

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

УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

---

# ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Випуск 10

Зареєстрований Державним комітетом  
телебачення і радіомовлення України

28 лютого 2006 року

Серія КВ № 11041

Затверджено до друку Вченою радою  
УЦЗ України  
(протокол № 2 від 05.10.2009 р.)

Харків 2009

УДК 331.101+351.861+351.861:514.18+355.474+355.58+504.056+504.064.4+  
519.2.003.12:331.461.2+536.423:504.062:502.5:504.062+[556.114:574.63] (285.33)+  
614.8+614.84+614.841.334.1+621.373:772+621.384.327+681.355+681.518.3+  
697.953:537.56+911.2:504.54(477.52)

Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України.  
Вип. 10. – Харків: УЦЗУ, 2009. – 252 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. – 60, табл. – 14

**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. Сознік*, 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., канд. техн. наук, нач. каф., УЦЗУ,  
Бабенко О.В., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,  
Кріса І.Я., канд. техн. наук, заст. нач. ДДПБ МНС України*

## **РОЗРАХУНОК ЧАСУ РЯТУВАННЯ ЛЮДЕЙ З ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ ПРИ ПОЖЕЖІ**

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

На основі аналізу досвіду проведення рятувальних робіт та літературних джерел запропоновано методика розрахунку часу проведення рятувальних робіт з висотних будівель при пожежі

**Ключові слова:** рятування з будівель, пристрій для рятування, час зосередження.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день набуло розмаху висотне будівництво житлових та громадських будівель. В останні роки винайдені сотні рятувальних пристроїв, які дозволяють проводити евакуацію людей з будівель майже будь-якої поверховості у випадку загрози їхньому життю й здоров'ю від небезпечних факторів пожежі [1]. Всі рятувальні пристрої можна умовно розділити на три групи: пристрої, що доправляються до місця пожежі пожежними підрозділами; стаціонарні рятувальні пристрої; індивідуальні рятувальні пристрої, які дозволяють рятуватися без сторонньої допомоги (різні види саморятувальників) [2]. Проведені дослідження й практика гасіння пожеж [3] свідчать, що на сьогоднішній день немає досить надійного та універсального рятувального пристрою, за допомогою якого можна було б за короткий час провести рятувальні роботи при пожежі у висотних будівлях. У цей час зусилля більшості дослідників і винахідників в області пожежної безпеки спрямовані на вдосконалювання конструкцій ручних вогнегасників й автоматичних установок виявлення й гасіння пожеж. Пожежі в будівлях підвищеної поверховості виникають найчастіше з вини людини, як правило, внаслідок недотримання правил пожежної безпеки й необережного поводження з вогнем [3].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз публікацій за даною темою свідчить, що забезпечення безпеки людей при пожежах у висотних будівлях здійснюється з використанням

декількох окремих підходів. По-перше це інженерні рішення які передбачаються на стадії проектування [1]. В багатьох публікаціях розглядається можливість скорочення часу перебування людей в небезпечній зоні за рахунок конструктивних особливостей будівлі. По-друге – забезпечення будівель засобами для рятування людей, які можуть бути використані без участі рятувальників. По-третє – це засоби рятування, що доставляють до палаючої будівлі, пожежними підрозділами. Всі підходи які розглядаються в публікаціях мають на меті скорочення часу проведення евакуації мешканців висотної будівлі при пожежі. Проте, кожен з наведених підходів має окремі переваги та недоліки.

У роботі [3] наведений підхід до розрахунку часу виконання аварійно-рятувальних робіт як функції кількості рятувальних підрозділів. При цьому вважається, що інтервал часу з моменту виникнення пожежі до моменту досягнення критичних значень небезпечних факторів пожежі у зоні знаходження людей є припустимим часом  $\tau_{np}$ . Необхідний час виконання рятувальних робіт час  $\tau_{необх}$  у даній роботі розраховується як різниця між припустимим часом  $\tau_{np}$  та часом зосередження підрозділів для проведення рятувальних робіт  $\tau_z$

$$\tau_{необх} = \tau_{np} - \tau_z. \quad (1)$$

Час зосередження технічних засобів у даній роботі представлений як середня величина між часом прибуття першого ( $\tau_{приб(1)}$ ) і останнього ( $\tau_{приб(n)}$ ) технічних засобів рятування.

Залежність часу проведення рятувальних робіт від кількості притягнутих технічних засобів з урахуванням часу їхнього зосередження у роботі [2] пропонується визначати з виразу

$$\tau = \tau_z + \frac{N_{(1)} \cdot \tau_{(1)}}{N}, \quad (2)$$

де:  $N_{(1)}$  - кількість технічних засобів, яке дорівнює одиниці;  $\tau_{(1)}$  - час потрібний для проведення рятувальних робіт одним технічним засобом;  $N$  - кількість технічних засобів рятування.

**Постановка завдання та його вирішення.** Теоретичне обґрунтування та технічне виконання рятувальних пристроїв для евакуації людей при пожежі є дуже різноманітними. Основним

показником, який впливає на успіх проведення рятувальних робіт, є час приведення рятувальних засобів у готовність. Від даного показника залежить час нарощування сил та засобів для проведення рятувальних робіт та час їх виконання в цілому. Тому особливо важливим є правильно розрахувати кількість рятувальних пристроїв, які зосереджуються першими підрозділами на місці пожежі.

Рятування людей розпочинається одразу після прибуття пожежно-рятувальних підрозділів на місце пожежі і відбувається одночасно з оперативним розгортанням. Тому, на нашу думку, запропонований у роботі [3] підхід до розрахунку часу проведення рятувальних робіт з висотних будівель є неприпустимим, адже він не враховує те, що на момент зосередження основної частини сил та засобів рятувальні роботи вже проводяться. До того ж, визначення часу зосередження як усередненого показника не враховує можливу різницю у оснащенні підрозділів засобами рятування. Тому дана методика не може використовуватись для планування оперативних дій пожежних підрозділів. Тому актуальним є створення методики розрахунку сил та засобів для проведення рятувальних робіт з висотних будівель, яка б визначила мінімально необхідну кількість пристроїв рятування при умові виконання рятувальних робіт до настання  $\tau_{np}$ .

При розробці даної методики були зроблені наступні припущення

- рятувальні роботи починаються одразу після приведення засобів рятування до готовності підрозділом, що першим прибуває на місце пожежі;
- рятувальні роботи тривають безперервно при поступовому нарощуванні сил та засобів;
- рятування відбувається з найвищої та найвіддаленішої точки будівлі;
- для рятування використовуються пристрої одного типу;
- час рятування однієї людини з найвіддаленішої точки будівлі  $\tau_{рят.}$  визначається для кожного типу рятувального пристрою до проведення розрахунку експериментальних шляхом.

Нехай до місця пожежі прибувають  $n$  пожежно-рятувальних підрозділів, які мають на оснащенні  $N$  рятувальних пристроїв. На місці пожежі необхідно урятувати  $N_n$  мешканців будинку. Час від повідомлення про пожежу до введення першого рятувального

пристрою позначимо як  $\tau_0$ . Рятування розпочинається одразу після приведення до готовності  $N_1$  рятувальних пристроїв першого підрозділу. Тоді, кількість врятованих людей до ведення рятувальних пристроїв другим підрозділом на момент часу  $\tau_1$  буде розраховуватись як

$$N_{л1} = \left( \frac{\tau_1 - \tau_0}{\tau_{\text{рят.}}} \right) \cdot N_1. \quad (3)$$

Отже, час проведення рятувальних робіт  $\tau_{\text{р.р.}}$  одним підрозділом буде визначатись як

$$\tau_{\text{р.р.}} = (\tau_1 - \tau_0) + \left( N_{л} - \left( \frac{\tau_1 - \tau_0}{\tau_{\text{рят.}}} \right) \cdot N_1 \right) \cdot \frac{\tau_{\text{рят.}}}{N_1}. \quad (4)$$

