного управления силами и средствами (ОУСС) МЧС Украины. Это в значительной степени определяется качеством деятельности личного состава подразделений ОУСС, которое зависит как от физической и специальной подготовки, так и от условий рабочей среды [1].

Эргономическое обеспечение системы «человек-техника-среда» позволяет повысить надежность и эффективность функционирования таких систем без изменения их конструктивных параметров, обеспечивая так требуемую сейчас экономичность работ [2]. В связи с этим исследование особенностей влияния условий рабочей среды на операторскую деятельность личного состава ОУСС и пути повышения ее качества являются актуальными.

Анализ последних исследований и публикаций. К личному составу подразделений ОУСС предъявляются требования высокой готовности точного, безошибочного, адекватного сложившейся ситуации, своевременного и успешного выполнения операторских функций в различных условиях обстановки. Это требует устойчивости оперативного внимания, памяти, логического мыш-

Особенности влияния рабочей среды на эффективность деятельности личного состава подразделений оперативного управления силами и средствами МЧС Украины

ления, чувства времени, решительности в действиях при внезапно меняющейся обстановке, высокого уровня функционального состояния оператора.

Под влиянием различных факторов, которых в настоящее время насчитывается около 1800, надежность человека-оператора может изменяться от 0 до 0,9999. В этих условиях пути повышения эффективности деятельности личного состава ОУСС в основном будут определяться возможностями оптимизации системы «человек-оператор – техника – среда» (СЧТС), а также обеспечением биотехнической совместимости, которая состоит в разумном компромиссе между функциональным состоянием оператора и различными факторами окружающей его среды [3].

В настоящее время среда обитания, представляющая собой совокупность физических, химических и биологических факторов окружающей среды, свойственных конкретному объекту и воздействующих на оператора, рассматривается как одна из важных функциональных характеристик СЧТС. Результаты влияния факторов среды обитания на операторскую деятельность широко представлены в литературе и в соответствии с их интенсивностью различают четыре ее вида по уровню воздействия на человека-оператора: комфортная, относительно дискомфортная, экстремальная, сверхэкстремальная [4].

Постановка задачи и ее решение. Анализ влияния условий обитания на операторскую деятельность личного состава ОУСС показывает, что повышение эффективности их работы может быть основано на всестороннем учете и управлении факторами искусственно формируемой воздушной среды обитания помещений оперативного управления силами и средствами МЧС Украины. С учетом специфики деятельности особый интерес представляет возможность использования ионизированного воздуха в целях повышения функциональной устойчивости и работоспособности личного состава ОУСС.

Ионизация воздуха, обуславливающая электродинамическое состояние воздушной среды, относится к экологическим факторам и оказывает на организм человека влияние, которое может быть положительным или отрицательным в зависимости от концентрации аэроионов, их полярности и подвижности, продолжительности воздействия [5]. При этом пониженная и повышенная ионизация воздуха относится к вредным производственным факторам, когда сильнее проявляется отрицательное влияние на оператора всей

совокупности физических, химических факторов среды обитания и режимов оперативного дежурства, а их однонаправленность увеличивает неблагоприятный кумулятивный эффект воздействия [6].

В качестве регламентирующих параметров аэроионного режима устанавливаются:

минимально необходимый уровень легких аэроионов положительной n^+ и отрицательной n^- полярности (количество аэроионов с электрической подвижностью не менее $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ в 1 м^3 воздуха);

оптимальный уровень легких аэроионов каждой полярности;
максимально допустимый уровень концентрации легких и тяжелых аэроионов каждой полярности;

коэффициент униполярности K_y ($K_y = \frac{n^+}{n^-}$) или показатель полярности Π ($\Pi = \frac{n^+ - n^-}{n^+ + n^-}$).

Параметры аэроионного режима регламентируются нормативными документами, которые устанавливают допустимые уровни ионизации воздуха в зоне дыхания человека и распространяются на сооружения всех министерств и ведомств, а также организации, проектирующие системы жизнеобеспечения помещений специального назначения [7].

Для оценки надежности и эффективности деятельности личного состава ОУСС в условиях различных аэроионных режимов в данной работе были использованы методы имитационного моделирования. В реализуемой модели функционирование исследуемой системы ЧТС представляет собой последовательность действий, выполняемых оператором и техническими средствами [8].

Имитационная модель, вычислительный алгоритм которой представлен на рис. 1, ориентирована на временные характеристики деятельности оператора, и основным ее параметром является время выполнения того или иного действия из структуры вычислительного алгоритма и, как результат, время выполнения всего алгоритма. В качестве исходных данных имитации используются характеристики операторов и условия их работы. При этом индивидуальные показатели быстродействия оператора оцениваются параметром F_j

$$F_j = \frac{T_{gj}^*}{T_{gcc}}, \quad (1)$$

где: F_j – быстродействие оператора j в исходном пространстве факторов; T_{gj}^* – среднее время выполнения действия оператором j в цикле перед первой ошибкой; T_{gcc} – время выполнения действия в цикле перед первой ошибкой средним оператором, для которого $F_j=1$.

Параметр F_j дает возможность имитации деятельности оператора, работающего быстрее ($F_j < 1$) или медленнее ($F_j > 1$) среднего оператора ($F_j = 1$). Психологическая устойчивость операторов определяется в модели порогом напряженности M_j :

$$M_j = \frac{T_{gj}^*}{T_{gn}}, \quad (2)$$

где: T_{gn} – период следования сигналов в цикле с числом допущенных оператором j ошибок более 5.

Для практической реализации модели был проведен анализ конкретной структуры операторской деятельности. На основании документов и инструкций, определяющих порядок оперативного управления силами и средствами при возникновении чрезвычайных ситуаций, были определены типовые действия оператора и составлен алгоритм его деятельности.

В общем виде деятельность личного состава ОУСС может быть представлена следующим образом:

получение и восприятие информации от различных информационных и сигнальных устройств (сенсорная функция оператора);

обработка полученной информации и принятие решения о характере, величине и направлении управляющего воздействия (вычислительно-логические функции оператора);

управляющее воздействие на органы управления или выдача управляющих команд (моторные функции оператора).

Для каждого действия определялись характеристики оператора по формулам

$$P_j = K_p P_{oj}, \quad (3)$$

$$\tau_j = K_\tau \tau_{oj}, \tag{4}$$

$$\sigma_j = K_\sigma K_\tau \tau_{oj}, \tag{5}$$

где: P_{oj} , τ_{oj} – показатели операторской деятельности в условиях комфортной среды обитания; K_p , K_τ , K_σ – безразмерные коэффициенты для учета влияния факторов среды обитания на вероятность безошибочного выполнения действия P_j , а также на математическое ожидание τ_j и средне квадратичное отклонение σ_j времени его выполнения соответственно [4].

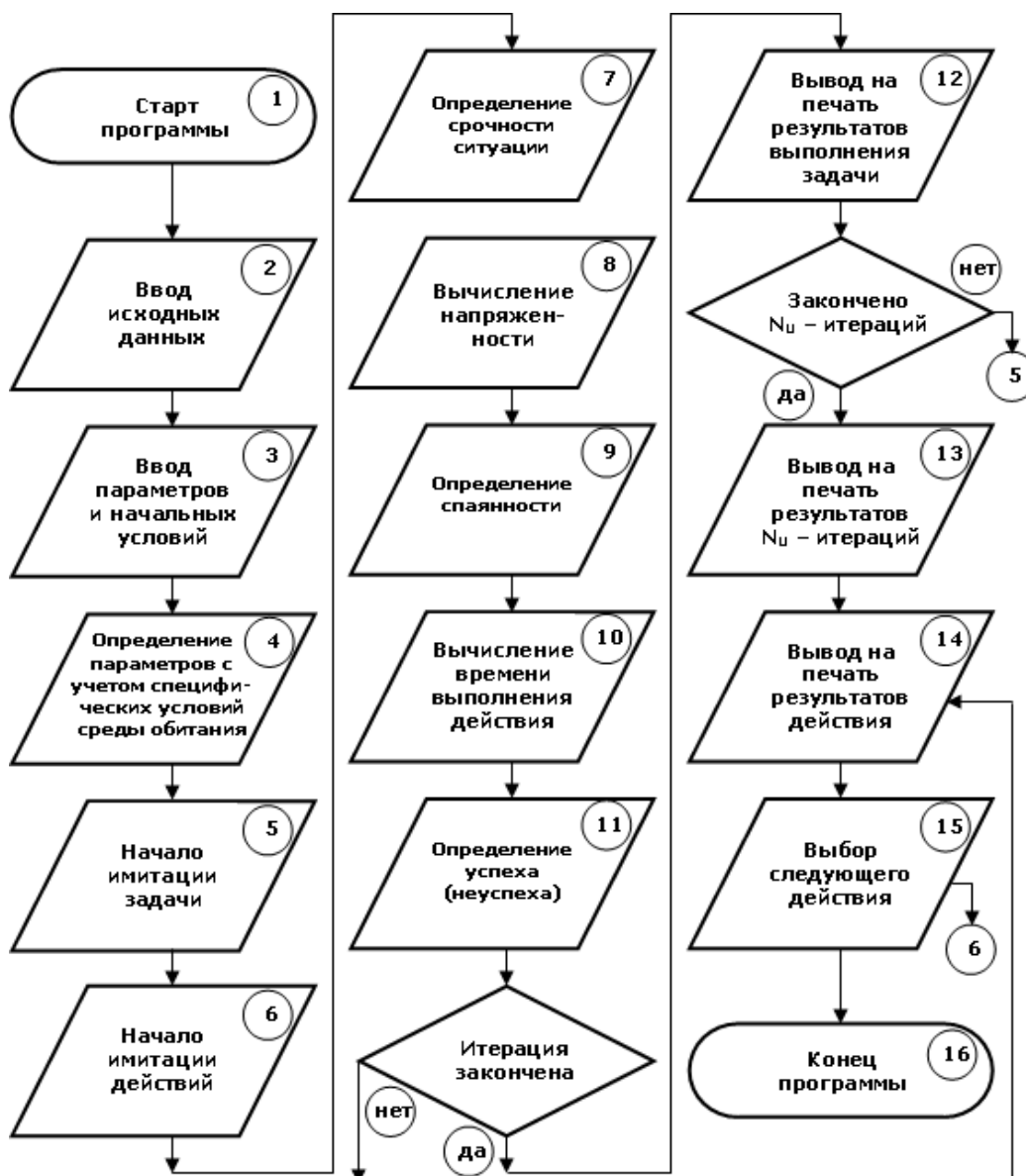


Рис. 1 – Вычислительный алгоритм реализации имитационной модели

Особенности влияния рабочей среды на эффективность деятельности личного состава подразделений оперативного управления силами и средствами МЧС Украины

Для каждого действия устанавливались количественные показатели, определяющие математическое ожидание τ_j и среднее квадратичное отклонение времени выполнения действия σ_j , а также вероятность его безошибочного выполнения ρ_j . Значения этих показателей могут быть получены методами наблюдения, регистрации входных и выходных параметров физических моделей действия оператора, приемами регистрации деятельной активности и речевых ответов, анализом литературных данных, тестированием и анкетированием личного состава по аппаратурным и бланковым методикам. В работе имитировалась деятельность быстрого ($F_j=0,7$), среднего ($F_j=1$) и медленного ($F_j=1,3$) операторов.

Анализ влияния аэроионного режима на операторскую деятельность позволяет определить среду обитания с пониженной или повышенной степенью аэроионизации как относительно дискомфортную, что подтверждается и гигиеническими оценками воздушной среды в изолированных помещениях [9]. Поэтому в процессе моделирования были использованы следующие значения коэффициентов в (3) - (5) (табл. 1): $K_p = 0,95...0,9$; $K_\tau = 1,1...1,2$; $K_\sigma = 0,3...0,5$.

Таблица 1 – Коэффициенты для учета влияния факторов среды обитания на надежность и скорость работы оператора [10]

Характеристики оператора	Среда обитания			
	Комфортная	Относительно дискомфортная	Экстремальная	Сверхэкстремальная
Математическое ожидание времени выполнения действия τ_j	1,0	1,1...1,2	1,2...1,5	1,5...2,5
Среднеквадратичное отклонение времени выполнения действия σ_j	(0,15...0,3) τ_j	(0,3...0,5) τ_j	(0,5...0,7) τ_j	(0,7...1,3) τ_j
Вероятность безошибочного выполнения действия ρ_j	1,0	0,95...0,9	0,9...0,7	менее 0,7

Эффективность деятельности операторов W с учетом влияния аэроионного режима рабочей среды определялась как отношение

числа успешно выполненных действий к общему их числу. Результаты моделирования приведены на рис. 2.

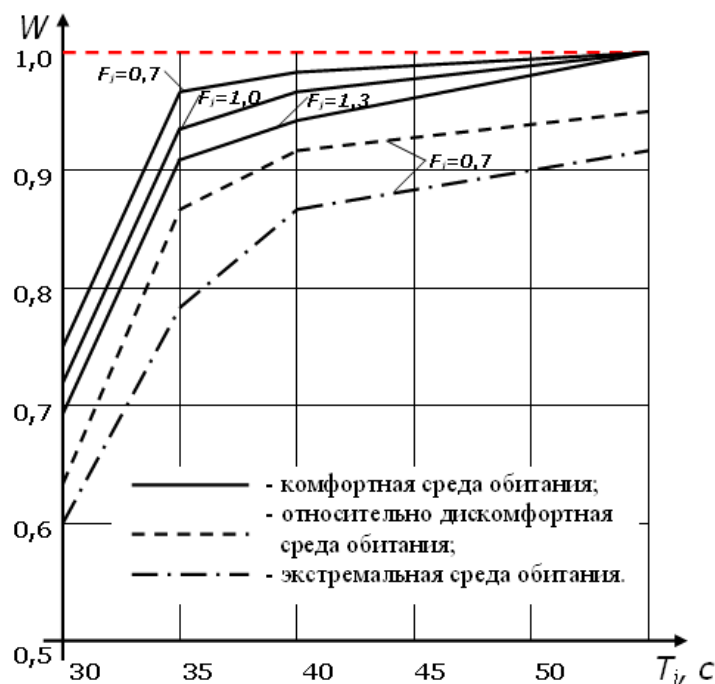


Рис. 2 – Залежність ефективності виконання задачі від предельного часу роботи оператора в різних умовах середовища обитання

Результати проведених досліджень показують необхідність урахування параметрів аероіонного режиму на всіх етапах забезпечення робочих умов діяльності особистого складу ОУСС. При цьому, наряду з усунюванням небажательного аероіонного режиму, цілесобразно використовувати іонізований повітря для підвищення ефективності операторської діяльності в приміщеннях оперативного управління силами і засобами МЧС України.

Рішення цих задач потребує, в першу чергу, теоретичного і експериментального дослідження процесів формування полів концентрації аероіонів в робочій середі спеціальних приміщень, а також удосконалення методів і засобів для нормалізації параметрів аероіонного режиму.

Висновки. Умови робочої середі приміщень ОУСС оказують суттєвий вплив на ефективність діяльності особистого складу підрозділів оперативного управління МЧС України, тому підвищення її якості шляхом забезпечення нормативних умов. Особливості впливу робочої середі на ефективність діяльності особистого складу підрозділів оперативного управління силами і засобами МЧС України

вних требований к условиям деятельности операторов является актуальной задачей.