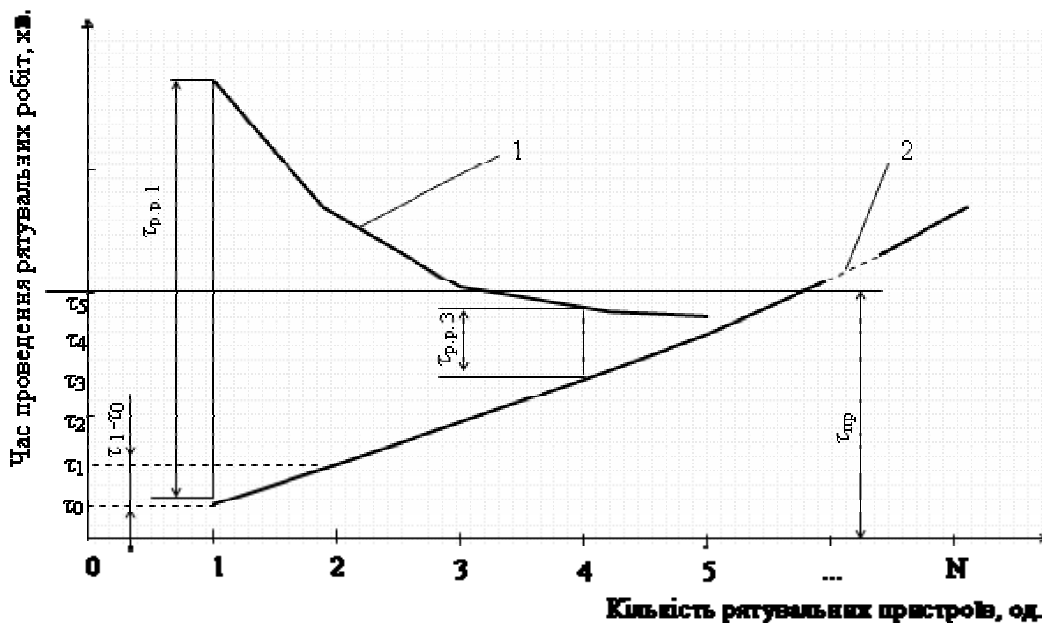


Рис. 1 – Графічна залежність часу проведення рятувальних робіт з висотної будівлі від кількості рятувальних пристроїв: 1 – залежність часу проведення рятувальних робіт від кількості рятувальних пристроїв; 2 – залежність кількості рятувальних пристроїв від часу.

У загальному вигляді час проведення рятувальних робіт буде визначатись як

$$\tau_{p.p.} = \sum_{i=1}^n (\tau_n - \tau_0) + \left( N_{n-1}^n - \left( \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{\tau_{\text{рят.}}} \right) \cdot N_{n-1} \right) \cdot \frac{\tau_{\text{рят.}}}{N_n}. \quad (5)$$

Залежність часу проведення рятувальних робіт за запропонованою методикою наведена на рис. 1.

Як видно з наведеного малюнка, для кожної окремої висотної будівлі може бути визначена кількість рятувальних пристроїв, за допомогою яких можливо провести увесь комплекс рятувальних робіт в межах припустимого часу.

**Висновки.** Запропонована методика дозволяє розраховувати кількість рятувальних пристроїв для висотних будівель, що необхідна для забезпечення необхідного часу проведення рятувальних робіт. Наведений підхід також може бути використаний при визначенні доцільного оснащення рятувальними засобами підрозділів, в районі виїзду яких є висотні будівлі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. В.М. Есин, В.И. Сидорук, В.Н. Токарев. Пожарная профилактика в строительстве. М.: ВИПТШ МВД РФ, 1995. – 352 с
2. Особенности ведения оперативно-тактических действий и проведение первоочередных аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожаров на различных объектах. Рекомендации М. ВНИИПО МВД РФ, 1997.
3. Терехнев В.В., Артемьев Н.С., Подгрушный А.В. Противопожарная защита и тушение пожаров. Книга 3: Здания повышенной этажности. – М.: Пожнаука, 2006. – 237 с.
4. Частина II Тимчасового Статуту дій у надзвичайних ситуаціях (Гасіння пожеж. Органи управління, пожежно-рятувальні підрозділи Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту) (наказ №96 від 07 лютого 2008 року).

УДК 614. 84

*Аветисян В.Г., канд. техн. наук, нач. каф., УГЗУ,  
Ковалев П.А., канд. техн. наук, зам. нач. каф., УГЗУ,  
Стрелец В.М., канд. техн. наук, нач. лаб., УГЗУ*

## **ЭКСПЕРТНЫЙ ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА ПОДГОТОВКИ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ**

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

Предложен подход выбора элементов учебно-тренировочного комплекса подготовки газодымозащитников, опирающийся на использование усовершенствованного метода распределения оценок экспертов по порядку

**Ключевые слова:** учебно-тренировочный комплекс, профессионально-важные качества, экспертная оценка, модифицированный метод распределения по порядку

**Постановка проблемы.** Обязательная огневая психологическая подготовка личного состава газодымозащитной службы [1] сопровождается противоречием между требованием Наставления по газодымозащитной службе о необходимости тренировки наиболее важных профессионально-важных качеств [2] и отсутствием количественных показателей, которые бы позволили учесть это при создании учебно-тренировочных комплексов (УТК).

**Анализ последних исследований и публикаций** показал, что похожая ситуация имеет место как в Украине, так и за рубежом. Так, в США основным является так называемый «Live fire» подход [3], при котором пожарные тушат учебные пожары на реальных (как правило, подлежащих ликвидации) объектах. Он характеризуется достаточно большой стоимостью, одноразовостью, сложностью решения организационных вопросов со страховыми компаниями и коммунальными службами. УТК, создаваемые в западно-европейских и американских государствах, делятся на стационарные и мобильные. При этом стационарные [4,5] в основном имитируют реальные типовые объекты или же используются для обучения поведению в условиях высокой температуры [6]. В качестве классического можно рассматривать стационарный комплекс, созданный фирмой «Dräger» [7], в котором сочетаются типо-



вые работы, выполняемые как в жилых зданиях, так и на промышленных объектах. В то же время, выбор конкретного перечня операций, а также их количества никаким образом не обосновывается. Такая же ситуация имеет место и в случае использования мобильных УТК, которые фактически тренируют только способность ориентироваться в пространстве [8]. И только в последнее время они стали добавляться конструктивными элементами, которые позволяют отрабатывать элементы высотно-спасательной подготовки [9]. В России и в Украине наряду с использованием теплодымокамер, которые фактически дублируют УТК фирмы «Dräger», используют и полосы огневой психологической подготовки [10]. Конструктивные элементы последних учитывают характер работы (объектовый или местный) спасателей, которые будут привлекаться к проведению занятий. Однако и при их создании количественные показатели, характеризующие типовые действия спасателей и необходимые профессионально-важные качества газодымозащитников, не рассматриваются. Соответственно, не учитывается и то, что разные типовые процессы, обеспечивающие проведение аварийно-спасательных работ, требуют и свой набор качеств от личного состава [11].

**Постановка задачи и ее решение.** Исходя из вышеизложенного, была поставлена задача разработки способа, реализация которого позволила бы при выборе элементов УТК обеспечить учет одновременно как веса типовых процессов, которые выполняют газодымозащитники, так и веса необходимых для этого профессионально-важных качеств.

Поскольку приведенный выше анализ показал, что все существующие подходы к созданию учебно-тренировочных комплексов в той или иной мере опираются на экспертную оценку разработчиков или заказчиков, за основу получения количественных оценок, которые будут лежать в основе выбора конкретных элементов учебно-тренировочного комплекса, был выбран экспертный метод принудительного распределения по порядку [12].

Это позволило при выборе видов (*i*) боевой работы, которые подлежат подробному рассмотрению, в основу положить перечень [13] основных видов боевой деятельности личного состава аварийных служб: 1) дежурство; 2) сбор по тревоге и выезд к месту аварийной ситуации; 3) разведка места аварии; 4) развертывание специального технического оборудования и подготовка его к работе; 5) деятельность личного состава в помещениях, которые имеют

---

Экспертный выбор элементов учебно-тренировочного комплекса подготовки газодымозащитников

сложные конструктивно-планировочные решения (например, в подвалах), 6) боевая работа на высоте; 7) свертывание специального оборудования и возвращение на базу.

Учитывая особенности реализации метода принудительного распределения по порядку, предполагается ранжирование экспертами основных видов боевой работы по важности их для боевых действий ГДЗС в целом. При этом для каждого вида боевой работы указывается вес, исходя из того, что наименее важному виду приписан вес, равный единице. Таким образом, относительный вес каждого вида боевой работы рассчитывается как

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad (1)$$

где  $a_{ij}$  - оценка  $i$ -го вида боевой работы, данная  $j$ -ым экспертом;  $n$  - число рассматриваемых видов боевой работы ( $n=7$ );  $m$  - число экспертов.

По аналогии с (1) относительный вес  $q$ -ого качества (в соответствии с [13] можно выбрать 12 конкретных профессионально-важных качеств), которым должен обладать газодымозащитник при выполнении  $i$ -ого вида боевой работы, определяется как

$$\omega_i^{(q)} = \frac{\sum_{j=1}^m b_{ij}^{(q)}}{\sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^p b_{ij}^{(q)}}, \quad (2)$$

где  $b_{ij}^{(q)}$  - оценка  $q$ -ого качества, которое необходимо для выполнения  $i$ -ого вида боевой работы, данная экспертом  $j$ ;  $p$  - число рассматриваемых качеств ( $p=12$ ).

Использование полученных относительных весов (1) и (2) проранжированных экспертных оценок позволяет усовершенствовать существующий [12] экспертный метод принудительного распределения по порядку, поскольку дает возможность получить результирующие оценки каждого качества с учетом значимости рассматриваемых видов боевой работы личного состава ГДЗС

$$\varpi^{(q)} = \sum_{i=1}^n (\omega_i \cdot \varpi_i^{(q)}) = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^m \alpha_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m b_{ij}^{(q)}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^p b_{ij}^{(q)}}. \quad (3)$$

Согласованность экспертов должна быть проверена с помощью [12] общего коэффициента ранговой корреляции для группы, состоящей из  $m$  экспертов (коэффициента конкордации)

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} - \frac{1}{2} \cdot m \cdot (n+1) \right\}^2}{m^2 \cdot (n^3 - n)}. \quad (4)$$

В случае выбора видов боевой работы в соответствии с [12] он рассчитывается как

$$W = \frac{\sum_{i=1}^7 \left( \sum_{j=1}^{18} \alpha_{ij} - 72 \right)^2}{504}. \quad (5)$$

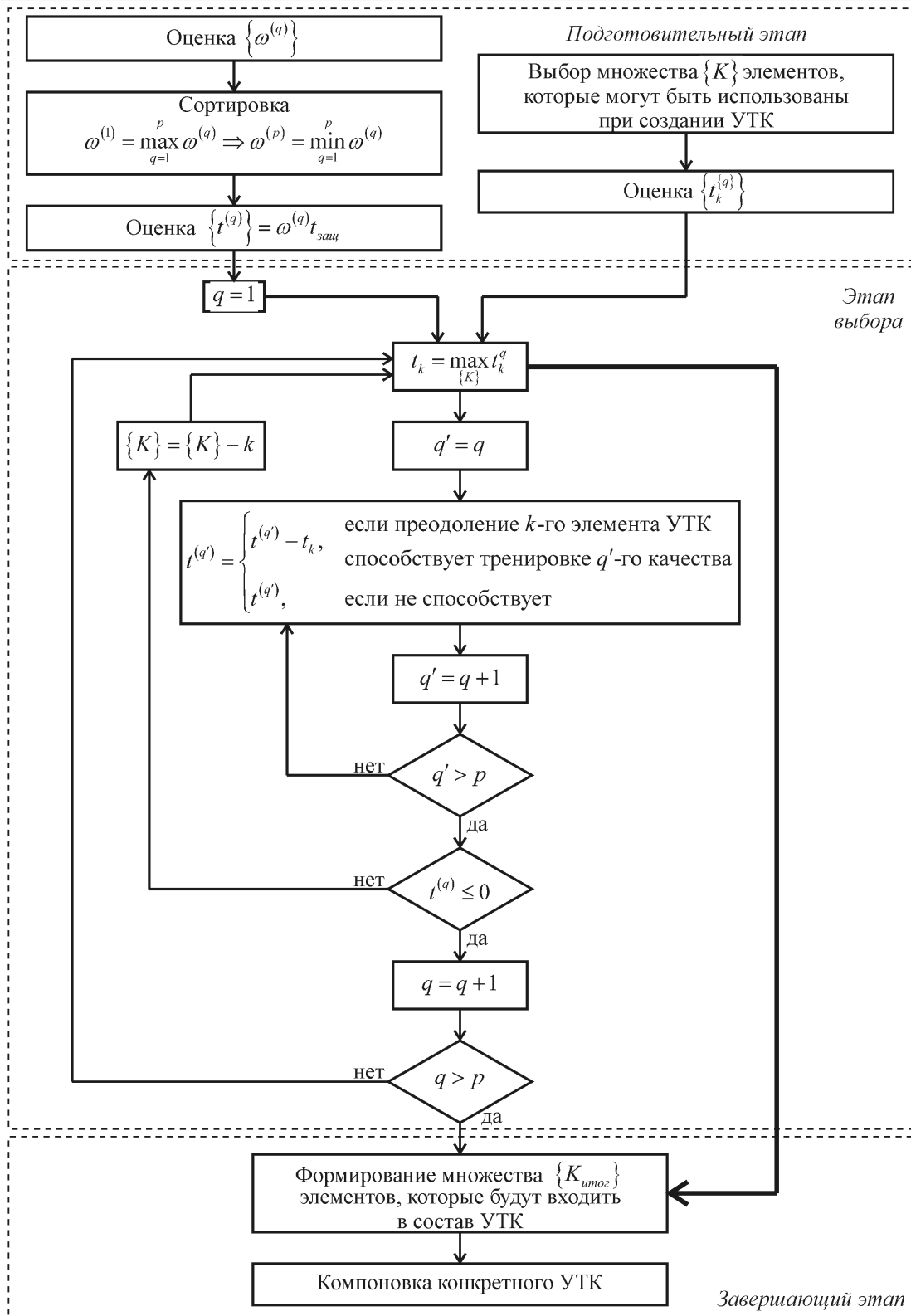
Когда рассматриваются необходимые для  $i$ -ой боевой работы качества [13], для расчета можно использовать выражение

$$W_i = \frac{\sum_{q=1}^{12} \left( \sum_{j=1}^{18} b_{ij}^{(q)} - 117 \right)^2}{2574}. \quad (6)$$

При использовании критерия  $\chi^2$  на согласованную экспертную оценку при анализе видов боевой работы укажет [12] значение

$$\chi^2 = (n-1) \cdot m \cdot W \geq \chi_{табл}^2 = 16.8, \quad (7)$$

определяемое числом степеней свободы  $\nu = n - 1 = 6$  и уровнем доверительной вероятности  $P = 0.99$ .



**Рис. 1 – Алгоритм выбора элементов, из которых будет создан УТК**

Имея результирующие оценки (3) каждого качества с учетом значимости рассматриваемых видов боевой работы личного состава ГДЗС, процесс формирования множества элементов, которые целесообразно включить в состав УТК, может быть представлен в виде алгоритма (см. рис. 1), который состоит из трех этапов.

В ходе подготовительного этапа наряду с оценкой каждого качества с учетом значимости рассматриваемых видов боевой работы (3) осуществляется сортировка этих оценок по величине (от максимальной к минимальной). После чего, учитывая время защитного действия изолирующих аппаратов  $t_{защ}$ , определяется время, которое должно быть уделено в ходе практических занятий тренировкам  $q$ -ого качества

$$t^{(q)} = \omega^{(q)} \cdot t_{защ}. \quad (8)$$

Учебно-тренировочный комплекс представляет собой совокупность  $K$  элементов. Каждый  $k$ -ый элемент УТК эксперты оценивают как временем  $t_k$ , которое необходимо для его прохождения в изолирующем аппарате, так и набором  $\{q^{(k)}\}$  качеств, которые тренируются во время его прохождения газодымозащитником. При этом они фактически формируют множество  $\{t_k^{(q)}\}$ .