Для повышения эффективности деятельности личного состава подразделений оперативного управления силами и средствами МЧС Украины целесообразно использовать искусственную ионизацию воздуха рабочей среды помещений ОУСС. Для этой цели обоснованы основные задачи теоретического и экспериментального исследования процессов формирования нормативного аэроионного режима рабочей среды помещений ОУСС и разработки методов и средств для его нормализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України. – введені в дію наказом МНС України від 07.05.2007 р. № 312.
2. ГОСТ 20.39.108-85 Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора.
3. Пухов В.А., Фокин Ю.Г. Медико-техническое обеспечение труда специалистов./Под ред. В.А. Пухова – М.: МО СССР, 1979. – 160 с.
4. Справочник по инженерной психологии./Под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Машиностроение, 1982. – 368 с.
5. Минх А.А. Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение. – М.: Медгиз, 1963. – 474 с.
6. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77) Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
7. ГНАОТ 0.03-3.06.80 Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений № 2152-80.
8. Иванов К.А., Лукьянов О.Н. и др. Психофизиология операторов в системах человек-машина. – Киев: Наукова думка, 1980. – 344 с.
9. Шилкин А.А., Губернский Ю.Д., Миронов А.М. Аэроионный режим в гражданских зданиях. – М.: Стройиздат, 1988. – 169 с.
10. Мозин В.А., Улитин Ю.Г. Поправочные коэффициенты для временных и надежностных показателей оператора СЧМ при воздействии факторов внешней среды. – В кн.: Эффективность и надежность системы «человек-техника». – М.: Изд. АН СССР, 1975, с. 77-78.

Третьяков О.В., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОГО ПЕРЕСИЧЕННЯ ТЕПЛОНОСІЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ

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

Запропоновано термодинамічний підхід для визначення граничного та критичного пересичення теплоносія енергетичного обладнання при утворенні відкладень та шламоутворенні. Як теоретично, так і експериментально з'ясовано, що значення цих показників залежать від поверхневого натягу та типу кристалічної решітки речовин, що кристалізуються

Постановка проблеми. Надійність і ефективність експлуатації різноманітних установок, які генерують теплову або електричну енергію, багато як залежать від утворення відкладень важкорозчинних сполук (солей жорсткості) на теплопередаючих поверхнях теплопередаючого обладнання. Саме поява таких відкладень на теплопередаючих поверхнях котлів теплових електростанцій та оболонках тепловиділяючих елементів реакторів атомних енергетичних установок стають головною причиною виникнення аварійних ситуацій на цих об'єктах, наслідки яких можуть бути дуже важкими. Утворення твердої фази таких сполук на поверхні і в об'ємі теплоносія відбувається за рахунок присутності у теплоносії відповідних іонів та при утворенні ними конгломератів необхідного мінімального розміру (зародків) [1]. Параметри та склад домішок теплоносія визначає саме потенційну можливість утворення як шламу, так і накипу, що обумовлює можливість виникнення аварійної ситуації. Визначення значення критичного пересичення теплоносія є основним завданням для оперативного спостереження та управління процесом експлуатації такого обладнання задля запобігання техногенним аваріям.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес утворення часток твердої фази у потоці теплоносія та на теплопередаючих поверхнях – це процес гомогенної кристалізації. Рівняння Оствальда – Фройндліха є одним з основних, яке описує залежність розміру рівноважних часток нової фази, що виникає, від

складу розчину і найчастіше застосовується при розгляді процесу гомогенної кристалізації [2]

$$\ln(x_i/x_0) = \frac{2\sigma v_i}{RT r}, \quad (1)$$

де x_i/x_0 – пересичення розчину по речовині, що кристалізується; σ – поверхневий натяг; v_i – мольний об'єм речовини, що кристалізується; R – універсальна газова стала; T – температура; r – розмір рівноважного зародку.

Як вже відмічалось раніше [3-5], утворення первинних зародків твердої фази при гомогенній кристалізації не підпорядковується рівнянню Оствальда – Фройндліха при малих пересиченнях розчину. Тому питання граничного пересичення, яке має кінцеве значення і відповідає переходу системи з метастабільного стану у лабільний, стає край актуальним. Дійсно, дуже важливо при яких саме значеннях пересичення розчину починається процес утворення зародків кристалів, які мають всі ознаки фази. При цьому важливим є і якого первинного розміру виникають ці зародки при досягненні граничного пересичення.

Постановка завдання та його вирішення. Розробити термодинамічний підхід для визначення критичного пересичення теплоносія енергетичних установок задля запобігання утворення накипу та шламу і уникнення аварійних ситуацій на теплообмінному обладнанні.

У цій роботі зроблена спроба оцінки граничного пересичення розчинів при гомогенній кристалізації та мінімального розміру виникаючого при цьому зародку, який відповідає властивостям фази. За підходом запропонованим ще Гіббсом [6], та з урахуванням поверхневих явищ для бінарної системи, суворим термодинамічним рівнянням, яке характеризує залежність складу рідкої фази (β) від радіусу скривлення поверхні розриву при постійних температурі та тиску у рідкій фазі є [7]

$$\left(\frac{dx_1^{(\beta)}}{dr} \right)_{T, P^{(\beta)}} = \frac{2\sigma v^{(\alpha)} a}{r^2 \left[(x_1^{(\beta)} - x_1^{(\alpha)}) \left(a - \frac{2}{r} v^{(\sigma)} \right) - \frac{2}{r} (x_1^{(\sigma)} - x_1^{(\beta)}) v^{(\alpha)} \right] g_{11}^{(\beta)}}, \quad (2)$$

де x_1 – мольна частка речовини, що кристалізується; a – площа розподіляючої поверхні; g_{11} – друга похідна термодинамічного по-

тенціалу Гіббса по мольній частці для бінарної системи; α, σ – індекси, які відносяться до твердої фази і поверхневого шару відповідно.

Якщо радіус скривлення поверхні розриву досить великий, то цей вираз можна спростити, як це зроблено у роботі [7], і після інтегрування отримати рівняння, яке співпадає з рівнянням Оствальда – Фройндліха (1).

Але при розгляді тієї ж системи в умовах $r \rightarrow 0$, спрощення рівняння (2), з урахуванням порядків малості величин, які фігурують в цьому рівнянні, приходимо до наступного

$$\left(\frac{dx_1^{(\beta)}}{dr} \right)_{T,P^{(\beta)}} \approx \frac{4\pi\sigma x_1^{(\beta)}r}{m^{(\sigma)}(x_1^{(\beta)} - x_1^{(\sigma)})g_{11}^{(\beta)}}, \quad (3)$$

де $m^{(\sigma)}$ – кількість молей речовини, що кристалізується, у поверхневому шарі.

У цьому випадку неможливо вважати, що поверхневий натяг не залежить від радіуса скривлення поверхні розриву, як це робилося при виводі рівняння Оствальда – Фройндліха. Тому що, в умовах утворення зародку твердої фази ($r \rightarrow 0$) вплив залежності $\sigma = f(r)$ буде дуже значним, і це обов'язково потрібно враховувати при подальших перетвореннях рівняння (3).

Аналіз літератури [7,8] показав, що Толмен з'ясував для бінарної системи вид ізотермічної залежності $\sigma = f(r)$

$$\sigma = \sigma_\infty r / (r + r_0), \quad (4)$$

де σ_∞ – поверхневий натяг для плоскої поверхні розриву; r_0 – мінімальний розмір зародку, який виникає.

Якщо використати цей підхід і розкрити $g_{11}^{(\beta)}$ отримаємо

$$\left(\frac{dx_1^{(\beta)}}{dr} \right)_{T,P^{(\beta)}} \approx \frac{4\pi\sigma_\infty x_1^{(\beta)}r^2}{m^{(\sigma)}RT(r + r_0)}. \quad (5)$$

Інтегруючи вираз (5) у межах від $x_1^{(\beta)} = x_1^{(\beta)}$ при $r = r_0$ до $x_1^{(\beta)} = x_1^{0(\beta)}$ при $r = r$ отримаємо

$$\ln\left(\frac{x_1^{(\beta)}}{x_1^{0(\beta)}}\right) = \frac{4\pi\sigma_\infty}{RTm^{(\sigma)}} \left[\frac{1}{2}(r-r_0)^2 + r_0 \ln\left(\frac{r+r_0}{2r_0}\right) \right]. \quad (6)$$

Для зручності можна також уявити собі, що r змінюється у одиницях r_0 , як це зроблено у [9]

$$r = yr_0. \quad (7)$$

Тоді рівняння (6) буде мати вигляд

$$\ln\left(\frac{x_1^{(\beta)}}{x_1^{0(\beta)}}\right) = \frac{4\pi\sigma_\infty r_0^2}{RTm^{(\sigma)}} \left[\frac{1}{2}(y-1)^2 + \ln\left(\frac{y+1}{2}\right) \right]. \quad (8)$$

З цього виразу витікає, що теоретично з'явлення зародку твердої фази розміром r_0 в умовах гомогенної кристалізації з розчину відповідає умовам $x_1^{(\beta)}=x_1^{0(\beta)}$, тобто насиченню розчину по речовині, яка кристалізується. Але це було б так, якщо б зародок твердої фази мав би у своєму складі лише одну молекулу речовини.

При такому підході на перший план виходить питання, яким чином визначається розмір первинного зародку і при яких значеннях пересичення розчину відбувається його з'явлення у системі.

Ряд дослідників [10,11] відмічали, що для хлориду калію, який кристалізується у кубічній формі, за умови електронейтральності і збереження форми, розмір найменшого можливого зародку відповідає кристалику на ребрі якого 6 іонів (по три катіона і аніона), що забезпечує загальну кількість іонів у зародку – 216 (по 108 іонів кожного знаку). У середині такого зародку знаходяться 64 іона, а на поверхні 152 іона. Оскільки цей підхід був підтверджений експериментальними результатами [11], то його, на наш погляд, можна розповсюдити і на іонні кристали іншої природи для визначення можливого розміру первинного зародку.

Аналізуючи раніше отримані результати експериментального дослідження гомогенної кристалізації сульфату кальцію, сульфату барію та оксалату барію [4], з позицій запропонованого термодинамічного підходу, отримуємо наступні результати, які розташовані у таблиці. Радіус первинного зародку (r_0) розраховувався як радіус описаної сфери навколо найменшого кристалу (6 іонів на

ребрі) з урахуванням розміру відповідних іонів та параметрів кристалічної решітки [10].

Таблиця

Показник	CaSO ₄ ·2H ₂ O	BaSO ₄	BaC ₂ O ₄
σ_{∞} , Дж/м ²	0,37	1,25	3,22
r_0 , А ⁰	17,1	18,97	19,95
Тип кристалічної решітки	Монокліна	Ромбічна	Монокліна
$\ln x_1^{(\beta)} / x_1^{0(\beta)}$ <i>граничне розрахун.</i>	0,34	1,43	2,98
$\ln x_1^{(\beta)} / x_1^{0(\beta)}$ <i>граничне експерим.</i>	0,32	1,51	3,05
r_{KP} , мкм розр.	1,025	0,700	0,975
r_{KP} , мкм експ.	1,075	0,680	0,980
$\ln x_1^{(\beta)} / x_1^{0(\beta)}$ <i>критичне розрахн.</i>	5,22	5,51	6,21
$\ln x_1^{(\beta)} / x_1^{0(\beta)}$ <i>критичне експерим.</i>	5,20	5,60	6,1

Звертає на себе увагу той факт, що розрахункові значення показників, які отримані з рівняння (8) для відповідних речовин, мають розбіжність з експериментально отриманими значеннями не більш ніж на 10%. Це свідчить про досить високе наближення запропонованої термодинамічної моделі до опису реального процесу.

З наведених результатів видно, що граничне пересичення розчину, з якого розпочинається утворення перших зародків твердої фази залежить від поверхневого натягу речовини і типу кристалічної решітки. Критичне значення цієї ж величини, яке відповідає максимально можливому розміру зародку твердої фази значно менше залежить як від поверхневого натягу, так і типу кристалічної решітки. Рівняння Оствальда – Фройндліха може бути застосовано для опису процесу гомогенної кристалізації тільки в умовах пересичення розчину більше критичного значення.

Висновки. Таким чином, отримані результати підтверджують можливість оцінки критичного пересичення теплоносія та розміру первинного зародку твердої фази задля запобігання утво-

ренню накипу і шламу в енергетичному обладнанні. Цей підхід дає змогу застосування отриманих закономірностей для створення системи управління якістю теплоносія, навіть автоматизованої, для попередження умов утворення зародків твердої фази на теплопередаючих поверхнях і уникнення техногенних аварійних ситуацій з участю такого обладнання в різноманітних галузях застосування його.

ЛІТЕРАТУРА

1. Третьяков О.В. Вплив гомогенної кристалізації на утворення відкладень важкорозчинних сполук на теплопередаючих поверхнях // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Вип. 4. – Харків: УЦЗУ, 2006.- С. 251-258.
2. Hill T.L. Thermodynamics of Small System . Ed. By Benjamin W. A. N. Y.: Ins. Publ., Pt I, 1963 – 243 p.; Pt II, 1964. – 262 p.
3. Третьяков О.В., Крицкий В.Г. Уравнение Оствальда-Фройндлиха и описание гомогенной кристаллизации в растворах с малым пересыщением // Изв. ВУЗ. Химия и химическая технология. 1989, т. 32, вып. 10, с. 48 – 53.
4. Третьяков О.В., Крицкий В.Г. Закономерности гомогенной кристаллизации из растворов // Украинский химический журнал. 1990, т. 56, № 6, с. 567 – 571.
5. Третьяков О.В. Утворення ультрадисперсних систем при гомогенній кристалізації з розчинів //
6. Гиббс Дж. У. Термодинамические работы.- М.- Л.: Гос. изд. тех.-теоретич. лит., 1950. – 492 с.
7. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. – Л.: Химия, 1967. – 388 с.
8. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. – М.: Мир, 1979. – 568 с.
9. Ахумов Е.И. Предел «второй» растворимости // Изв. ВУЗ. Химия и химическая технология. 1987, т. 30, вып. 5, с. 49 – 52.
10. Ахумов Е.И. Размер кристаллического зародыша кубической формы // Изв. ВУЗ. Химия и химическая технология. 1984, т. 27, вып. 12, с. 1425 – 1427.
11. Горбачев С.В., Шлыков А.В. К вопросу о поверхностном натяжении кристаллического зародыша в растворе // ЖФХ. 1955, т. 29, № 10, с. 1777 – 1783.
12. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой. – Л.: Химия, 1983. – 232 с.

*Халыпа В.М., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Вамболь С.А., канд. техн. наук, доц., УГЗУ*

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ

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

Предложена методика расчета напряженно-деформированного состояния цилиндрических труб отопительных систем в условиях совместного воздействия температурного поля, ветровой нагрузки и собственного веса

Постановка проблемы. В последнее время все чаще применяются автономные котельные установки с металлическими трубами. При эксплуатации труба подвергается температурным напряжениям, поскольку температура на внутренней и внешней поверхности различна, в ветреную погоду на трубу действует распределенная вдоль оси трубы ветровая нагрузка, вызывающая напряжения изгиба в поперечных сечениях трубы. Для достаточно длинных труб необходимо учитывать сжимающие напряжения, обусловленные действием собственного веса. Сами котельные установки часто расположены в непосредственной близости от жилищных или производственных объектов и их авария из-за недостаточной прочности может привести к чрезвычайным ситуациям. Актуальным представляется оценка прочности по эквивалентным напряжениям уже действующих отопительных систем, находящихся длительное время в эксплуатации.

В данной работе предложена методика расчета на прочность цилиндрических труб отопительных систем, с учетом всех перечисленных нагрузочных факторов при их совместном воздействии для определения эквивалентного напряжения в наиболее опасном сечении трубы.