Этап непосредственного выбора начинается с того, что множество  $k$ -ых элементов УТК анализируется на предмет того, насколько они способствуют тренировке наиболее весомого качества (после сортировки это соответствует установлению параметра  $q = 1$ ). Выбирается такой элемент УТК, который обеспечит как тренировку рассматриваемого качества, так и наибольшее время работы газодымозащитника при его прохождении

$$t_k = \max_{\{K\}} t_k^q. \quad (9)$$

После этого отобранный элемент УТК отправляется в блок формирования множества  $\{K_{итог}\}$  тех элементов, из которых и будет состоять создаваемый комплекс. Учитывая то, что при прохождении рассматриваемого элемента могут тренироваться одновременно несколько качеств, оценивается время, которое еще надо

использовать для тренировки как рассматриваемого, так и других качеств

$$t^{(q)} = \begin{cases} t^{(q)} - t_k, & \text{если преодоление } k\text{-ого элемента УТК} \\ & \text{способствует тренировке } q\text{-ого качества;} \\ t^{(q)}, & \text{если не способствует.} \end{cases} \quad (10)$$

Отбор элементов

$$\{K\} = \{K\} - k \quad (11)$$

осуществляется до тех пор, пока не будет израсходовано время, выделенное на тренировку наиболее весомого качества. После чего осуществляется переход к анализу следующего по значимости качества. Количество отобранных элементов ограничивается временем защитного действия изолирующего аппарата, в котором тренируются газодымозащитники.

После этого из отобранных элементов komponуется конкретный УТК. При этом разработчики учитывают дополнительные требования, связанные, например, с тем, что последний элемент УТК должен позволить завершить его прохождение звеном ГДЗС и тогда, когда у кого-то из них запас газовой смеси закончится ранее расчетного.

**Выводы.** Усовершенствован экспертный метод принудительного распределения по порядку. Его использование позволяет получить результирующие оценки, которые при выборе элементов УТК обеспечат учет одновременно как веса типовых процессов, которые выполняют газодымозащитники, так и веса необходимых для этого профессионально-важных качеств.

Обоснован алгоритм отбора возможных элементов, которые целесообразно включить в состав создаваемого УТК.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по организации и проведению занятий в изолирующих противогазах с личным составом газодымозащитной службы пожарной охраны МВД СССР – М.; ВНИИПО и ГУПО МВД СССР, 1990 – 117 с.

2. Настанова з газодимозахисної служби пожежної охорони МВС України. Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. – Київ, 1994. – 128 с.
3. Firefighter Recruit Training Program – Режим доступа: <http://www.jobmonkey.com/firefighting/firefighter-recruit-training.html>
4. Кучер С.В., Савин В.М. Зарубежные учебно-тренировочные комплексы для подготовки пожарных-газодымозащитников: Обзорная информ. - М.: ВНИИПО МВД СССР, 1991. - 31 с.
5. Agile training facility suits firefighters – Режим доступа: <http://www.thefreelibrary.com/Agile+training+facility+suits+firefighters-a0143215430>
6. Flashover simulation for firefighter training - United States Patent 5316484 – Режим доступа: <http://www.freepatentsonline.com/5316484.html>
7. Стационарные тренажерные комплексы Dräger – Режим доступа: [http://www.draeger.ru/ST/internet/RU/ru/Industries/Fire/Training/Stationary/ts\\_stationary\\_tg.jsp](http://www.draeger.ru/ST/internet/RU/ru/Industries/Fire/Training/Stationary/ts_stationary_tg.jsp)
8. Кучер С.В., Савин В.М. Передвижные учебно-тренировочные комплексы // Пожарное дело. – 1995 – № 37 – С. 32-33.
9. Mobile firefighter training equipment - United States Patent 4526548 – Режим доступа: <http://www.freepatentsonline.com/4526548.html>
10. Самонов А.П. Психологическая подготовка пожарных - М. Стройиздат, 1987 - 167с.
11. Дутов В.И., Чурсин И.Г. Психофизиологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре - М., 1993. - 231с.
12. Бешелов С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок – М.: Статистика, 1974. – 264 с.
13. Пожежна тактика: Підручник / Ключ П. П, Палюх В. Г., Пустовий А. С., Сенчихін Ю. М., Сыровий В. В. – Х.: Основа, 1998. – 592 с.

УДК 614.8

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

## **РОЗРАХУНОК РОЗМІРІВ ЗОНИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ АЕРОСТАТІВ ТА АЕРОЗОНДІВ ПОВІТРЯНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СТАНОМ ТЕРИТОРІЇ**

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

На прикладі оптичного контролю протипожежного стану лісових масивів розраховано розміри можливої зони спостереження прив'язаних аеростатів (аерозондів), що використовуються для цілодобового повітряного спостереження за станом території, в залежності від висоти нижньої межі хмар та метеорологічної дальності видимості

**Ключові слова:** аеростат, аерозонд, повітряне спостереження, хмарність, метеорологічна дальність видимості

**Постановка проблеми.** Забезпечення захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайної ситуації (НС), забезпечення гарантованого рівня безпеки особистості, суспільства і держави є одним з найважливіших завдань державної політики у сфері цивільного захисту [1].

Одним з обов'язків цивільного захисту є своєчасне виявлення місць виникнення НС. Для цього, зокрема, використовуються літаки різних класів. В роботі [2] для забезпечення цілодобового спостереження за станом території пропонується використання прив'язаних аеростатів та аерозондів. Однак ефективність їх застосування суттєво залежить від погодних умов, перш за все хмарності та метеорологічної дальності видимості.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз світових та вітчизняних тенденцій розвитку повітроплавних засобів, проведений в [2] свідчить, що у сучасних умовах зацікавленість до використання літальних апаратів, легших за повітря, з метою виконання завдань повітряного спостереження невідмінно зростає. При цьому відкритим залишається питання щодо ефективності їх застосування.

---

Акулов В.М., Кулаков О.В., Райз Ю.М., Сацюк Д.В., Чорний С.В.



**Постановка завдання та його вирішення.** Проаналізуємо вплив хмарності на ефективність застосування аеростатів та аерозондів для цілодобового повітряного спостереження за станом території на прикладі спостереження за протипожежним станом лісових масивів Харківської області (лісова пожежа – один з видів НС). Під ефективністю застосування будемо розуміти розмір можливої зони спостереження.

Розмір можливої зони спостереження аеростату або аерозонду визначається потенційно можливою (геометричною) дальністю спостереження  $D_{II}$  та дальністю дії  $D_O$  обладнання, яке встановлено. Потенційно можлива дальність спостереження  $D_{II}$  залежить від висоти підйому засобу спостереження  $H$  та з урахування кривизни земної поверхні визначається за формулою [3] (відстані вимірюються у км)

$$D_{II} \approx 113 \cdot \sqrt{H}. \quad (1)$$

Фактична дальність спостереження  $D_\phi$  може бути визначена як мінімальна з величин  $D_{II}$  та  $D_O$

$$D_\phi = \min[D_{II}, D_O]. \quad (2)$$

Для оптичних засобів спостереження додатковими факторами, що впливають на величину  $D_\phi$ , є висота нижньої межі хмар (аеростат або аерозонд повинний знаходитися не вище нижньої межі хмар) та метеорологічна горизонтальна дальність видимості (обмежує дальність дії  $D_O$  оптичного обладнання, яке встановлено).

На рис. 1 наведено висоти (середні, максимальні та мінімальні) нижньої межі хмар по місяцях 2008 року для Харківської області (за метеорологічними даними [4]) та криві їх апроксимації поліномом шостого порядку за методом найменших квадратів: середне значення:

$$H_C = 0,0348 \cdot t^6 - 1,1939 \cdot t^5 + 14,2600 \cdot t^4 - 65,1550 \cdot t^3 + 9,7188 \cdot t^2 + 765,5800 \cdot t - 11,3680, \quad (3)$$

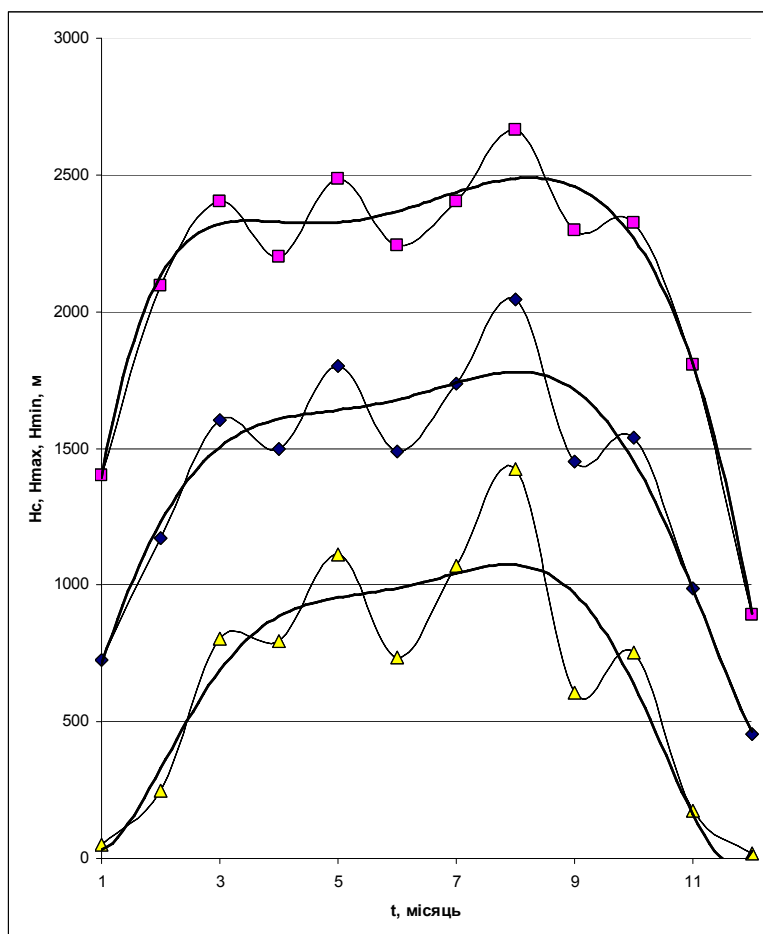
де  $t$  - час,

максимальне значення:

$$H_{MAX} = 0,0947 \cdot t^6 - 3,5095 \cdot t^5 + 49,8390 \cdot t^4 - 340,2800 \cdot t^3 + 1113,6000 \cdot t^2 - 1306,2000 \cdot t + 517,7100, \quad (4)$$

мінімальне значення:

$$H_{MIN} = -0,0251 \cdot t^6 + 1,1217 \cdot t^5 - 21,3200 \cdot t^4 + 209,9700 \cdot t^3 - 1094,2000 \cdot t^2 + 2837,4000 \cdot t - 540,4500. \quad (5)$$



**Рис. 1 – Висота нижньої межі хмар по місяцях 2008 року для Харківської області**

Поліноміальна апроксимація середнього значення висоти нижньої границі хмар  $H_C$  отримана безпосередньо з метеорологічних даних шляхом їх усереднення за часом (487 відліків на ко-

жен місяць). Максимальне  $H_{MAX}$  та мінімальне  $H_{MIN}$  значення висоти нижньої межі хмар отримані шляхом відповідно додавання або віднімання середньоквадратичного відхилення висоти.

На рис.2 наведено метеорологічні дальності видимості (середню, максимальну та мінімальну) по місяцях 2008 року для Харківської області (за метеорологічними даними [4]) та криві їх апроксимації поліномом шостого порядку за методом найменших квадратів:

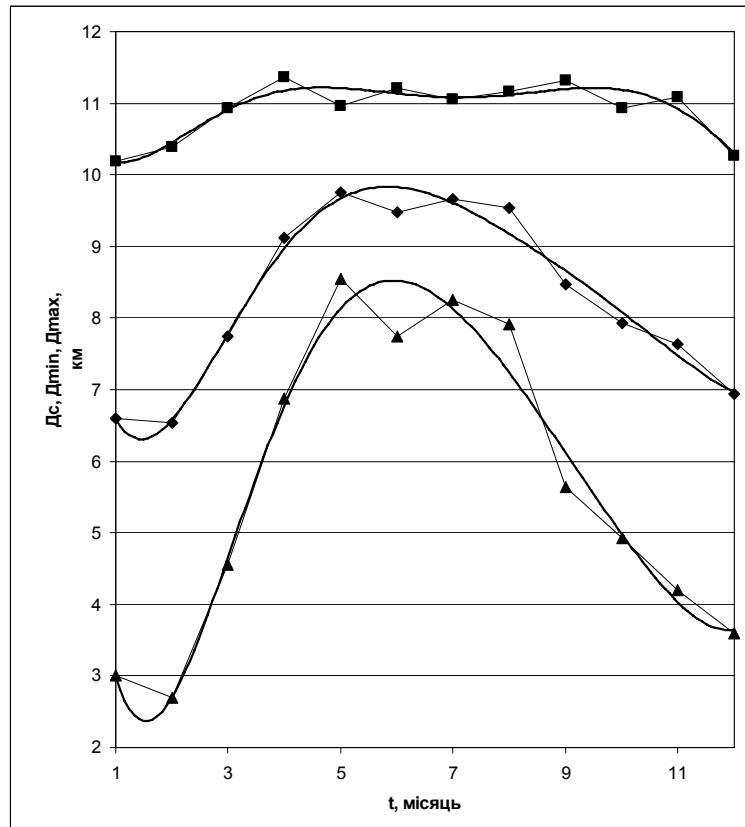


Рис. 2 – Метеорологічна дальність видимості по місяцях 2008 року для Харківської області

середнє значення:

$$D_c = 0,0001 \cdot t^6 - 0,0050 \cdot t^5 + 0,0911 \cdot t^4 - 0,8333 \cdot t^3 + 3,7461 \cdot t^2 - 6,6352 \cdot t + 10,2210, \quad (6)$$

максимальне значення:

$$D_{MAX} = 0,0001 \cdot t^6 - 0,0003 \cdot t^5 + 0,0495 \cdot t^4 - 0,3868 \cdot t^3 + 1,4244 \cdot t^2 - 1,9429 \cdot t + 11,0330, \quad (7)$$

мінімальне значення:

$$D_{MIN} = 0,0001 \cdot t^6 - 0,0069 \cdot t^5 + 0,1328 \cdot t^4 - 1,2798 \cdot t^3 + 6,0678 \cdot t^2 - 11,3280 \cdot t + 9,4092. \quad (8)$$

Показники  $D_C$ ,  $D_{MAX}$ ,  $D_{MIN}$  визначаються аналогічно відповідним показниками висоти нижньої межі хмар.

В табл. 1 приведено середні висоти нижньої межі хмар  $H_C$ , потенційно можливу дальність спостереження  $D_{II}$  (розрахована за формулою (1)) та середню метеорологічну дальність видимості  $D_C$  по місяцях 2008 року для Харківської області.

**Таблиця 1 – Середні висоти нижньої межі хмар  $H_C$ , потенційно можливі дальності спостереження  $D_{II}$  та середні метеорологічні дальності видимості  $D_C$  по місяцях 2008 року для Харківської області**

Час, місяць	1	2	3	4	5	6
Середня висота нижньої межі хмар $H_C$ , км	0,72	1,17	1,60	1,50	1,80	1,48
Потенційно можлива дальність спостереження $D_{II}$ , км	96,08	122,2	142,9	138,1	151,4	137,6
Середня метеорологічна дальність видимості $D_C$ , км	6,6	6,5	7,7	9,1	9,7	9,4

#### Продовження таблиці 1

Час, місяць	7	8	9	10	11	12
Середня висота нижньої межі хмар $H_C$ , км	1,73	2,04	1,45	1,54	1,00	0,45
Потенційно можлива дальність спостереження $D_{II}$ , км	148,7	161,4	135,9	140,0	112,3	76,2
Середня метеорологічна дальність видимості $D_C$ , км	9,6	9,5	8,4	7,9	7,6	6,9

Аналіз даних в табл. 1 дозволяє зробити висновок, що у разі застосування оптичних засобів спостереження згідно формули (2)

фактична дальність спостереження  $D_{\phi}$  буде визначатися середньою метеорологічною дальністю видимості  $D_C$  (за даними [5, 6] дальність дії  $D_O$  обладнання, яке встановлюється на аеростатах або аерозондах, перебільшує значення 10 км).