Анализ последних исследований и публикаций. Рассматриваемая конструкция имеет форму весьма длинного кругового полого цилиндра и температура в любой его точке зависит лишь от расстояния этой точки до оси цилиндра. Формулы для расчета температурных напряжений, как для тонкостенных, так и для толстостенных цилиндров в этом случае приведены в работах

[1, 2]. Также не вызывает затруднений определение напряжений под действием собственного веса трубы [2].

При действии ветровой нагрузки на достаточно высокие трубы даже заземленный нижний край не может обеспечить прочность конструкции. В этом случае, как правило, применяют растяжки – тросы, каждый из которых одним концом прикрепляют к трубе в определенном ее сечении, а другим к неподвижной опоре на земле.

Постановка задачи и ее решение. При расчете температурных напряжений будем предполагать распределение температуры вдоль оси трубы установившимся равным соответственно t_0 на внутренней и t_1 на внешней поверхности трубы; по толщине стенки трубы температура меняется по линейному закону. Величины наибольших напряжений σ_z в осевом и σ_θ в окружном направлениях определяются по формулам [2] на внутренней поверхности трубы

$$\sigma_z = \sigma_\theta = \frac{E\alpha T^*}{3(1-\mu)(r_1-r_0)} \left[3r_0 - \frac{2(r_1^3-r_0^3)}{(r_1^2-r_0^2)} \right]; \quad (1)$$

на внешней поверхности трубы,

$$\sigma_z = \sigma_\theta = \frac{E\alpha T^*}{3(1-\mu)(r_1-r_0)} \left[3r_1 - \frac{2(r_1^3-r_0^3)}{(r_1^2-r_0^2)} \right], \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала трубы, μ – коэффициент Пуассона, r_1, r_0 – соответственно наружный и внутренний радиусы трубы, α – коэффициент линейного расширения, $T^* = t_0 - t_1$.

Наибольшие сжимающие $\sigma_{z\max}$ напряжения в осевом направлении обусловлены собственным весом вертикально расположенной трубы высотой l закрепленной на нижнем крае равны

$$\sigma_{z\max} = -\gamma l, \quad (3)$$

где γ – вес единицы объема материала трубы.

На рис. 1а представлена схема подкрепленной растяжками трубы отопительной системы и ее расчетная модель рис. 1б в виде

консольной балки с промежуточной упругой опорой жесткости k . Балка подвергается действию поперечной распределенной нагрузки интенсивностью q эквивалентной действию ветра. Эта величина определяется формулой, предложенной Ньютоном

$$q = C_x \frac{\rho V^2}{2l} S; \quad (4)$$

здесь C_x - числовой коэффициент, различный для тел разных форм, называемый коэффициентом лобового сопротивления, ρ - плотность воздуха, V - скорость ветра в направлении перпендикулярном оси трубы, S - площадь проекции трубы на плоскость, перпендикулярную скорости ветра (миделево сечение), l - высота трубы. Ниже в таблице 1 приведены значения C_x в зависимости от l/d_1 , где d_1 - наружный диаметр трубы [3].

Таблица 1

l/d_1	1	2	5	10	40	∞
C_x	0,63	0,68	0,74	0,82	0,98	1,2

Для цилиндрической трубы в рассматриваемом случае эта формула приобретает вид

$$q = C_x \frac{\rho V^2}{2} d_1. \quad (5)$$

Задача расчета на прочность балки согласно схемы рис. 1б является один раз статически неопределимой. Введем неизвестные силовые факторы R , M - реакцию и изгибающий момент в заделке, а также поперечную силу P в упруго опертом сечении. Разобьем балку на два участка $0 \leq z \leq l_1$ и $l_1 \leq z \leq l$ и для каждого из них запишем уравнение прогибов

$$y_1(z) = \frac{1}{EJ} \left(\frac{Rz^3}{6} + \frac{Mz^2}{2} - \frac{qz^4}{24} \right)$$

$$y_2(z) = \frac{1}{EJ} \left(\frac{Rz^3}{6} + \frac{Mz^2}{2} - \frac{qz^4}{24} + \frac{P(z-l_1)^3}{6} \right)$$

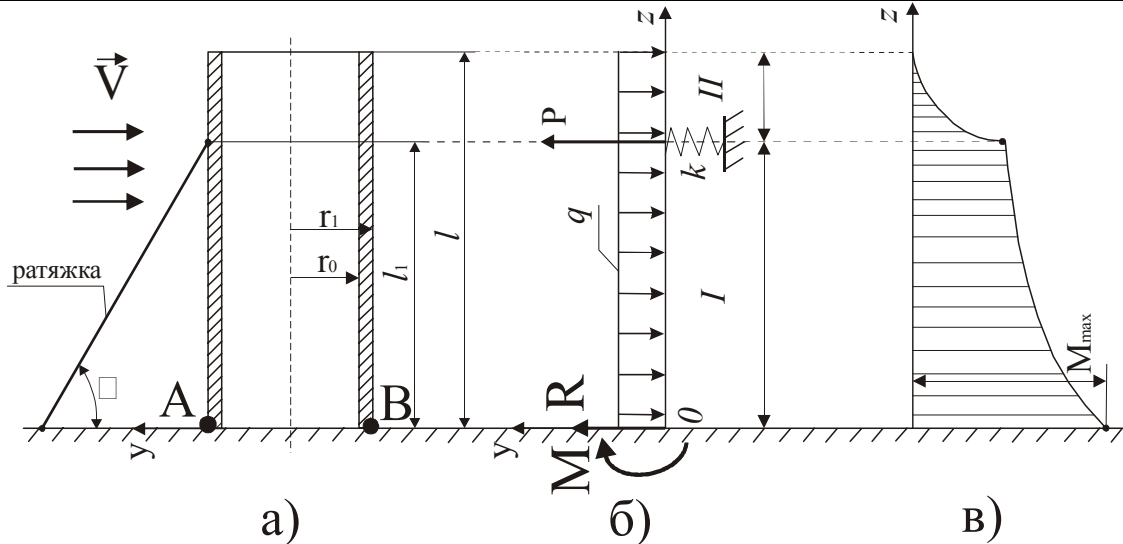


Рис. 1 – Схема трубы отопительной системы и ее расчетная модель при воздействии ветровой нагрузки

Для определения трех неизвестных величин R , M , P у нас имеются два уравнения равновесия и выражение связывающее прогиб надпорного сечения с поперечной силой P $ky_1(l_1) = -P$. Удовлетворив этим условиям находим $R = ql - P$,

$$P = \frac{ql \left(\frac{l^3}{12} + \frac{l \cdot l_1^2}{2} - \frac{l_1^3}{3} \right)}{\frac{EJ_y}{k} + \frac{l_1^3}{3}}, \quad (6)$$

Здесь EJ_y - изгибая жесткость поперечного сечения трубы, для кольцевого сечения $J_y = \frac{\pi d_1^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^4 \right]$

На рис. 1в изображена эпюра изгибающих моментов, из которой следует, что при рассматриваемом нагружении балки наибольший изгибающий момент действует в заделке и его величина определяется выражением

$$M = Pl_1 - \frac{ql^2}{2}, \quad (7)$$

Момент сопроотивлення W для кільцевого поперечного сечення

$$W = \frac{\pi d_1^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^4 \right], \quad (8)$$

Найбільші напруження изгиба определяються по формуле

$$\sigma = \pm \frac{M}{W}, \quad (9)$$

Опасними точками от действия ветровой нагрузки в трубе будут точки A и B рис. 1а.

Из выше изложенного следует, что самым нагруженным сечением трубы от действия всех силовых факторов является сечение в заделке.

Анализируя характер распределения по этому сечению тепловых напряжений, напряжение от действия собственного веса и ветровой нагрузки приходим к выводу: наиболее опасной точкой, где действует максимальное растягивающее напряжение, является точка A . Рассмотрим конкретный пример расчета с исходными данными: $l = 30$ м; $l_1 = 20$ м; $d_1 = 0,3$ м; $d_0 = 0,28$ м; $C_x = 1,2$; $\rho = 1,29$ кг/м³; $V = 25$ м/с; $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; $\mu = 0,3$; $\gamma = 7,65 \cdot 10^4$ Н/м³; $T^* = 50^\circ\text{C}$; $\alpha = 125 \cdot 10^{-7}$ 1/°C; $k = 4 \cdot 10^3$ Н/м.

По формулам (1) и (2) определяем наибольшие температурные напряжения:
на внешней поверхности трубы

$$\sigma_z = \sigma_\theta = \frac{E\alpha T^*}{3(1-\mu)(r_1-r_0)} \left[3r_0 - \frac{2(r_1^3-r_0^3)}{(r_1^2-r_0^2)} \right] = -9,48 \text{ МПа}$$

на внутренней поверхности трубы

$$\sigma_z = \sigma_\theta = \frac{E\alpha T^*}{3(1-\mu)(r_1-r_0)} \left[3r_1 - \frac{2(r_1^3-r_0^3)}{(r_1^2-r_0^2)} \right] = 9,27 \text{ МПа}$$

Сжимающие наибольшие напряжения в осевом направлении трубы от действия собственного веса составляют

$$\sigma_{z \max} = -\gamma = -2,3 \text{ МПа}$$

Для определения напряжений изгиба от действия ветровой нагрузки предварительно находим по формуле (5) $q=145 \text{ Н/м}$.

Момент инерции поперечного сечения составляет

$$J_y = 9,54 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$$

Вычисляем поперечную силу P по формуле (6) $P=1584 \text{ Н}$.

Используя (7), находим максимальный изгибающий момент

$$M = Pl_1 - \frac{ql^2}{2} = -33563 \text{ Нм},$$

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{M}{W} = \pm 52,8 \text{ МПа}.$$

Определяем наибольшее растягивающее напряжение в осевом направлении, которые действуют в точке A опасного сечения от всех силовых факторов

$$\sigma_{z \max}^+ = 9,27 - 2,3 + 52,8 = 59,77 \text{ МПа}.$$

В заключение отметим, что сечение вблизи заземления трубы находится в условиях неоднородного плоского напряженного состояния. В опасной точке A кроме напряжений $\sigma_{z \max}$ действуют так же растягивающие температурные напряжения σ_θ . Поэтому в зависимости от свойств материала трубы следует применять соответствующую теорию прочности для определения эквивалентного напряжения.

Выводы. Предложена методика расчета на прочность цилиндрических труб отопительных систем при совместном действии ветровой нагрузки, собственного веса трубы и температурных напряжений, обусловленных различными температурами окружающей среды и внутренней поверхности трубы. Методика расчета на прочность позволяет при необходимости учитывать

подкрепление тросами не только в одном сечении вдоль оси трубы, а и в нескольких.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. – Киев, Наукова думка, 1972 г. -501 с.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – Москва, Наука, 1974 г. – 580 с.
3. Машиностроение. Энциклопедический справочник. Т1, М., ГНТИ, 1947 г. -548 с.

УДК 355.77

*Чижов В.Ф., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,
Семків О.М., канд. техн. наук, проректор, УЦЗУ,
Метельов О.В., канд. техн. наук, декан, УЦЗУ,
Силенко Р.М., ад'юнкт, УЦЗУ*

ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ШВИДКОСТІ РУХУ ПОВІТРЯ В ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ ЦИВІЛЬНОЇ ОБОРОНИ НА ОСНОВІ КРЕМНІЄВИХ ТЕРМОЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

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

Розглянуто питання забезпечення і контролю необхідних значень показників мікроклімату в захисних спорудах цивільної оборони зі штучним середовищем мешкання (ЗС ЦО) шляхом використання цифрового вимірювача температури та швидкості руху повітря на основі кремнієвих термочутливих елементів

Постановка проблеми. Умовами надійного захисту людей від радіаційного, хімічного та біологічного забруднення у захисних спорудах цивільної оборони є забезпечення в них екологічних показників повітряного середовища, основними з яких є показники мікроклімату: температура, вологість та швидкість повітря. Ці показники встановлюються відповідними нормативними вимогами до середовища мешкання людини в умовах ЗС ЦО.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз існуючих методів оцінки мікрокліматичних умов у приміщенні зі штучним середовищем мешкання [1,2] показує, що визначення будь-якого показника мікроклімату можна звести до вимірювання температури. У зв'язку з цим, існуючий перелік рекомендованих засобів визначення параметрів мікроклімату можна замінити вимірвальним приладом з уніфікованими каналами вимірювання кожного параметру на основі термочутливого елемента (ТЧЕ). У той же час ТЧЕ, які виготовляються промисловістю (термопари, термоопори, термометри об'ємного та лінійного розширення, напівпровідникові оксидні термоопори та гетеродинні прилади), мають ряд недоліків, які не дозволяють використовувати їх в каналах вимірювання параметрів мікроклімату [1].

Розроблені первинні напівпровідникові вимірвальні перетворювачі мікрокліматичних параметрів на основі монокристалічного кремнію дифузійно легованого золотом з наступним повільним охолодженням [3] дозволяють виготовити цифровий вимірвач мікрокліматичних параметрів для моніторингу умов мешкання в ЗС ЦО.

Постановка завдання та його вирішення. Монокристалічні кремнієві ТЧЕ є функціонально-залежними перетворювачами, тобто елементами, що перетворюють вимірвальну температуру в функціонально-залежний параметр електричного опору.

Побудова вимірвальних пристроїв з функціонально-залежними первинними перетворювачами значно спрощується при використанні методів, основних на тестових перехідних режимах у вимірвальних колах. З врахуванням параметрів ТЧЕ інтерес представляють експоненціальні схеми з аперіодичними колами. Такі вимірвальні пристрої не потребують спеціальних напруг складних форм. Імпульсне живлення вимірвального кола забезпечує мале енергоспоживання, що дозволяє здійснювати мініатюризацію ТЧЕ при збереженні метрологічних показників.

Поведінка ідеалізованої аперіодичної системи при дії ступінчатої збуджуючої функції описується диференціальним рівнянням [4]

$$T \frac{dy}{d\tau} + y = \frac{Y}{r},$$

де : $T = \frac{I}{r}$ - постійна часу системи; I – параметр, що характеризує інерційні властивості системи; r – параметр, що характеризує розсіювання енергії; y – значення вихідної функції; τ – час; Y – збуджуюча функція, причому $Y=0$ при $\tau=0$ і $Y=\text{const} \neq 0$ при $\tau > 0$.

Розв'язання рівняння при нульових початкових умовах має вигляд

$$y = \frac{Y}{r} (1 - e^{-\frac{\tau}{T}}).$$

Перехідний процес може бути використаний у вимірювальних колах для вимірювання параметрів системи I , T , τ , а також величини збуджуючої функції. Кожен із цих параметрів лінійно або функціонально перетворюється в середнє значення τ при відомих і незмінних інших параметрах. Реалізація метода зазвичай використовується при монократних збудженнях у вигляді серій прямокутних імпульсів заданої частоти.

Таким чином, при заданій величині опорного рівня y_0 можливе визначення інтервалу часу з моменту τ_0 збуджуючої функції Y до моменту порівняння з миттєвим значенням $Y(\tau)$

$$\tau_{cp} = T \cdot \ln \frac{1}{1 - \frac{y_0}{Y} * \alpha} = \frac{I}{\alpha} \cdot \ln \frac{1}{1 - \frac{y_0}{Y} * \alpha}.$$

З приведенного рівняння слідує, що можливо визначити значення фізичної величини, яка нас цікавить, якщо вимірювати постійну часу шляхом її перетворення в часовий інтервал при відомому постійному збудженні.