Радіус зони спостереження аеростату або аерозонду на рівні землі можливо визначити з геометричних міркувань за формулою

$$R_C = \sqrt{D_C^2 - H_C^2}. \quad (9)$$

Площу зони спостереження аеростату або аерозонду можливо визначити як площу кола за формулою

$$S_C = \pi \cdot R_C^2. \quad (10)$$

У табл. 2 приведено результати розрахунку  $R_C$  та  $S_C$  по місяцях 2008 року.

**Таблиця 2 – Радіус зони спостереження  $R_C$  та площа зони спостереження  $S_C$  аеростату або аерозонду по місяцях 2008 року для Харківської області**

Час, місяць	1	2	3	4	5	6
Радіус зони спостереження $R_C$ , км <sup>2</sup>	6,56	6,39	7,53	8,98	9,53	9,28
Площа зони спостереження $S_C$ , км <sup>2</sup>	135,1	128,2	178,0	253,2	291,2	270,4

#### Продовження таблиці 2

Час, місяць	7	8	9	10	11	12
Радіус зони спостереження $R_C$ , км <sup>2</sup>	9,44	9,28	8,27	7,75	7,53	6,89
Площа зони спостереження $S_C$ , км <sup>2</sup>	279,8	270,4	214,8	188,6	178,0	149,1

За метеорологічними умовами 2008 року у Харківській області протягом року середня площа зони спостереження одного аеростату або аерозонду при застосуванні оптичних засобів спостереження складала 211,4 км<sup>2</sup>.

Розрахунок розмірів зони спостереження аеростатів та аерозондів повітряного спостереження за станом території

Для лісових масивів за даними [1] найбільш пожежонебезпечним періодом є квітень-вересень. Середня площа зони спостереження одного аеростату або аерозонду у цей період при застосуванні оптичних засобів спостереження складала 263,3 км<sup>2</sup>.

**Висновки.** Проведені розрахунки показують, що використання прив'язних аеростатів (аерозондів) при застосуванні оптичних засобів спостереження дозволяє вести одним аеростатом (аерозондом) щорічне цілодобове безперервне спостереження за ділянкою площею близько 210 квадратних кілометрів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки України у 2008 році. // Сайт МНС України [www.mns.gov.ua](http://www.mns.gov.ua).
2. Використання аеростатів та аерозондів для повітряного спостереження за станом території / Акулов В.М., Кулаков О.В., Райз Ю.М., Сацюк Д.В., Чорний С.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій: Сб. науч. тр. УЦЗ України. Вып. 8. – Харьков: Фолио, 2008. с. 7-12.
3. Авиационное радиоэлектронное оборудование. Под ред. Н.Т. Василенко. – М.: ВВИА им. Н.Е.Жуковського. - 264 с.
4. Архів погоди // Сайт [www.gismeteo.ua/city/](http://www.gismeteo.ua/city/).
5. Номенклатура аеростатів фірми TARS // Сайт [www2.acc.af.mil](http://www2.acc.af.mil).
6. Аеростати фірми BOSCHAERO // Сайт [www.boschaero.com](http://www.boschaero.com).

*Альбошій О.В., канд. військ. наук, заст. нач. каф., УЦЗУ*

## **ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЧАСУ БОЙОВОГО РОЗГОРТАННЯ ЯК ФУНКЦІЇ БОЙОВОГО ВИШКОЛУ ОСОБОВОГО СКЛАДУ**

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

В статті розглядається задача визначення функціональної залежності часу бойового розгортання бойових розрахунків від рівня бойового вишколу. Для цього пропонується застосування методів теорії планування експерименту та наводиться методичний підхід до її розв'язання.

**Ключові слова:** бойовий вишкіл, бойове розгортання, експеримент, параметри

**Постановка проблеми.** Інтервал часу від моменту отримання черговим підрозділом пожежно-рятувальної частини повідомлення про пожежу до моменту подачі вогнегасної речовини на гасіння має бути якомога коротшим, адже впродовж цього часу йде вільний розвиток пожежі. Даний інтервал часу складається з ряду етапів, одним з яких є час бойового розгортання. Він, в значній мірі, визначає тактичний успіх при гасінні пожеж та залежить від рівня бойового вишколу особового складу.

При плануванні заходів бойової підготовки пожежно-рятувальних підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту, постає питання про оцінювання планового рівня бойового вишколу як функції виду та кількості навчальних заходів. В свою чергу, важливо вміти оцінювати показники бойової роботи як функцію рівня бойового вишколу.

Задачу оцінювання планового рівня бойового вишколу як функції виду та кількості навчальних заходів розглядалася в ряді робіт [1, 3]. Залежність же показників бойової роботи від рівня бойового вишколу потребує подальших теоретичних досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальні питання визначення впливу рівня підготовки органів управління та підрозділів на ефективність бойової роботи, як задачі військово-економічного аналізу, розглянуто в [1, 3]. Питання застосування відповідних методів до аналізу підготовки підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту знайшли відображення в

---

Підхід до оцінювання часу бойового розгортання як функції бойового вишколу особового складу

[2, 4]. В даних роботах обґрунтовані показники рівня навченості, визначені підходи до формалізації задачі розробки системи навчальних заходів (планів підготовки). В той же час показники рівня навченості розглядаються без їх зв'язку з кінцевим показником ефективності бойової роботи. Разом з тим рівень підготовки безпосередньо визначає результати бойової роботи. Але функціональна залежність показників ефективності бойової роботи від рівня підготовки особового складу для підрозділів оперативно-рятувальної служби залишається не визначеною.

**Постановка завдання та його вирішення.** Виконання всього комплексу планових заходів підготовки пожежно-рятувальних підрозділів забезпечує певний рівень бойового вишколу особового складу. Позначимо його як  $P_{\text{бв}}$ . За своїм значенням – це ймовірність того, що особовий склад виконає безпомилково та своєчасно всі дії, необхідні для виконання бойової задачі. Необхідно встановити характер функціональної залежності часу бойового розгортання розрахунку караулу від рівня бойового вишколу.

Апріорно задамося, що дана залежність носить нелінійний характер. Її вид можна встановити застосовуючи теорію планування експерименту. Для цього необхідно спланувати експеримент, який дозволить отримати оцінки невідомих параметрів даної функціональної залежності.

Для вибору виду апріорної залежності сформулюємо вимоги до неї.

1. Функція  $T_{\text{бв}} = f(P_{\text{бв}})$  повинна бути монотонно спадаючою функцією. При цьому перша похідна  $T'_{\text{бв}} < 0$ , а друга похідна  $T''_{\text{бв}} > 0$ . Причому швидкість спадання повинна сповільнюватися.

2. При початковому рівні бойового вишколу  $P_0$  час розгортання повинен дорівнювати деякому максимальному значенню  $T_{\text{max}}$ , а при рівні вишколу рівному одиниці – деякому мінімальному можливому  $T_{\text{min}}$ , який залежить від озброєння.

3. Залежність повинна мати достатньо просту структуру.

Виходячи з цих вимог можна зробити висновок, що дана функція повинна мати 3 параметри. Два параметри зв'язані з початковими умовами, а третій забезпечує вибір конкретної функції із множини можливих.



Серед великої кількості трьохпараметричних функцій, що задовольняють визначеним вимогам, доцільно взяти функцію виду

$$T_{\bar{b}p} = A \cdot e^{-C \cdot P_{\bar{b}e}} + B.$$

Задача полягає у визначенні невідомих параметрів  $A, B, C$ . При визначенні цих параметрів необхідно дотримуватися двох умов

$$\begin{cases} T_{\bar{b}p/P_0} = T_{\max}, \\ T_{\bar{b}p/P_{\bar{b}e}=1} = T_{\min}. \end{cases}$$

Для того, щоб оцінити усі три параметри необхідно мати третю умову. Її можна сформулювати, використовуючи результати експерименту.

Експеримент полягає в тому, що бойові розрахунки із заздалегідь відомим рівнем вишколу будуть проводити бойове розгортання. В процесі цього необхідно заміряти час розгортання.