Подібні методи вимірів, що основані на аперіодичному перехідному процесі в ТЧЕ можуть бути реалізовані в ЗС ЦО у схемі цифрового вимірювача температури і швидкості руху повітря на основі кремнієвих термочутливих елементів.

На рис.1 представлена структурна схема експоненціального вхідного вимірювального пристрою, в якому робочий параметр ТЧЕ безпосередньо перетворюється в інтервал часу. Вимірювальний пристрій має дві гілки, що живляться різною напругою. Ланцюг $R_2 R_4$ живиться постійним U_{on} , що є опорним в процесі пере-

Цифровий вимірювач температури та швидкості руху повітря в захисних спорудах цивільної оборони на основі кремнієвих термочутливих елементів

творення вимірювального параметра в часовий інтервал. Ланцюг $R C$ живиться імпульсивною напругою (одиначний імпульс постійної амплітуди). Напруга U_1 та U_2 з виходів 1,2 подаються на вхід пристрою порівняння (компаратора).

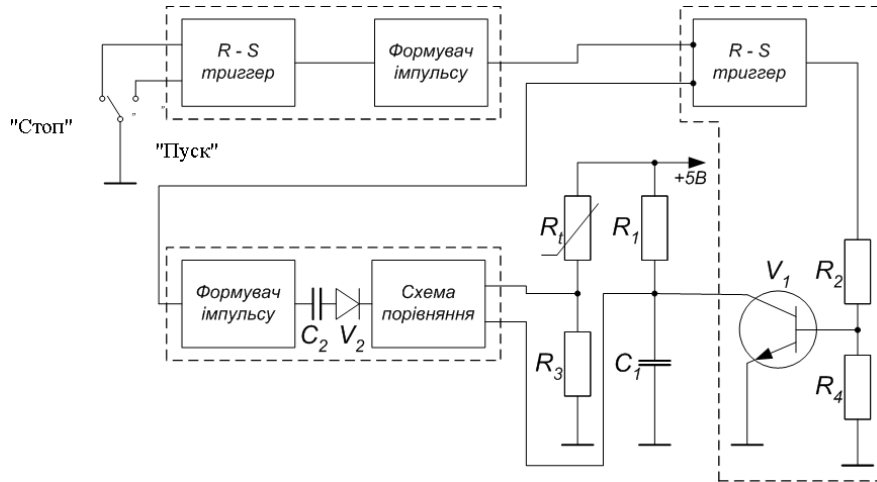


Рис. 1 – структурна схема експоненціального вхідного вимірювального пристрою

Для отримання потрібного ефекту перетворення ТЧЕ може бути включений замість будь-якого резистивного елемента структурної схеми. При цьому зміна робочого параметру буде змінювати або постійну часу ланцюгу $R_1 C$, або рівень опорної напруги, що задається ділником на резисторах $R_2 R_3$. І в тому, і в іншому випадку це призведе до зміни інтервалу часу, величина якого виражається виразом

$$\tau_n = R_1 C \ln \frac{R_2 + R_4}{R_2}.$$

В момент часу τ_0 подається одиничний імпульс тривалістю $\tau_u = \tau_1 - \tau_0$ постійної амплітуди U_{cp} . Відбувається заряд конденсатора C_1 і напруга U_1 на вході «1» змінюється по закону

$$U_1 = U_{co} + (U_{cp} + U_{co})(1 - e^{-t/T}),$$

де: U_{co} – початкова напруга на конденсаторі; $T = R_1 C$ – постійна часу ланцюга заряду конденсатора.

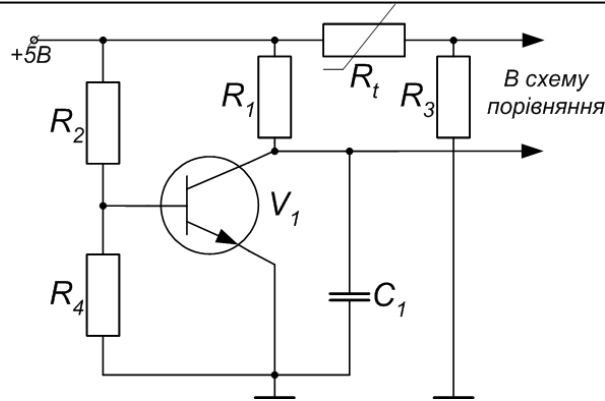


Рис. 2 – Принципова електрична схема експоненціального перетворювача

З ділянки $R_2 R_4$ знімається напруга U_2 , що подається на вхід 2. В момент рівності напруг U_1 і U_2 закінчується формування часового інтервалу $\tau_{cp} - \tau_0$, що відповідає визначеному значенню робочого параметру ТЧЕ.

Під час заповнення отриманого інтервалу часу стандартною частотою поряд з функціональним перетворенням вимірювального параметра можливе і його цифрове зображення.

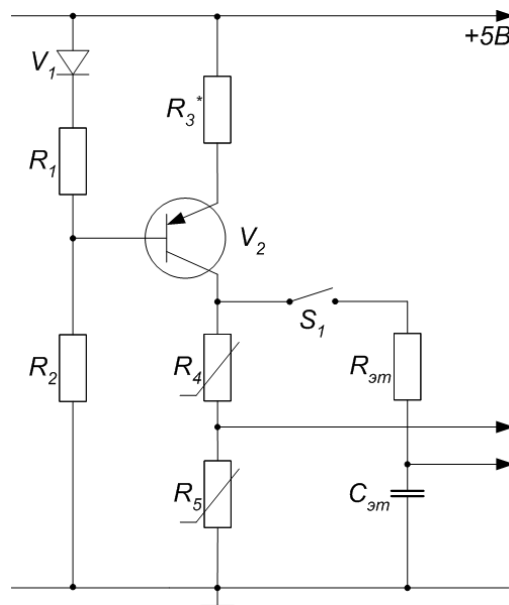


Рис. 3 – Експоненціальний перетворювач

Принципова електрична схема експоненціального перетворювача (рис.2) була використана в якості вхідного ланцюга каналу вимірювання температури цифрового термоанемометра. ТЧЕ R_t
 Цифровий вимірювач температури та швидкості руху повітря в захисних спорудах цивільної оборони на основі кремнієвих термочутливих елементів

включений в ланцюг джерела опорної напруги $+5\text{В}$ послідовно з резистором R_3 .

У вхідного ланцюга каналу вимірювання швидкості повітряного потоку цифрового термоанемометра також використаний експоненціальний перетворювач (рис.3), але з двома ТЧЕ R_4 і R_5 . Обидва ТЧЕ ввімкнені в ланцюг навантаження генератора струму, що забезпечує термоанемометричний режим їх роботи. ТЧЕ R_5 є термоанемометричним перетворювачем, що конструктивно розміщений на виносному щупі і може бути поміщений в потік, що досліджується, а R_4 ізолюваний від обдуву потоком і слугує для термокомпенсації вимірювальної схеми.

Функціональна схема цифрового термоанемометра з експоненціальними перетворювачами в каналах вимірювання температури та швидкості повітряного потоку представлена на рис. 4.

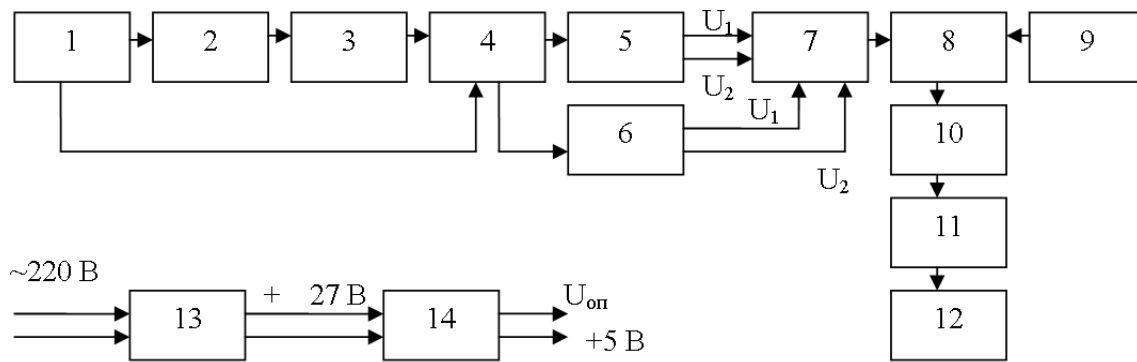


Рис. 4 – Функціональна схема цифрового термоанемометра

Сигнал від блоку управління 1 запускає генератор 2 одиночних імпульсів, імпульси якого після формувача 3 (канал – "старт") та перемикаючого пристрою 4, управління яким здійснює блок управління 1, надходять на відповідну RC – ланцюг експоненціальних вимірювачів 5 і 6. Напруга U_1 і U_2 з виходів вимірювачів 5 та 6 порівнюються схемою порівняння 7. При рівній напрузі схема порівняння 7 формує імпульс, який по каналу "стоп" надходить на вхід формувача часового інтервалу 8. Таким чином, вхідні вимірювальні пристрої каналів вимірювання температури і швидкості повітряного потоку цифрового термоанемометра працюють в режимі "старт-стоп", забезпечує формування часових інтервалів, що пропорційні зміні опору ТЧЕ. Сформований часовий інтервал при вимірюванні температури або швидкості повітряного потоку заповнюється лічильними імпульсами від генератора лічильних імпульсів 9, які фіксуються в двійково-десятковому лічильнику 10 та

Чіжов В.Ф., Семків О.М., Метельов О.В., Силенко Р.М.

через дешифратор 11 відображається блоком 12 цифрової індикації.

Живлення приладу виконується від випрямляча 13 та блока 14 стабілізованої напруги.

Для підвищення надійності приладу, покращення метрологічних характеристик, технологічності та ремонтпридатності, зменшення габаритів та ваги схеми приладу була виконана на інтегральних мікросхемах серії 155 (134), а в схемах експоненціальних перетворювачів використані високо стабільні резистори типу С5-5-1, ППМЛ-М-1 та конденсатори типу ФТ-1.

Висновок. На основі аналізу методів оцінки кліматичних умов у ЗС ЦО запропонований метод виміру мікрокліматичних параметрів, що оснований на аперіодичному перехідному процесі в термочутливому елементі.

Розроблені первинні напівпровідникові вимірювальні перетворювачі мікрокліматичних параметрів на основі монокристалічного кремнію дифузійно легованого золотом з наступним повільним охолодженням.

Розроблений цифровий термоанемометр з експоненціальними перетворювачами в каналах вимірювання температури та швидкості повітряного потоку для використання в ЗС ЦО.

ЛІТЕРАТУРА

1. И.Т. Шефтель. Терморезисторы. Монография. М. "Наука", 1973. –416 с.
2. Приборы для измерения температуры контактным способом. Под ред. Р.В. Бычковского. Львов. "ВШ", 1978. – 208 с.
3. АС № 950107 (СССР) Способ изготовления монокристаллических преобразователей температуры/ Чижов В.Ф. и другие.
4. Болтянский А.Л. , Райко Б.К., Скобелев О.П., Старобинский Н.М. Построение преобразователей при использовании свойств переходных процессов// Измерительная техника. – 1969. – №4. – С.47–49.

УДК 614.84

*Шевченко Л.П., канд. физ.-мат. наук, зав. каф., ХГТУСА,
Пирогов А.В., преп., УГЗУ*

АНАЛИЗ ПРИЧИН ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ РИСКА ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

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

В целях комплексного решения проблем снижения рисков, смягчения последствий стихийных бедствий, аварий и катастроф проанализированы возможности возникновения чрезвычайных ситуаций на территории Харьковской области. Дана оценка социально-экономических результатов, направленных на предотвращение материального ущерба

Постановка проблемы. Сохраняющаяся тенденция ежегодного роста количества и масштабов последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий заставляет искать новые решения проблемы. Эти решения должны быть направлены на предупреждение и максимально возможное снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, снижения материальных потерь, размеров ущерба окружающей природной среде, а также на сохранение жизни и здоровья людей в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. Они должны предвидеть будущие угрозы, риски и опасности, а также развивать методы их прогноза и предупреждения.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ видов чрезвычайных ситуаций и меры по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера рассматриваются в [1 - 4]. При этом, как показал анализ публикаций, в большинстве работ рассматриваются вопросы, связанные с ликвидацией последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и только некоторые из них посвящены проблеме прогнозирования и оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций с целью проведения ряда защитных мер [5]. Актуальной остается проблема совершенствования систем мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их последствий, с целью осуществления заблаговременного комплекса мер, направленных на предупреждение и максимально возможное снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Постановка задачи и ее решение. Цель государственной политики Украины в борьбе с авариями, катастрофами, стихийными бедствиями и эпидемиями – обеспечить необходимый уровень безопасности ее населения и территорий в чрезвычайной ситуации, при которой источники природных, техногенных и экологических угроз не могут быть лимитирующими факторами устойчивого социально-экономического развития региона. Харьковская область требует внимания и особых подходов в вопросах защиты населения, территорий и экономического потенциала от чрезвычайных ситуаций. Перспективы дальнейшего социально-экономического развития города и региона в целом во многом зависят от уровня безопасности объектов жизнеобеспечения, экономической и социальной инфраструктуры, организаций, ее населения и территорий в чрезвычайных ситуациях.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях означает состояние защищенности человека, общества и окружающей природы от чрезмерно вредных воздействий природных и техногенных факторов.

Уровень безопасности в чрезвычайных ситуациях оказывает решающее влияние на эффективность работы органов государственной власти по управлению риском возникновения чрезвычайных ситуаций, их предупреждению и ликвидации их последствий. Через государственное регулирование и при непосредственном участии населения можно добиться приемлемого уровня безопасности жизнедеятельности, состояния их защищенности от различного рода угроз.

Анализ произошедших чрезвычайных ситуаций на территории Харьковской области можно условно разделить на две группы:

- первая группа – чрезвычайные ситуации, зафиксированные на территории области в течении последних 5-ти лет – сезонные, т.е. это периодически возникающие чрезвычайные ситуации;
- вторая группа – крупные аварии и катастрофы техногенного и природного характера, не зафиксированные на территории области в течение 5 лет, но возможные в силу наличия источников их возникновения или других субъективных факторов.

К первой группе относятся (условно):

1. Чрезвычайные ситуации природного характера (опасные геологические, метеорологические, гидрологические явления, деградация почв или недр, пожары в природных экологических системах, изменения состояния воздушного бассейна, инфекционная заболеваемость и массовое отравление людей, инфекционные за-

болевания домашних животных, а именно сельскохозяйственных, массовая гибель диких животных, поражения сельскохозяйственных растений болезнями и вредителями и т. п.).

2. Чрезвычайные ситуации техногенного характера - транспортные аварии (катастрофы), пожары, взрывы, аварии с выбросом (угрозой выброса) опасных и вредных химических и радиоактивных веществ, внезапное разрушение сооружений; аварии в электроэнергетических системах, системах жизнеобеспечения, системах связи и телекоммуникаций, на очистительных сооружениях, в системах нефтегазового промышленного комплекса, гидродинамические аварии и др.

Средний ежегодный ущерб от чрезвычайных ситуаций возникающих в Харькове и в Харьковской области составляет десятки миллионов гривен (по статистическим данным за 2007 год прямой ущерб только от пожаров составил 23 млн.688 тысяч гривен).

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются: изношенность основных производственных фондов, ухудшение материально-технического обеспечения сил для ликвидации аварий, нехватка финансовых средств, снижение производственной и технологической дисциплины, неритмичность работы организаций.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера являются: осуществление хозяйственной деятельности и проживание населения на паводково-опасных территориях, относительно низкая надежность гидротехнических сооружений, ограниченные возможности областной и районных служб надзора и контроля.

Главной задачей предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций является осуществление заблаговременного комплекса мер, направленного на предупреждение и максимально возможное снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, снижение материальных потерь, размеров нанесенного ущерба окружающей природной среде, а также на сохранение жизни и здоровья людей в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Тенденция к снижению количества и масштабов чрезвычайных ситуаций не просматривается без проведения специальных мероприятий. Снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций первой группы не ожидается. Необходим комплекс мер по уменьшению последствий данных чрезвычайных ситуаций с це-

лю максимально возможного снижения риска пострадавших и материального ущерба, то есть максимального уменьшения масштабов последствий возникновения чрезвычайных ситуаций.

Виды чрезвычайных ситуаций, относящиеся ко второй группе:

1. Территориальные химические аварии, приводящие к массовым поражениям и гибели людей в результате отравления аварию химически опасными веществами.

2. Пожары и взрывы, приводящие к массовым поражениям и гибели людей.

3. Аварии на системах жизнеобеспечения населения, приводящие к массовым поражениям людей.

4. Аварии на гидротехнических сооружениях - прорывы дамб, разрушение плотин, которые могут привести к катастрофическим последствиям.

5. Региональные чрезвычайные ситуации природного характера, приводящие к массовым поражениям людей.

6. Массовые инфекционные заболевания людей (эпидемии).

7. Массовые инфекционные заболевания животных (эпизоотии).

8. Массовые поражения растений и леса опасными вредителями и болезнями (эпифитотии).

Источниками возникновения чрезвычайных ситуаций в Харькове и Харьковской области являются потенциально опасные объекты, стихийные бедствия, опасные виды болезней людей и животных, болезни и вредители растений и др.

Сохраняющаяся тенденция ежегодного роста количества и масштабов последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий заставляет искать новые решения проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, предвидеть будущие угрозы, риски и опасности, развивать методы их прогноза и предупреждения. До недавнего времени первостепенное внимание в решении проблемы защиты населения и территории Харькова и Харьковской области от чрезвычайных ситуаций уделялось ликвидации последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий. Однако эти усилия становятся все менее эффективными и более затратными. Имеющиеся ресурсы должны быть в первую очередь направлены на снижение риска и безопасности человека.

По расчетам международных экспертов затраты на прогнозирование и обеспечение готовности к стихийным бедствиям в 10-15 раз меньше величины предотвращенного ущерба.

Для достижения поставленной цели предусматривается решение следующих задач в области защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций:

- дальнейшее развитие и совершенствование систем мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их последствий;
- совершенствование вычислительных моделей оценки параметров катастроф;
- развитие информационного обеспечения управления рисками возникновения чрезвычайных ситуаций;
- разработка экономических механизмов регулирования деятельности по снижению рисков и последствий чрезвычайных ситуаций.

Выводы. Реализация защитных мероприятий позволит в 2-3 раза сократить затраты на ликвидацию чрезвычайных ситуаций по сравнению с величиной предотвращенного ущерба и на 30-40% уменьшить потери населения от чрезвычайных ситуаций, а в некоторых случаях полностью избежать их.

Разработка и реализация системы мер по выявлению опасностей и комплексному анализу риска чрезвычайных ситуаций обеспечит снижение на 20-25% риска для населения проживающего в Харьковской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон України від 8 червня 2000 року № 1809-III «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру».
2. Постанова Кабінету Міністрів від 24 березня 2004 р. № 368 «Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями».
3. Наказ МНС України від 22 квітня 2003 року № 119 «Про затвердження Класифікаційних ознак надзвичайних ситуацій».
4. Наказ Державного комітету стандартизації, метрології та сертифікації України від 19 листопада 2001 року № 552 «Про затвердження Державного класифікатора надзвичайних ситуацій ДК 019-2001».

5. Мартынюк И.В. О разработке принципов и методов прогнозной оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте // Наука и техника транспорта, 2006. -№4.-С 52-58.

УДК 504.056

*Шматко А.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Говаленков С.С., адъюнкт, УГЗУ*

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИ ВЫБРОСЕ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

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

Предложен алгоритм построения стохастической математической модели распределения концентраций опасных химических веществ в воздухе, позволяющий реализовать вероятностный подход для прогнозирования распределения концентрации опасных веществ в воздухе

Постановка проблемы. Одним из основных параметров аварий на химически опасных объектах, негативно влияющих на человека, является токсическое воздействие опасных химических веществ (ОХВ). Количественная оценка последствий таких аварий производится на основе определения концентраций и токсической дозы ОХВ [1, 2]. Для решения таких задач используются различные модели и допущения, учитывающие параметры конкретного химического вещества. Однако существующие модели не учитывают влияние случайных параметров, таких как скорость и направление ветра, температура и др. Кроме того, прогноз возможной чрезвычайной ситуации опирается на предсказание направления и скорости ветра, которые являются оценкой среднего направления и скорости ветра. Учитывая этот факт, актуальной является задача построения стохастической математической модели распределения концентраций ОХВ в атмосфере.

Анализ последних исследований и публикаций. В зависимости от метеоусловий, характера и площади пролива, физико-

химических свойств самого ОХВ, поведение облака зависит от плотности ОХВ по отношению к воздуху, концентрации, скорости и направления ветра. Основным поражающим фактором является токсическое воздействие паров ОХВ на человека [3,4]. Для малых высот источника характерно быстрое возрастание концентрации до максимальных значений на малых расстояниях (до 50-60 м) и сравнительно быстрое падение концентрации для больших расстояний (более 100 м.). С увеличением высоты источника уменьшается максимальная концентрация и усиливается асимметрия кривой распределения концентрации в направлении распространения облака [4].

В общем случае токсическое воздействие на человека (эффект поражения) оценивают вероятностью $P_{пор}$ поражения [1,2,5,7,8]

$$P_{пор} = f(P_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_r - 5} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (1)$$

где $Pr = a + b \cdot \ln(C_t^n \cdot \tau)$ – пробит-функция, a , b – константы, имеющие конкретные значения для каждого ОХВ (токсиканта), C_t – концентрация токсиканта, (мг/л), n – показатель степени, определяемый экспериментально, τ – время воздействия токсиканта на человека, мин.

Такой подход требует проведения необходимых расчетов для каждого ОХВ отдельно, использования громоздких аналитических моделей, задания стандартных граничных условий (следовательно, не учитываются варьируемые параметры – скорость и направление ветра, температура окружающей среды), необходимых таблиц и поправочных коэффициентов [6,7]. В связи с этим, важной является задача построения математической модели, лишенной указанных недостатков.

Постановка задачи и ее решение. Для построения стохастической математической модели на первом этапе определим алгоритм ее реализации. Концентрация паров жидкостей или газообразных веществ в воздухе описывается уравнением диффузии

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} - v_x \frac{\partial q}{\partial x} - v_y \frac{\partial q}{\partial y}, \quad (2)$$

где $q(x, y, z, t)$ – концентрация вещества, кг/м³; D, D_z – коэффициенты диффузии в горизонтальном и вертикальном направлениях; $\vec{v}(v_x, v_y)$ – вектор, определяющий направление и скорость ветра, м/с.

Начальные и краевые условия определяются видом аварии. Для мгновенной утечки вещества (например, пролив быстроиспаряющейся жидкости, разгерметизация емкости со сжиженным газом) начальное условие примет вид

$$q(x, y, z, 0) = M\delta(x - x_0, y - y_0, z - z_0), \quad (3)$$

где M – масса разлившегося и испарившегося вещества, кг; $\delta(x, y, z)$ – дельта-функция Дирака. Краевое условие описывает непроницаемость поверхности земли для диффундирующего в атмосфере вещества

$$\frac{\partial q}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

При медленном испарении с поверхности жидкости (т.е. когда испарение нельзя считать мгновенным) начальное условие описывает отсутствие опасного вещества в воздухе до аварии

$$q(x, y, z, 0) = 0. \quad (5)$$

а краевое условие имеет вид

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \begin{cases} E, & (x, y) \in S, \\ 0, & (x, y) \notin S, \end{cases} \quad (6)$$

где S – область пролива; E – интенсивность испарения, кг/м²с.

В настоящее время используются методы прогнозирования распределения концентрации опасных веществ в воздухе, основанные на решении уравнения (1) с начальными и краевыми условиями (2)-(3) или (4)-(5) известны [8]. При этом предполагается, что направление и скорость ветра остаются постоянными. Однако и направление, и скорость ветра меняются со временем, особенно если продолжительность прогнозируемого интервала состав-

Алгоритм построения стохастической модели определения полей концентраций при выбросе опасных химических веществ

влялет несколько часов. Кроме того, прогноз опирается на предсказание направления и скорости ветра, которые являются оценкой среднего направления и скорости ветра.

Таким образом, скорость и направление ветра являются случайными. Поэтому для их описания используем теорию случайных функций, полагая, что компоненты вектора $\vec{v} = (v_x, v_y)$ описываются случайными процессами

$$\begin{aligned}v_x(x, y, z, t) &= \xi(x, y, z, t), \\v_y(x, y, z, t) &= \eta(x, y, z, t),\end{aligned}$$

где $\xi(x, y, z, t)$, $\eta(x, y, z, t)$ – стационарные случайные процессы с математическими ожиданиями \bar{v}_x , \bar{v}_y . Здесь стационарность понимается как во времени, так и в пространстве, т.е. математические ожидания и дисперсии не зависят от времени и координат. Корреляция между значениями скорости $\xi(x_1, y_1, z_1, t_1)$ и $\xi(x_2, y_2, z_2, t_2)$ в точках (x_1, y_1, z_1) и (x_2, y_2, z_2) рассматриваемой области пространства зависит от расстояния между этими точками

$$r = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

и временного промежутка $\tau = |t_1 - t_2|$. Тогда корреляционные функции случайных процессов ξ и η , а также их взаимная корреляционная функция, будут функциями, зависящими от r и τ

$$K_\xi = K_\xi(r, \tau), \quad K_\eta = K_\eta(r, \tau), \quad K_{\xi\eta} = K_{\xi\eta}(r, \tau).$$

Определим алгоритм построения стохастической модели распределения концентраций ОХВ в атмосфере.

1. Будем рассматривать корреляционные функции в виде

$$K_\xi(r, \tau) = \sigma_\xi^2 \exp(-\alpha_\xi |\tau| - \beta_\xi r), \quad (7)$$

$$K_\eta(r, \tau) = \sigma_\eta^2 \exp(-\alpha_\eta |\tau| - \beta_\eta r), \quad (8)$$

$$K_{\xi\eta}(r, \tau) = s_{\xi\eta} \exp(-\alpha_{\xi\eta} |\tau| - \beta_{\xi\eta} r), \quad (9)$$

где $\sigma_\xi^2, \sigma_\eta^2$ – дисперсии случайных процессов ξ и η ; $\alpha_\xi, \beta_\xi, \alpha_\eta, \beta_\eta, \alpha_{\xi\eta}, \beta_{\xi\eta}, s_{\xi\eta}$ – параметры.

Из других типичных корреляционных функций отметим также функции вида $\sigma^2 e^{-\alpha|t|} \cos \beta t, \sigma^2 e^{-\alpha t^2}, \sigma^2 e^{-\alpha t^2} \cos \beta t$ [9]. Мы используем именно функцию (6)-(8), так как наличие множителя $\cos \beta t$ с физической точки зрения означает наличие периодических колебаний в системе, а в случае с ветром таких предпосылок нет. Основное отличие между функциями $\sigma^2 e^{-\alpha|t|}$ и $\sigma^2 e^{-\alpha t^2}$ состоит в недифференцируемости первой в точке 0 (а, следовательно, и недифференцируемости всего случайного процесса $\xi(t)$) и дифференцируемости второй из них. Поскольку дифференцируемость процесса для нас несущественна, то используем более простые функции (6)-(8).

2. Экспериментальное определение параметров корреляционных функций.

По определению, корреляционная функция случайного процесса характеризует силу корреляционной связи между моментами времени, отстоящими друг от друга на τ и точками пространства, отстоящими друг от друга на r

$$K_\xi(r, \tau) = M[\xi(X_0, t_0) - a][\xi(X_1, t_0 + \tau) - a], \quad a = M\xi(t),$$

где расстояние между точками X_0 и X_1 равно r .

Корреляционная функция может быть оценена экспериментальным путем. Если наблюдения за процессом проводить в дискретные моменты времени $0, \Delta t, \dots, n\Delta t$, то оценка корреляционной функции имеет вид

$$\hat{K}(m\Delta t) = \frac{1}{n-m} \sum_{j=0}^{n-m} [x(j\Delta t) - \bar{x}][x((j+m)\Delta t) - \bar{x}].$$

Для экспериментального определения корреляционной функции проводятся наблюдения скорости и направления ветра в одинаковые моменты времени $0, \Delta t, \dots, n\Delta t$ в нескольких точках, расположенных на некотором расстоянии друг от друга.

После проведения наблюдений параметры аппроксимирующих функций (6)-(8) подбираются так, чтобы минимизировать су-

мму квадратов отклонений от экспериментальных точек. По результатам экспериментов выдвигаем и проверяем гипотезу о, например, нормальном распределении случайных процессов ξ и η .

3. Имитационное моделирование процесса диффузии ОХВ в воздухе.

Генерируем случайные величины ξ и η с заданным распределением и корреляционной функцией построенной выше. Численно решая уравнение диффузии (1) с соответствующими краевыми условиями, получим одну из возможных реализаций распределения концентраций.

Проведя серию численных экспериментов, получим N реализаций. По этой реализации можно:

- оценить вероятность того, что в заданной точке пространства к заданному моменту времени будет достигнута критическая концентрация ОХВ

$$p(x, y, z, t) = \frac{N_{кр}(x, y, z, t)}{N},$$

где $N_{кр}(x, y, z, t)$ – количество реализаций, в которых в точке (x, y, z) к моменту времени t достигнута критическая концентрация;

- выдвинуть и проверить гипотезу о нормальном распределении концентраций.

Если гипотеза о нормальном (или каком-нибудь другом) распределении подтвердится, то из уравнения диффузии можно будет найти параметры этого распределения (математическое ожидание и дисперсию).

Выводы. Предложен алгоритм построения стохастической математической модели распределения концентраций ОХВ в атмосфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стоецкий В.Ф. та ін. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки. Тернопіль: Видавництво Астон, 2005. – 408 с.

2. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000.– 482 с.
3. Маршалл В. Основные опасности химических производств. - М.: Мир, 1989. – 672 с.
4. Захаренко О.В., Созник А.П. Оперативный расчёт зон заражения при авариях на химических предприятиях // Международная науч.–практическая конференция „Чрезвычайные ситуации. Теория. Практика. Инновации. ЧС-2006”. – Гомель: ГИИ, 2006. – С.225-227.
5. Шматко А.В., Говаленков С.С. Применение пробит-функции для прогнозирования возможного поражения людей при авариях на химически опасных объектах // Проблемы надзвичайних ситуацій. Вип. 6. – Харків: УЦЗУ, 2007. – С. 154-160.
6. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
7. Методика оценки последствий химических аварий (методика «Токси»). – М.: НТЦ «Пром. безопасность», 1993. – 19 с.
8. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Программный комплекс ТОКСИ+ (версия 3.0). – М.: НТЦ «Пром. безопасность», 2006. – 250 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1991. – 384 с.