З теорії планування експериментів відомо, що існує деякий оптимальний рівень вишколу, при якому необхідно проводити експеримент, щоб оцінити невідомі параметри з максимальною точністю. Визначити такий рівень вишколу можна аналізуючи інформаційну матрицю Фішера, яка представляє собою матрицю похідних функції, що розглядається, по невідомим параметрам.

Запишемо похідні функції для нашого випадку.

$$\begin{cases} \frac{\partial T_{\bar{b}p}}{\partial A} = e^{-C \cdot P_{\bar{b}e}}, \\ \frac{\partial T_{\bar{b}p}}{\partial B} = 1, \\ \frac{\partial T_{\bar{b}p}}{\partial C} = -A \cdot P_{\bar{b}e} \cdot e^{-C \cdot P_{\bar{b}e}}. \end{cases}$$

Інформацію про параметр  $A$  можна отримати при  $P_{\bar{b}e} = P_0$ , тобто при початковому рівні вишколу. Значення параметра  $B$  від величини  $P_{\bar{b}e}$  не залежить. Параметр  $C$  нелінійно залежить від

рівня вишколу та має екстремум всередині інтервалу  $[P_0, 1]$ . Це дає підставу замість повного аналізу інформаційної матриці Фішера проаналізувати лише вплив  $P_{\sigma\sigma}$  на оцінку параметра  $C$ .

Максимум інформації про параметр  $C$  буде мати місце при такому рівні вишколу, який визначається із умови

$$\frac{\partial}{\partial P_{\sigma\sigma}} \cdot \left( \frac{\partial T_{\sigma p}}{\partial C} \right) = 0.$$

Вилучаючи з виразу для похідної параметр  $A$  як постійний множник маємо

$$\frac{\partial}{\partial P_{\sigma\sigma}} \cdot \left( \frac{\partial T_{\sigma p}}{\partial C} \right) = e^{-C \cdot P_{\sigma\sigma}} - P_{\sigma\sigma} \cdot C \cdot e^{-C \cdot P_{\sigma\sigma}} = 0,$$

$$e^{-C \cdot P_{\sigma\sigma}} (1 - P_{\sigma\sigma} \cdot C) = 0.$$

Так як  $e^{-C \cdot P_{\sigma\sigma}} \neq 0$ , то прирівнюємо нулю вираз у дужках, тобто  $(1 - P_{\sigma\sigma} \cdot C) = 0$ . А звідси маємо

$$P_{\sigma\sigma} = P^{opt} = \frac{1}{C}.$$

Як часто буває у випадку нелінійної параметризації функції, що відшукується, для визначення оптимальних умов експерименту необхідно знати істинне значення параметру цієї залежності. В цій суперечливій ситуації доцільним є наступний порядок дій.

1. На основі всієї апріорної інформації про очікуване значення параметру провести невелику кількість експериментів та приблизно оцінити його.

2. Використовуючи знайдене значення параметру уточнити умови проведення експерименту та провести послідовний обсяг дослідів.

В нашому випадку цю процедуру можна конкретизувати таким чином.

1. Відібрати невелику групу бойових розрахунків з рівнем навченості, рівному, наприклад,  $P_{\sigma\sigma} = P^*$ .

При формуванні такої початкової групи досліджуваних необхідно пам'ятати, що метою даного етапу досліджень є одержання першого наближення значення невідомого параметра. Тому кількість бойових розрахунків на даному етапі може бути невеликим, в межах 10...15. Рівень вишколу розрахунків, з якого їх необхідно вибирати суттєвого значення не має. Хоча доцільно взяти його ближчим до лівої межі.

За отриманими результатами необхідно розрахувати час бойового розгортання кожного розрахунку  $T_i$  як середнє значення по кількості дослідів ( $m$ ).

$$T_i = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m T_j.$$

За цими результатами необхідно розрахувати середнє значення часу бойового розгортання за всіма досліджуваними бойовими розрахунками.

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_i.$$

Розв'язуючи систему рівнянь, отримаємо перше наближення невідомих параметрів  $A, B, C$ .

$$\begin{cases} A \cdot e^{-C \cdot P_0} + B = T_{\max} \\ A \cdot e^{-C} + B = T_{\min} \\ A \cdot e^{-C \cdot P^{opt}} + B = T_{бр}^* \end{cases}.$$

2. Уточнити рівень вишколу розрахунків, при якому необхідно проводити оптимальні досліді, за результатами яких будуть отримані найбільш точні оцінки параметрів

$$P^{opt} = \frac{1}{C}.$$

При отриманому рівні вишколу провести досліді, аналогічно п. 1 та отримати остаточні значення шуканих параметрів  $A, B, C$ .

---

Підхід до оцінювання часу бойового розгортання як функції бойового вишколу особового складу

3. Для практичних цілей подальше збільшення числа ітерацій не дає суттєвого підвищення точності визначення параметрів.

**Висновки.** Застосовуючи теорію планування експерименту, можна встановити вид функціональної залежності часу бойового розгортання від рівня бойового вишколу особового складу пожежно-рятувальної частини та оцінити параметри даної залежності. Знання даної функціональної залежності є необхідним при розв'язанні двох взаємозворотних задач: визначення рівня бойових можливостей підрозділу як функції бойового вишколу особового складу; розробка плану начальних заходів, необхідних для підготовки особового складу з заданим рівнем вишколу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ. – М.: Воениздат, 2001 – 440 с.
2. Альбощій О.В. Підходи до визначення впливу рівня підготовки особового складу підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту на ефективність їх професійно-службової діяльності // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Харків: УЦЗУ, - 2006. Вип. 4. – С.34–41.
3. Климов С.Б. Повсякденна діяльність військ і можливий варіант її оптимізації // Наука і оборона. 1999. - № 3 С.30-35.
4. Альбощій А.В., Забула О.Е. Анализ подходов к военно-экономическому обоснованию планов боевой подготовки. Збірник наукових праць ХВУ. – Харків: ХВУ, 2001. – Вип.. 2 (32). – С.87-89.
5. Джонсон Н. Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1981. – 520 с.

*Бабич О.С., канд. техн. наук, доц., ДДАУ*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ БАЛОННИХ АЕРОЗОЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРІВ**

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

Однією з головних проблем в ветеринарній санітарії є механізація проведення робіт з знезараження на об'єктах з складним обладнанням та на території сільськогосподарського призначення. Задовольнити поставлені вимоги можливо застосуванням балонних аерозольних генераторів (БАГ), що використовують енергію газів, які утворюються при згорянні твердих газифікуючих сполук (ТГС).

**Ключові слова:** знезараження, балонний аерозольний генератор, надзвичайна ситуація

**Постановка проблеми.** Досягнення в області синтезу нових пестицидів і зростання хімічної промисловості зумовили розвиток, а також повсюдне розповсюдження хімічних методів знезараження і боротьби з членистоногими. У процесах дезінфекції хімічний метод став домінуючим. Враховуючи його універсальність і швидкість застосування, можна вважати, що подібне положення збережеться і в майбутньому.

При використанні дезінфектантів або інсектицидів зазвичай представляють інтерес три чинники: кількість споживаної енергії, витрата препаратів, витрата часу. Ці чинники визначають економічну доцільність вживаного способу дезінфекції.

Умовами використання хімічного методу дезінфекції є, по-перше, наявність речовин, що мають специфічні бактерицидні, віруліцидні або інсектицидними властивості, і, по-друге, оптимальна форма їх застосування. У багатьох випадках ефективність хімікатів в першу чергу залежить від того, яка частина витраченої речовини, зокрема при обробці поверхонь, затримується на них і наскільки рівномірно розподіляється препарат.

В цілях підвищення ефективності хімічного методу знезараження шляхом збільшення ступеня корисного використання активних речовин, скорочення часу на обробку, підвищення продуктивності

вності праці і створення нешкідливих умов для оброблюваних предметів у багатьох випадках пестициди застосовують у вигляді аерозолів.

Тому однією з головних проблем є визначення раціональних параметрів балонних аерозольних генераторів для механізації проведення санітарних робіт в ветеринарії та надання рекомендацій щодо витрати активної речовини та об'єму такого генератора при заданій технології знезараження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Автономні засоби знезараження можна розділити на два типи. До першого типу відносяться пересувні засоби знезараження, які змонтовані на самохідному шасі або можуть транспортуватися на причепах. До другого типу - засоби знезараження, з якими може рухатися оператор. За видом джерела енергії засоби, що застосовуються для знезараження поділяються на пристрої, що використовують енергію згоряння нафтопродуктів, ручну механічну енергію і енергію стиснутих або скраплених газів.