УДК 504.056

*Яковлева И.А., канд. техн. наук, проф., УГЗУ,
Панина Е.А., преп., УГЗУ*

**АЛГОРИТМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ
НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ
ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ
ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА РИСКА**

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

Предложено для оценки вероятности неблагоприятного события на химических объектах с ХОВ применить построение дерева отказов. Разработан алгоритм вычисления минимального кратчайшего пути для полного дерева отказов с использованием R -функций

Постановка проблемы. Современные тенденции увеличения рисков чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера обуславливают необходимость развития современных методов управления безопасностью. Внедрение количественных методов оценки техногенных и природных рисков является одним из стратегических направлений достижения в Украине приемлемого уровня безопасности для населения, окружающей среды и объектов экономики.

На сегодняшний день отсутствует общепринятая методология прогнозирования оценок риска относительно окружающей среды. Большинство работ по прогнозированию оценок риска посвящены регулярному воздействию техногенного объекта на природную среду и не касаются вопросов прогнозирования оценок аварийного риска [2-5]. Поэтому в настоящее время отсутствует возможность оценить суммарные риски.

Анализ последних исследований и публикаций. Как отмечается в работах Маршалла В., Хенли Э.Дж., Кумамото Х. [1], Бусленко Н.П., Белова П.Г. и других авторов использование вероятностных оценок риска для анализа состояния безопасности – одно из наиболее дискуссионных направлений в теории безопасности.

Рассмотрим основы математического аппарата, применяемого при оценке риска каких-либо негативных событий на опасных производственных объектах (ОПО) [2].

Определим и обозначим события: A – авария на ОПО (нерасчетное внезапное высвобождение энергии); C_i – реализация аварии по i -му сценарию; B_i – причинение ущерба y_i ОПО и (или) другим объектам.

Полный риск R эксплуатации ОПО, как математическое ожидание причиняемых ущербов y_i можно представить следующим образом

$$R = M[Y] = \sum_{i=1}^n P(B_i) y_i, \quad (1)$$

где $P(B_i)$ – вероятность причинения ущерба y_i ОПО и (или) сторонним объектам.

Формулу (1) целесообразно разбить на два слагаемых – риск аварии R_A и штатный риск R_{III} , т.е.

$$R = R_A + R_{III} = \sum_{i=1}^{n-1} P(B_i) y_i + [P(B_n) \approx 1] \sum_{j=1}^m \overline{y_{nj}}, \quad (2)$$

где $\overline{y_{nj}}$ – размер средних ущербов, причиняемых ОПО и сторонним объектам при штатном функционировании ОПО. К основным из них относят убытки ОПО от деятельности других субъектов $y_{TЭО}$ и платы за загрязнение окружающей среды $y_{ООС}$.

Риск аварии $R_A = \sum_{i=1}^{n-1} P(B_i) y_i$, как при проектировании, так и при эксплуатации ОПО оценивается в рамках декларирования промышленной безопасности ОПО или иных процедур, требующих проведения анализа риска. Члены произведения первого слагаемого формулы (2) отличаются от аналогичных членов второго слагаемого тем, что величины вероятностей, как правило, очень малы, а величины ущербов наоборот могут быть очень высокими.

Подробнее остановимся на методах оценки риска аварии R_A . Для этого сначала определим событие B_i через события A и C_i

$$B_i = A \cap C_i. \quad (3)$$

Поскольку события A и C_i являются совместными, искомая вероятность события, связанного с причинением ущерба y_i сторонним объектам, определяется как

$$P(B_i) = P(A \cap C_i) = P(A) P(C_i / A). \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в формулу (2), получаем

$$R = R_A + R_{III} = \sum_{i=1}^{k=(n-1)} P(A) P(C_i / A) y_i + \overline{y_{ООС}} + \overline{y_{ТЭО}} \quad (5)$$

или в более сжатом виде для риска аварии R_A

$$R_A = \sum_{i=1}^k P(A) P(C_i / A) y_i = [P(A)] \left[\sum_{i=1}^k P(C_i / A) y_i \right]. \quad (6)$$

Первый член $[P(A)]$ произведения в выражении (6) описывает причинные составляющие, а второй – $\left[\sum_{i=1}^k P(C_i / A) y_i \right]$ – последствия возможной аварии.

Существуют многочисленные методики оценок последствий аварии, которые хорошо зарекомендовали себя в практике декларирования промышленной безопасности и применимы для нахождения последствий возможных аварий на ОПО (второй член в выражении (6)).

Существующие методики оценки $P(A)$ сложны, громоздки и трудоемки в основном из-за отсутствия, неточности и неопределенности исходных данных. Поэтому на практике обычно $P(A)$ принимают, как среднестатистическую по отрасли для данного типа ОПО, что, к сожалению, не отражает специфики декларируемого ОПО.

Постановка задачи и ее решение. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что разработка новых и усовершенствование существующих методов анализа рисков на ОПО является актуальной задачей. Как отмечалось в работах Белова П.Г., Абрамова Ю.А., Васюкова Г.В., Эдигарова А.С., Рябина И.А., Серебровского А.Н. и др. актуальным на сегодняшний день является

Яковлева И.А., Панина Е.А.

логику-вероятностный подход к оценке рисков возникновения возможных аварий.

Рассмотрим метод оценки вероятности неблагоприятного события при помощи дерева отказов на примере процесса, типичного для химического производства [3]. Это графическое представление всей цепочки событий, последствия которых могут привести к некоторому главному событию.

Пусть на предприятии имеется автоматическая установка синтеза химических веществ (рис. 1). Сырьевые материалы поступают в бункер, где частично перерабатываются. Из бункера они поступают по ленточному транспортеру в следующую установку (сборник) и подвергаются следующей стадии переработки. Затем сырье засасывается в бак, где к нему добавляются химические присадки. Бак оборудован предохранительным клапаном давления. После завершения процесса вся смесь поступает через выпускную трубу на следующую стадию процесса.

Построим простое дерево отказов (рис. 2). Событие взрыва бака – это вершина дерева, а события, которые могут привести к взрыву – ветви дерева. Взрыв произойдет только в том случае, когда одновременно предохранительный клапан не сработает и давление повысится. Эти события связаны с вершиной дерева условием «И». К повышению давления приводит одно из двух событий: неисправность насоса или чрезмерная нагрузка. Эти события связаны с предыдущим событием условием «ИЛИ».

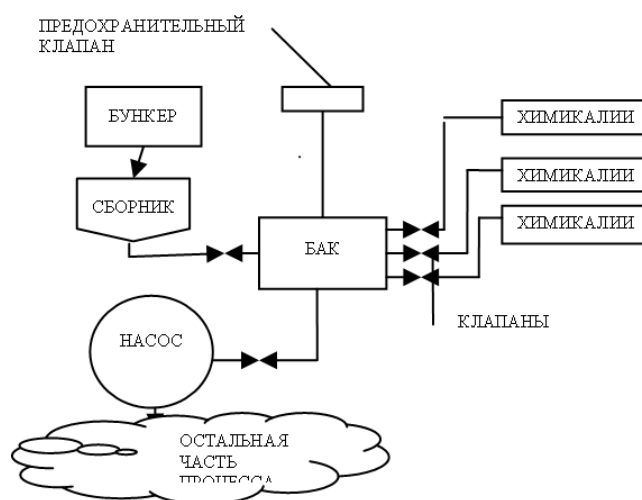


Рис. 1 – Общая схема автоматической установки синтеза химических веществ

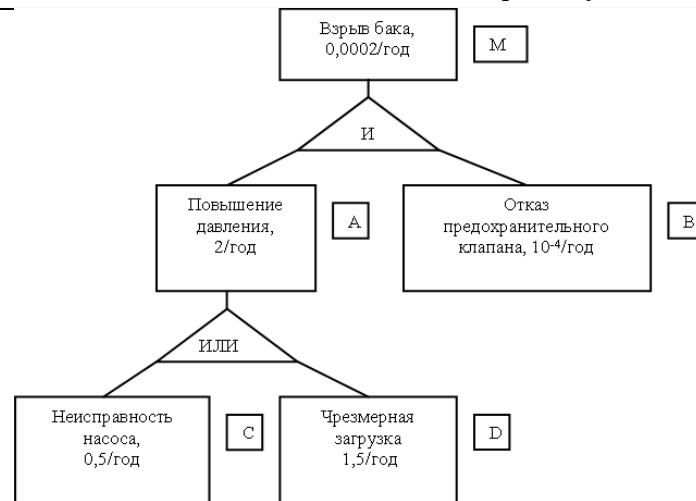


Рис. 2 – Дерево отказов для системы синтеза химических веществ

События, связанные условием «И» перемножаются, а события, связанные условием «ИЛИ», складываются. На рис. 2 указаны вероятности возникновения рассматриваемых событий. Результат перемножения вероятности увеличения давления на вероятность отказа предохранительного клапана дает вероятность взрыва – $0,0002/\text{год}$. Далее необходимо решить, приемлем ли для системы такой риск или нет.

Дерево отказов может быть также использовано для анализа чувствительности отдельных событий к отклонениям параметров системы или для выявления тех частей системы, которые вносят наибольший вклад в суммарный риск наступления неблагоприятных событий. Например, замена предохранительного клапана, вероятность отказа которого составляет 1×10^{-4} , на модернизированный клапан, у которого вероятность отказов 1×10^{-5} , приведет к тому, что риск взрыва бака снизится с 2×10^{-4} до 2×10^{-5} . Таким образом, модернизация клапана позволяет снизить главный риск рассматриваемой системы, т.е. риск взрыва бака.

Данный пример показывает, что одинаковые снижения риска различных исходных событий могут давать неодинаковое снижение риска главного события и что дерево отказов обеспечивает механизм анализа чувствительности безопасности системы к изменениям значений различных параметров.

Наконец, дерево отказов позволяет выявить все пути, которые приводят к главному событию, и, что наиболее важно, дает возможность определить минимальное число комбинаций событий, которые могут вызвать главное событие. Производственные про-

цессы или технические системы могут иметь несколько различных технологических цепочек, и все они должны быть отражены на графе дерева отказов. Если выделить минимальное число цепочек событий, которые приведут к главному событию, то можно будет определить ключевые части системы или процессы, модернизация которых может быть наиболее эффективной с точки зрения безопасности.

Рассмотрим на примере, как можно описать кратчайшие пути, т.е. минимальное число последовательностей событий, при которых бак может взорваться, на языке алгебры логики. Обозначим отдельные события процесса латинскими буквами (рис. 2).

Главное событие M возникает, если одновременно происходит событие A и B , следовательно: $M = AB$. Но событие A происходит если происходит или событие C , или событие D : $A = C + D$. Тогда $M = (C + D)B = CB + DB$. Подставим в это выражение соответствующие частоты и вероятности: $M = (0,5/\text{год})(1 \times 10^{-4}) + (1,5/\text{год})(1 \times 10^{-4}) = 0,00005/\text{год} + 0,00015/\text{год} = 0,0002/\text{год}$.

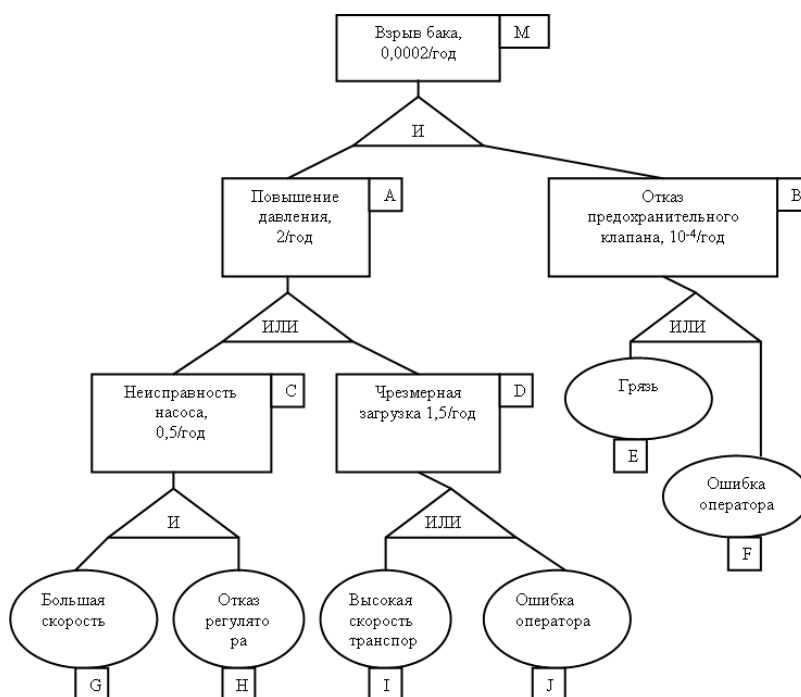


Рис. 3 – Пример построения полного дерева отказов

Минимальное число шагов последовательности событий, при которых может произойти взрыв, здесь равно двум: C и B или D и B . Далее можно сделать заключение, что событие DB наиболее ве-

роятно из двух цепочек событий, а наиболее эффективный способ снижения риска взрыва бака – это снижение вероятности чрезмерной загрузки сырьевыми материалами и повышение надежности предохранительного клапана.

На рис. 3 изображено полное дерево отказов для рассматриваемого примера. На графе добавлены цепочки, которые могут привести к возникновению событий B , C и D .

Исходные первичные события на рис. 3 изображены в кружках, чтобы выделить их по отношению к другим, являющимся вторичными.

Просматривая все возможные цепочки событий в полном дереве отказов, можно найти кратчайший путь к главному событию. Существует алгоритм вычисления минимального кратчайшего пути, который состоит из двух шагов [2]:

- составление таблицы возможных путей;
- заполнение серии матриц на основе составленной таблицы.

Этот процесс заканчивается определением минимального числа независимых путей (для данного примера их шесть), которые могут привести к главному событию.

Предлагается составить алгоритм вычисления минимального кратчайшего пути для полного дерева отказов с использованием R -функций, разработанных В.Л. Рвачевым [6-7]. Представление дерева отказов в классе R -функций возможно в силу того, что при его построении использовался язык алгебры логики.

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

$$\begin{aligned}
 x \wedge_\alpha y &= \frac{1}{1+\alpha} (x + y - \sqrt{x^2 + y^2 - 2\alpha xy}) \quad (R\text{-конъюнкция}) \\
 x \vee_\alpha y &= \frac{1}{1+\alpha} (x + y + \sqrt{x^2 + y^2 - 2\alpha xy}) \quad (R\text{-дизъюнкция}) \\
 \bar{x} &= -x \quad (R\text{-отрицание}),
 \end{aligned} \tag{8}$$

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

Для R -функціонального представлення моделі розвитку небажального події можна використати частний випадок системи R_α при $\alpha=1$.

Так як гілка дерева відмов вповне визначається заданням відповідної булевої функції $F(X_1 \dots, X_n)$, то R -функція, відповідаюча даній гілці, будується за тим же правилом, що і $F(X_1 \dots, X_n)$, з допомогою булевих функцій: кон'юнкції, диз'юнкції та заперечення.

Тоді для розглянутого прикладу (рис. 3) алгоритм обчислення мінімального найкоротшого шляху для повного дерева відмов з використанням R -функцій матиме вигляд

$$M = A \wedge_\alpha B, \quad (9)$$

де

$$B = E \wedge_\alpha F, \quad (10)$$

$$A = C \vee_\alpha D = (C \wedge_\alpha H) \vee_\alpha (I \vee_\alpha J) \quad (11)$$

Підставив вираження (10) і (11) в вираження (9), отримаємо алгоритм обчислення мінімального найкоротшого шляху для повного дерева відмов

$$M = [(C \wedge_\alpha H) \vee_\alpha (I \vee_\alpha J)] \wedge_\alpha (E \wedge_\alpha F) \quad (12)$$

Таким чином, розглядаючи всі можливі ланцюжки подій, отримуємо найкоротший шлях до головного події.

Переваги методу дерев відмов полягають у можливості описати складні процеси або системи, зобразити та проаналізувати структуру системи з урахуванням всіх проміжних ланцюжків. Дерево відмов дозволяє ідентифікувати ризики, притаманні системі, та кількісно їх описати.

Висновки. Отримано алгоритм обчислення мінімального найкоротшого шляху для повного дерева відмов з використанням R -функцій виникнення аварій на ОПО з урахуванням найбільш впливових, за оцінками експертів, небезпечних факторів. Оцінено уразливість технологічних елементів системи та їх взаємне впливання на забезпечення безпечної роботи об'єкта. Побудовано

на детерминированная модель, которая позволяет применять практические меры защиты от попадания системы объекта контр-роля в аварийное состояние.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. /Под общ. ред. Сыромятникова В.С. – М.: Машиностроение, 1984, – 620 с.
2. Хохлов Н.В. Управление риском. / Под ред. Галкина И.В. – Москва: Издательство Юнити-дана, 2003 – 239 с.
3. Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Салов С.С. и др. Управление риском. – М.: Наука, 2000. – 431 с.
4. Писаренко В.Ф. О наилучшей статистической оценке возможной магнитуды землетрясения // ДАН, 1995. – Т.344, №2. – С. 237-239.
5. Количественная оценка риска химических аварий /Колодкин В. М., Мурин А. В., Петров А. К., Горский В. Г. /Под ред. Колодкина В. М. – Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2001 – 228 с. ISBN 5-7029-0260-2
6. Рвачов В.Л. Геометрические приложения алгебры логики. – Киев: Техніка, 1967. – 211 с.
7. Рвачов В.Л. Теория R-функций и некоторые её приложения. – Киев: Наук. Думка, 1982. – 552 с.
8. Сироджа И.Б. Теоретические основы синтеза структурно аналитических моделей и алгоритмов распознавания образов для автоматизации классификационной обработки данных. – Мат. методы анализа динам. систем, 1977, вып..1, С. 96-108.
9. Стоян Ю.Г., Проценко В.С., Манко Г.П., Гончарюк И.В. и др. Теория R-функций и актуальные проблемы прикладной математики – Киев: Наук. Думка, 1986. – 246 с.

АННОТАЦИИ

Аветисян В.Г., Тригуб В.В.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА СПАСАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ НА РАЗРУШЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Показаны подходы к определению необходимых сил для проведения спасательных работ на разрушенных зданиях

Азаров С.И., Сидоренко В.Л., Сорокин Г.А.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕГО ВЗРЫВА БЫТОВОГО ГАЗА НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В работе проведено моделирование деформации строительных конструкций от взрывного ударного влияния

Акулов В.М., Кулаков О.В., Райз Ю.М., Черный С.В.

ОБОСНОВАНИЕ РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ БЕСПИЛОТНОГО САМОЛЕТА ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНОЙ СЛУЖБЫ

Проанализирована система проведения авиационных поисково-спасательных работ (АПСР) в Украине. Показана недостаточная эффективность применения пилотируемых самолетов для проведения поисково-спасательных операций. Для повышения эффективности действий подразделений МЧС при выполнении АПСР предлагается применение мало размерных беспилотных самолетов воздушного наблюдения (БСВН). Расчет обоснован радиус действия БСВН в зависимости от класса чрезвычайной ситуации

Андронов В.А., Данченко Ю.М.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КОКСОХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Для обеспечения безопасного функционирования систем оборотного водоснабжения коксохимических предприятий, проанализирована возможность использования некоторых ингибиторов коррозии. Предложен в качестве эффективного ингибитора триполифосфат натрия

ABSTRACTS

Avetisyan V.G., Trigub V.V.

RESCUERS AMOUNT PROGNOSTICATION FOR WORKS LEADTHROUGH ON THE BLASTED BUILDINGS

Going is rotined near determination of necessary forces for the leadthrough of rescue works on the blasted buildings

Azarov S.I., Sidorenko V.L., Sorokin G.A.

DOMESTIC GAZ INTERNAL EXPLOSION INFLUENCE ESTIMATION ON BUILD CONSTRUCTIONS OF BUILDINGS

The design of deformation of build constructions is in-process conducted from explosive shock influence

Akulov V.M., Kulakov O.V., Rayz Yu.M., Chernyi S.V.

SEARCHING-RESCUE UNMANNED AIRPLANE CRUISING SERVICE RADIUS JUSTIFICATION

The system of leadthrough of aviation searching-rescue works (ASRW) is analysed in Ukraine. Insufficient efficiency of application of the pilot-controlled airplanes is rotined for the leadthrough of searching-rescue operations. For the increase of efficiency of actions of subdivisions of ministry of emergency measures at implementation of ASRW application is offered it is not enough size unmanned airplanes of air supervision (UAAS). A calculation is ground a cruising of UAAS radius depending on the class of extraordinary situation

Andronov V.A., Danchenko Yu.M.

PROVIDING OF TECHNOGENIC SAFETY OF CHEMICAL-RECOVERY ENTERPRISES CIRCULATING WATER SYSTEMS

For providing of the safe functioning of the circulating water of chemical-recovery enterprises systems, possibility of the use of some inhibitirs of corrosion is analysed. Offered as an effective inhibitir of tripolyphosphate sodium

Андронов В.А., Пономаренко Р.В.

**ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ
ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА,
СВЯЗАННЫХ С АНТРОПОГЕННЫМ
ВЛИЯНИЕМ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ
ВОДОЕМЫ**

Проведен сравнительный анализ смены содержания общего железа и марганца, в водах Киевского и Карачуновского водохранилищ, имеющих несоединенные бассейны, вследствие антропогенного влияния. Установлены основные причины роста их концентраций от сезонных колебаний состава других примесей и общие закономерности ухудшения качества поверхностных источников водоснабжения

Andronov V.A., Ponomarenko R.V.

**TECHNOGENIC CHARACTER
EXTRAORDINARY SITUATIONS ORIGIN
POSSIBILITIES RELATED TO
ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON SU-
PERFICIAL RESERVOIRS**

The comparative analysis of changing of maintenance of general iron and manganese is conducted, in waters Kiev and Karachunovskoye of storage pools, having the ununited pools, because of anthropogenic influence. Principal reasons of growth of their concentrations from the seasonal vibrations of composition of other admixtures and general conformities to the law of worsening of quality of superficial sources of water-supply are set

Басманов А.Е., Михайлюк А.А.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
МОДЕЛИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ
СИТУАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО
ХАРАКТЕРА**

Построены оценки параметров математической модели чрезвычайной ситуации техногенного характера на примере коэффициентов конвективной теплоотдачи горящего резервуара с нефтепродуктом

Basmanov A.Ye., Mikhaylyuk A.A.

**TECHNOGENIC CHARACTER
EXTRAORDINARY SITUATION MODEL
PARAMETERS AUTHENTICATION**

The estimations of parameters of mathematical model of extraordinary situation of technogenic character are built on the example of coefficients of convection heat emission of conflagrant reservoir with oil products

Белов В.В., Быков В.М., Комяк В.А., Комяк В.В.

**О ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ
УТЕЧЕК ГАЗА НА ПОДВОДНЫХ
УЧАСТКАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ГАЗОПРОВОДОВ**

Рассматриваются возможности радиотепловых методов дистанционного зондирования по обнаружению утечек газа из подводных участков трубопроводов в зимний период времени за счет изменений электрофизических характеристик льда при наличии газовых вкраплений в ледяном покрове

Belov V.V., Bykov V.M., Komyak V.A., Komyak V.V.

**ABOUT POSSIBILITY OF FINDING OUT
GAZ LOSSES ON MAIN GAS PIPELINES
UNDERWATER AREAS**

Possibilities of radiothermal methods of the remote sensing are examined on finding out outgassings from the underwater areas of pipelines in a winter period of time due to the changes of electrophysics descriptions of ice at presence of gas disseminations in an icy cover

Горбенко Н.А., Созник А.П.

**НАГРЕВАНИЕ РЕЗЕРВУАРА С
НЕФТЬЮ ПОД ВЛИЯНИЕМ
ТЕПЛООВОГО ПОТОКА**

Предложена уточненная модель для оценки температуры нефтепродукта в соседнем с горящим резервуаре, которая позволяет установить время достижения определенной температуры под влиянием теплового излучения

Gorbenko N.A., Soznik A.P.

**HEATING OF RESERVOIR WITH OIL
UNDER THERMAL STREAM INFLUENCE**

The specified model is offered for the estimation of temperature of oil products in nearby with conflagrant reservoir, which allows to set time of achievement of certain temperature under influence of caloradiance

Горносталь С.А., Созник А.П.

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ,
ПРОИСХОДЯЩИХ В РЕГЕНЕРАТОРЕ
АЭРОТЕНКА**

Рассмотрены основные процессы, происходящие в регенераторе. Предложена математическая модель, учитывающая процессы образования хлопьев и дисперсных бактерий, трансформацию загрязнений в биомассу активного ила, а также образование продуктов автолиза

Гринченко Е.Н., Кирочкин А.Ю., Тютюнник В.В., Шевченко Р.И.

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ СИСТЕМА
БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ
УКРАИНЫ, КАК СОСТАВЛЯЮЩИХ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ВРЕМЕННОЙ
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.
ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
ОПАСНОСТИ**

В работе рассмотрены основы построения интегральной системы безопасности государственной территориально-временной параметрической системы от чрезвычайных ситуаций, сформирован принцип комплексной оценки опасностей и проведен анализ состояния регионов Украины с его учетом

Киреев А.А.

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ
СОСТАВОВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ
НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ
ОБЪЕКТАХ**

Рассмотрены перспективы применения гелеобразующих составов при тушении химически опасных объектов. Показано, что эти составы являются эффективными средствами как тушения, так химической защиты

Яковлева И.А., Панина Е.А.

**АЛГОРИТМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ И
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ
НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ОБЪЕКТАХ ХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ
ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА РИСКА**

Предложено для оценки вероятности неблагоприятного события на химических объектах с ХОВ применить построение дерева отказов. Разработан алгоритм вычисления минимального кратчайшего пути для полного дерева отказов с использованием R -функций

Gornostal S.A., Soznik A.P.

**MATHEMATICAL MODEL
CONSTRUCTION OF PROCESSES, WHAT
BE GOING ON IN REGENERATOR OF
AEROTANK**

Basic processes, what be going on in a regenerator, are considered. A mathematical model, taking into account the processes of formation of flakes and dispersible bacteria, transformation of contaminations in biomass of active silt, and also formation of products of autolysis, is offered

Grinchenko Ye.N., Kirochkin A.Yu., Tyutyunik V.V., Shevchenko R.I.

**INTEGRAL SAFETY SYSTEM OF
REGIONS OF UKRAINE, AS
CONSTITUENTS OF STATE
TERRITORIAL-TEMPORAL SELF-
REACTANCE SYSTEM. PRINCIPLE OF
DANGER COMPLEX ESTIMATION**

Bases of construction of the integral system of safety of the state territorial-temporal self-reactance system are in-process considered from extraordinary situations, principle of complex estimation of dangers is formed and the analysis of the state of regions of Ukraine is conducted with his account

Kireev A.A.

**APPLICATION OF GEL-FORMING
COMPOSITIONS AT EXTINGUISHING OF
FIRES ON CHEMICALLY DANGEROUS
OBJECTS**

The prospects of application of gel-forming compositions are considered at extinguishing chemically of dangerous objects. It is rotined that these compositions are effective facilities as extinguishings, so chemical defence

Yakovleva I.A., Panina Ye.A.

**ALGORITHM OF PROVIDING OF
SAFETY AND WARNING OF ACCIDENT
RATE ON DANGEROUS PRODUCTION
OBJECTS OF CHEMICAL INDUSTRY ON
BASIS OF PROCEDURE OF ANALYSIS
OF RISK**

It is offered for the estimation of probability of unfavorable event on chemical objects with CDS to apply the construction of tree of refuses. The algorithm of calculation of minimum short cut is developed for the complete tree of refuses with the use of R -functions

Кустов М.В., Калугин В.Д., Михайленко М.В.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ
ПРИГОТОВЛЕНИЯ
МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ВОДНЫХ
ЭМУЛЬСИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ,
ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Идея работы основана на более высокой эффективности использования мелкодисперсных водных эмульсий углеводородов при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) за счёт повышения степени диспергирования воды. В этой связи проведён сопоставительный анализ технологических возможностей различных механических способов приготовления мелкодисперсных эмульсий и показано, что только кавитационный способ приготовления эмульсий позволяет быстро получать необходимые объёмы рабочей смеси с заданными физико-химическими параметрами для эффективной ликвидации ЧС. Экспериментально изучена кинетика образования мелкодисперсных эмульсий различной природы в зависимости от времени и интенсивности кавитационной обработки. Рассмотрена энергетика и гидродинамика кавитационных процессов при приготовлении эмульсий

Рудаков С.В., Герасимов С.В., Подорожняк А.О.

**ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
БОЕПРИПАСОВ И ВЗРЫВООПАСНЫХ
ВЕЩЕСТВ ПРИ ИХ ХРАНЕНИИ**

В статье получены неравенства, позволяющие определить целесообразность проведения контроля технического состояния боеприпасов и взрывоопасных веществ при их хранении

Соболь А.Н.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО
КОЛИЧЕСТВА ПОСТОВ КОНТРОЛЯ С
УЧЕТОМ ПОРОГА СРАБАТЫВАНИЯ И
ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
ДАТЧИКОВ**

В работе приведен метод рационального разбиения заданной территории на районы функционирования постов контроля с учетом порога срабатывания и погрешности измерения датчиков

Kustov M.V., Kalugin V.D., Mikhaylenko M.V.

**HIGH-EFFICIENCY METHOD OF
PREPARATION OF FINE-DISPERSED
WATER EMULSIONS OF
HYDROCARBONS, IN-USE AT
EXTRAORDINARY SITUATIONS
LIQUIDATION**

The idea of work is based on more high efficiency of the use of fine-dispersed water emulsions of hydrocarbons at liquidation of extraordinary situations (EOS) due to the increase of degree of dispergating of water. The comparable analysis of technological possibilities of different mechanical ways of preparation of fine-dispersed emulsions is in this connection conducted and it is rotined, what only the cavitation method of preparation of emulsions allows quickly to get the necessary volumes of working mixture with physical and chemical preset a parameter for effective liquidation of EOS. Kinetics of formation of fine-dispersed emulsions of different nature is experimentally studied depending on time and intensity of cavitation treatment. Energy and hydrodynamics of cavitation processes is considered at preparation of emulsions

Rudakov S.V., Gerasimov S.V., Podorozhnyak A.O.

**TECHNICAL STATE CONTROL
LEADTHROUGH POSSIBILITY
JUSTIFICATION OF LIVE
AMMUNITIONS AND EXPLOSIVE
MATTERS AT THEIR STORAGE**

Inequalities, allowing to define expedience of leadthrough of control of the technical state of live ammunitions and explosive matters at their storage, are got in the article

Sobol A.N.

**DETERMINING THE RATIONAL
AMOUNT OF CONTROL POSTS TAKING
INTO ACCOUNT THRESHOLD OF
WEARING-OUT AND ERROR OF
MEASURING OF SENSORS**

The method of the rational breaking up of the set territory is in-process resulted on the districts of functioning of control posts taking into account the threshold of wearing-out and error of measuring of sensors

Прохач Э.Е., Михальская Л.Л.

**ПУТИ УМЕНЬШЕНИЯ ОПАСНОСТИ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ
СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С
ХРАНЕНИЕМ НЕПРИГОДНЫХ
ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ
РАСТЕНИЙ И ЯДОХИМИКАТОВ**

Рассмотрены возможные пути уменьшения опасности, связанной с хранением непригодных пестицидов и ядохимикатов. Показано, что радикальным способом уменьшения опасности является ликвидация непригодных пестицидов. Предложен способ обезвреживания пестицидов. Приведены результаты испытаний установки, созданной по предложенному способу

Толкунов И.А., Барбашин В.В., Попов И.И.
**ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ РАБОЧЕЙ
СРЕДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛИЧНОГО СОСТАВА
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ОПЕРАТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ СИЛАМИ И
СРЕДСТВАМИ МЧС УКРАИНЫ**

Проведен анализ особенностей рабочей среды помещений оперативного управления силами и средствами МЧС Украины и показано их влияние на эффективность деятельности личного состава. Обоснована целесообразность искусственной аэроионизации рабочей среды помещений и определены основные задачи разработки методов и средств для ее реализации

Третьяков О.В.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО
ПЕРЕНАСЫЩЕНИЯ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Предложен термодинамический подход для определения граничного и критического перенасыщения теплоносителя энергетического оборудования при образовании отложений и шламообразовании. Как теоретически, так и экспериментально выяснено, что значения этих показателей зависят от поверхностного натяжения и типа кристаллической решетки кристаллизирующихся веществ

Prokhach E.E., Mikhalskaya L.L.

**DIMINISHING WAYS OF
EXTRAORDINARY SITUATIONS ORIGIN
DANGER RELATED TO STORAGE OF
USELESS CHEMICAL FACILITIES OF
DEFENCE OF PLANTS AND PESTICIDE**

The possible ways of diminishing of danger, related to storage of useless pesticides and pesticide are considered. It is rotined that the radical method of diminishing of danger is liquidation of useless pesticides. The method of defuzing of pesticides is offered. The results of tests of setting, created on the offered method are resulted

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

**FEATURES OF INFLUENCE OF
WORKING ENVIRONMENT ON
EFFICIENCY OF ACTIVITY OF
PERSONNEL OF SUBDIVISIONS OF
OPERATIVE MANAGEMENT FORCES
AND FACILITIES OF MINISTRY OF
EMERGENCY MEASURES OF UKRAINE**

The analysis of features of working environment of apartments of operative management forces and facilities of ministry of emergency measures of Ukraine is conducted and their influence is rotined on efficiency of activity of personnel. Expedience of artificial aeroionization of working environment of apartments is grounded and the basic tasks of development of methods and facilities are certain for its realization

Tretyakov O.V.

**DETERMINATION OF CRITICAL
SUPERSATURATING OF HEAT CARRIER
FOR INCREASE OF SAFETY OF
EXPLOITATION OF HEAT-EXCHANGE
EQUIPMENT**

Thermodynamics approach is offered for determination of the border and critical supersaturating of heat carrier of power equipment at formation of deposits and slag-making. Both in theory and it is experimentally found out that the values of these indexes depend on a surface-tension and type of crystalline grate of crystallizing matters

Шевченко Л.П., Пирогов А.В.

**АНАЛИЗ ПРИЧИН ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ
СИТУАЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ
РИСКА ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ**

В целях комплексного решения проблем снижения рисков, смягчения последствий стихийных бедствий, аварий и катастроф проанализированы возможности возникновения чрезвычайных ситуаций на территории Харьковской области. Дана оценка социально-экономических результатов, направленных на предотвращение материального ущерба

Shevchenko L.P., Pirogov A.V.

**ANALYSIS OF REASONS OF
EXTRAORDINARY SITUATIONS FOR
ESTIMATION OF DEGREE OF RISK OF
THEIR ORIGIN**

For the complex decision of problems of decline of risks, softening of consequences of natural calamities, failures and catastrophes possibilities of origin of extraordinary situations are analysed on territory of the Kharkov region. The estimation of socio-economic results, directed on prevention of financial harm is given

Шматко А.В., Говаленков С.С.

**АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ
СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ
КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИ ВЫБРОСЕ
ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

Предложен алгоритм построения стохастической математической модели распределения концентраций опасных химических веществ в воздухе, позволяющий реализовать вероятностный подход для прогнозирования распределения концентрации опасных веществ в воздухе

Shmatko A.V., Govalenkov S.S.

**ALGORITHM OF CONSTRUCTION OF
STOCHASTIC MODEL OF
DETERMINATION OF THE FIELDS OF
CONCENTRATIONS AT TROOP
LANDING OF HAZARDOUS CHEMICAL
SUBSTANCES**

The algorithm of construction of stochastic mathematical model of distributing of concentrations of hazardous chemical substances is offered in mid air, allowing to realize probabilistic approach for prognostication of distributing of concentration of hazardous substances in mid air

Садковой В.П., Коврегин В.В., Байтала М.Р.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА
ДАТЧИКА ПЕРВИЧНОЙ
ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ
ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ
АВАРИЙ**

Разработана имитационная модель, описывающая процесс определения постоянной времени датчика первичной информации системы ослабления последствий аварий непосредственно при его эксплуатации

Sadkovo V.P., Kovregin V.V., Baytala M.R.

**PRIMARY INFORMATION SENSOR
DYNAMIC PARAMETER
DETERMINATION PROCESS IMITATION
DESIGN OF FAILURES CONSEQUENCES
WEAKENING SYSTEM**

A simulation model, describing the process of determination permanent time of sensor of primary information of the system of weakening of consequences of failures directly during his exploitation, is developed

Тарасенко А.А.

**ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО ФОНА ПРИ
МОНИТОРИНГЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ
СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА**

Предложена математическая модель распределения напряженности солнечной радиации и суточных сумм тепла по поверхности рельефа, которая может быть использована при идентификации условий самовоспламенения горючих веществ и динамики влажности растительного горючего материала

Tarassenko A.A.

**ESTIMATION OF THERMAL
BACKGROUND AT MONITORING OF
EXTRAORDINARY SITUATIONS OF
NATURAL CHARACTER**

The mathematical model of distributing of tension of sun radiation and daily allowance sums of heat is offered on the surface of relief, which can be used for authentication of terms of spontaneous combustion of combustibles and dynamics of humidity of vegetable combustible material

Сенчихин Ю.Н., Попов В.М., Ромин А.В., Фесенко Г.В.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ФАКТОРОВ МЕСТА И ПОВЕДЕНИЯ НА
ЭФФЕКТИВНУЮ ДОЗУ ВНЕШНЕГО
ОБЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП
НАСЕЛЕНИЯ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ
ПРИ РАДИОАКТИВНОМ ЗАРАЖЕНИИ
ТЕРРИТОРИИ**

Проведены исследования влияния факторов места и поведения на эффективную дозу внешнего облучения работников лесного хозяйства и служащих сельской местности при восстановительной фазе аварии на атомной электростанции. Показаны некоторые пути снижения дозы облучения работников лесного хозяйства

Стрелец В.М., Бородич П.Ю., Беридзе С.С.

**ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ
ТИПОВЫХ ОПЕРАЦИЙ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПРОВЕДЕНИЕ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ
НА СТАНЦИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА**

Особенностью распределения времени выполнения типовых операций при проведении аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена является то, что с 10%-ным уровнем значимости они могут быть описаны с помощью β -распределения, имеющего параметры $a=2,111$ и $\beta=2,995$

Тесленко О.О., Михайлюк А.П., Олейник В.В.

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
К ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ
ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ**

Предложена имитационная модель потенциально опасного объекта. Изучен опыт исследования статистического поведения этой модели относительно процедуры идентификации. Предлагается язык для моделирования по определению свойств имитационной модели

Халыпа В.М., Вамболь С.А.

**БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБ
КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПО
УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ**

Предложена методика расчета напряженно-деформированного состояния цилиндрических труб отопительных систем в условиях совместного воздействия температурного поля, ветровой нагрузки и собственного веса

Senchikhin Yu.N., Popov V.M., Romin A.V., Fesenko G.V.

**RESEARCH OF INFLUENCE OF
FACTORS OF PLACE AND CONDUCT ON
EFFECTIVE DOSE OF EXTERNAL
IRRADIATION OF DIFFERENT GROUPS
OF POPULATION OF RURAL LOCALITY
AT NUCLEAR CONTAMINATION OF
TERRITORY**

Researches of influence of factors of place and conduct are conducted on the effective dose of external irradiation of workers of forestry and office workers of rural locality at the restoration phase of failure on a nuclear power plant. Some ways of decline of dose of irradiation of workers of forestry are retined

Strelets V.M., Borodich P.Yu., Beridze S.S.

**FEATURES OF IMPLEMENTATION OF
MODEL OPERATIONS, PROVIDING
LEADTHROUGH OF SEARCH-AND-
RESCUE WORKS ON THE STATIONS OF
UNDERGROUND PASSAGE**

By the feature of distributing of time of implementation of model operations during the leadthrough of search-and-rescue works on the stations of underground passage there is that with the level of 10% of meaningfulness they can be described by β -distribution, having parameters of $a=2,111$ and $\beta=2,995$

Teslenko O.O., Mikhaylyuk A.P., Oleynik V.V.

**EXPERIENCE OF APPLICATION OF
IMITATION DESIGN TO
AUTHENTICATION OF OBJECTS OF
ENHANCEABLE DANGER**

A simulation model is offered potentially dangerous object. Experience of research of statistical conduct of this model is studied in relation to procedure of authentication. A language is offered for a design on determination of properties of simulation model

Khalypa V.M., Vambol S.A.

**SAFE EXPLOITATION OF CYLINDRICAL
PIPES OF CALDRON OPTIONS ON
TERMS OF DURABILITY**

The method of calculation of the intently-deformed state of cylindrical pipes of the heatings systems is offered in the conditions of joint influence of the temperature field, wind loading and own weight

*Чижов В.Ф., Семкив О.М., Метелев А.В.,
Силенко Р.М.*

**ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ
ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ
ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ЗАЩИТНЫХ
СООРУЖЕНИЯХ ГРАЖДАНСКОЙ
ОБОРОНЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВЫХ
ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ**

Рассмотрен вопрос обеспечения и контроля необходимых значений показателей микроклимата в защитных сооружениях гражданской обороны с искусственной средой обитания путем использования цифрового измерителя температуры и скорости движения воздуха на основе кремниевых термочувствительных элементов

*Chizhov V.F., Semkiv O.M., Metelev A.V., Si-
lenko R.M.*

**DIGITAL MEASURING DEVICE OF
TEMPERATURE AND RATE OF
MOVEMENT OF AIR IN PROTECTIVE
BUILDINGS OF CIVIL DEFENSIVE ON
BASIS OF SILICIC HEAT-SENSITIVE
ELEMENTS**

The question of providing and control of necessary values of indexes of microclimate is considered in protective buildings of civil defensive with the artificial environment of dwelling by the use of digital measuring device of temperature and rate of movement of air on the basis of silicic heat-sensitive elements

Аветісян В.Г., Тригуб В.В. Прогнозування кількості рятувальників для проведення робіт на зруйнованих будинках.....	3
Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Сорокін Г.А. Оцінка впливу внутрішнього вибуху побутового газу на будівельні конструкції будинків і споруд.....	8
Акулов В.М., Кулаков О.В., Райз Ю.М., Чорний С.В. Обґрунтування радіусу дії безпілотного літака пошуково-рятувальної служби.....	13
Андронов В.А., Данченко Ю.М. Обеспечение техногенной безопасности систем оборотного водоснабжения коксохимических предприятий.....	18
Андронов В.А., Пономаренко Р.В. Можливості виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, пов'язаних із антропогенним впливом на поверхневі водойми.....	26
Басманов А.Е., Михайлюк А.А. Идентификация параметров модели чрезвычайной ситуации техногенного характера.....	36
Белов В.В., Быков В.М., Комяк В.А., Комяк В.В. О возможности обнаружения утечек газа на подводных участках магистральных газопроводов.....	41
Горбенко Н.А., Созник А.П. Нагревание резервуара с нефтью под влиянием теплового потока.....	47
Горносталь С.А., Созник А.П. Построение математической модели процессов, происходящих в регенераторе азротенка.....	51
Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. Інтегральна система безпеки регіонів України, як складових державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки.....	58
Киреев А.А. Применение гелеобразующих составов при тушении пожаров на химически опасных объектах.....	71
Кустов М.В., Калугин В.Д., Михайленко М.В. Высокоэффективный способ приготовления мелкодисперсных водных эмульсий углеводородов, используемых при ликвидации чрезвычайных ситуаций.....	78
Прохач Е.Ю., Михальська Л.Л. Шляхи зменшення небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із зберіганням непридатних хімічних засобів захисту рослин та отрутохімікатів.....	90
Рудаков С.В., Герасимов С.В., Подорожняк А.О. Обґрунтування можливості проведення контролю технічного стану боєприпасів і вибухонебезпечних речовин при їх зберіганні.....	98
Садковой В.П., Коврегин В.В., Байтала М.Р. Имитационное моделирование процесса определения динамического параметра датчика первичной информации системы ослабления последствий аварий.....	105
Сенчихин Ю.Н., Попов В.М., Ромин А.В., Фесенко Г.В. Исследование влияния факторов места и поведения на эффективную дозу внешнего облучения различных групп населения сельской местности при радиоактивном заражении территории.....	111
Соболь О.М. Визначення раціональної кількості постів контролю з урахуванням порогу спрацьовування та похибки вимірювання датчиків.....	117
Стрелец В.М., Бородич П.Ю., Беридзе С.С. Особенности выполнения типовых операций, обеспечивающих проведение аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена.....	124
Тарасенко А.А. Оценка теплового фона при мониторинге чрезвычайных ситуаций природного характера.....	132
Тесленко О.О., Михайлюк О.П., Олійник В.В. Досвід застосування імітаційного моделювання до ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки.....	139
Толкунов И.А., Барбашин В.В., Попов И.И. Особенности влияния рабочей среды на эффективность деятельности личного состава подразделений оперативного управления силами и средствами МЧС Украины.....	145
Третьяков О.В. Визначення критичного пересичення теплоносія для підвищення безпеки експлуатації теплообмінного обладнання.....	153

Халыпа В.М., Вамболь С.А. Безопасная эксплуатация цилиндрических труб котельных установок по условиям прочности 159	Шматко А.В., Говаленков С.С. Алгоритм построения стохастической модели определения полей концентраций при выбросе опасных химических веществ 177
Чіжов В.Ф., Семків О.М., Метельов О.В., Силенко Р.М. Цифровий вимірювач температури та швидкості руху повітря в захисних спорудах цивільної оборони на основі кремнієвих термочутливих елементів 165	Яковлева И.А., Панина Е.А. Алгоритм обеспечения безопасности и предупреждения аварийности на опасных производственных объектах химической промышленности на основе процедуры анализа риска 184
Шевченко Л.П., Пирогов А.В. Анализ причин чрезвычайных ситуаций для оценки степени риска их возникновения 172	

Наукове видання

ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Випуск 7

Відповідальний за випуск Ю.О. Абрамов

Технічні редактори Р.І. Шевченко, О.Ю. Кірючкін

Підписано до друку 17.03.2008

Ум.-друк. арк. 11,68

Вид. арк. 11,58

Формат паперу 60x84/16

Тир. 300

Зам. 128 – 2008

Ціна договірна

61023, Харків, вул. Чернишевського, 94

Електронна адреса: <http://arbu.edu.ua/rus/>

Типографія Університету цивільного захисту України