Проведений аналіз показує, що існуючі автономні технічні засоби, дозволяють механізувати роботи із рідкими активними речовинами об'ємом до 1 л і, далі, починаючи з 400 л, а в проміжку зазначених об'ємів така можливість відсутня.

Результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень явилися основою для розробки й створення зразків балонних аерозольних генераторів (БАГ) для санітарних робіт у ветеринарії, що використовують для створення тиску в балоні продукти горіння твердих газифікуючих сполук [1]. Створення БАГ дозволило провести випробування їх у виробничих умовах, перевірити при цьому прийняті конструкторські рішення, уточнити раціональні параметри при різних умовах і режимах експлуатації, а також уточнити область їх практичного використання.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для визначення області ефективного застосування автономних балонних аерозольних генераторів на практиці необхідно провести порівняльний аналіз в споживанні енергії з існуючими засобами механізації, визначити фактори, що впливають на якість санітарних робіт та надати рекомендації з застосування БАГ та щодо витрати активної речовини.

Порівняльний аналіз споживання енергії, що витрачається на утворення аерозолу балонними аерозольними генераторами проведемо відносно дезінфекційної установки ДУК (дезінфекційна

установка Комарова). При цьому не будемо враховувати кількість енергії, що витрачається на транспортування генераторів і рідкої активної речовини. У такому випадку для балонних аерозольних генераторів можна записати

$$E_{\text{БАГ}} = \frac{M_n Q_n}{V_{\text{AP}}},$$

де  $E_{\text{БАГ}}$  - енергія, що витрачається на утворення аерозолі;  $M_n$  - маса твердої газифікуючої сполуки (ТГС);  $Q_n$  - теплотворна спроможність ТГС;  $V_{\text{AP}}$  - об'єм активної речовини.

Аналогічно для установки ДУК, але необхідно ще врахувати й кількість енергії, що витрачається на обслуговування, тобто на запуск і розігрів двигуна внутрішнього згорання, промивання емностей, трубопроводів.

$$E_{\text{ДУК}} = \frac{M_{\text{н.п.}} Q_{\text{н.п.}}}{V_{\text{AP}}},$$

де  $E_{\text{ДУК}}$  - енергія, що витрачається на утворення аерозолі установкою ДУК;  $M_{\text{н.п.}}$  - маса нафтового пального (бензину), що витрачається за час роботи установки;  $Q_{\text{н.п.}}$  - теплотворна спроможність пального.

$$M_{\text{н.п.}} = M_{\text{AP}} + M_{\text{об.}},$$

де  $M_{\text{AP}}$  - маса нафтового пального, що витрачається на утворення аерозолі активної речовини;  $M_{\text{об.}}$  - маса нафтового пального, що витрачається на обслуговування установки.

При правильно вибраному об'єму БАГа енергія, що витрачається на утворення аерозолі, значно менше енергії, що витрачається установкою ДУК при розпилі об'ємів до 0,1 м<sup>3</sup>. Теплотворна спроможність бензину перевищує величину теплотворної спроможності ТГС проте запропонована схема реалізації енергії дозволяє використовувати її більш ефективно в зазначеному випадку.

Випробування у виробничих умовах балонного аерозольного генератора проводилися на базі лабораторії аерозольних форм

ветпрепаратів ВНИИВС (м. Москва) та в Дніпропетровському державному аграрному університеті. При випробуваннях визначалися дисперсність і витрата препарату залежно від робочого тиску усередині балону. Біологічну активність вивчали за допомогою впливу аерозолів на біооб'єкти та на комах.

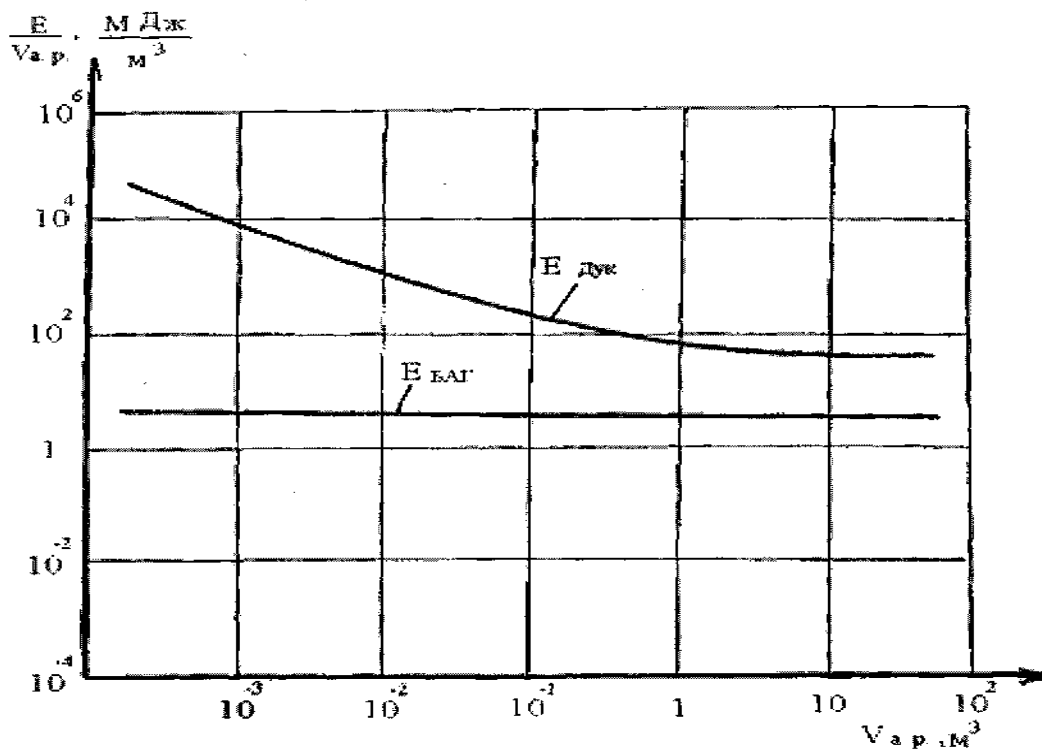


Рис. – Залежність енергії, що витрачається на утворення аерозолу, установкою ДУК та балонним аерозольним генератором

Основними факторами, що впливають на якість санітарної обробки, є параметри факела розпилу рідкого препарату. Аналіз проведених випробувань підтвердив висновки зроблені за результатами попередніх лабораторних досліджень і показав, що БАГи доцільно використовувати у виробничих умовах з метою дезінфекції поверхні приміщень, машин, механізмів, транспортних засобів і шкірних покриттів тварин у боротьбі з ектопаразитами.

Головним обмеженням для застосування балонних аерозольних генераторів на практиці є розмір часток аерозолу та його монодисперсність. Відповідно до існуючих рекомендацій щодо впливу розміру краплі аерозолу на якість знезараження [2] БАГи найбільш ефективно застосовувати для одержання спрямованих аерозолів і аерозолів, застосовуваних у відкритій природі. А саме: ае-



розольна дезінсекція у відкритій природі, дезінсекція й дезінфекція приміщень холодними й гарячими розчинами, обприскування тварин.

На кожні перераховані заходи існують тактико - технічні вимоги, що накладають свої обмеження. Найбільше істотно вплинуть наступні фактори:

- місце проведення (на повітрі або в приміщенні, у польових умовах або в стаціонарних умовах);

- предмет обробки (тварини, будинку, машини, механізми, ґрунт);

- масштаб обробки (обробці піддаються одиничні тварини, невеликі площі й об'єми, групи тварин, транспортні засоби перевезення тварин і продуктів тваринництва й т.п.).

В умовах сільськогосподарського виробництва БАГи найбільш ефективно застосовувати при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язаних з епізоотією, у польових умовах, в умовах Крайньої півночі й важкодоступних та гірських районах. На пасовища балонні аерозольні генератори й активно діючі речовини можна доставляти автотранспортом, авіаційними засобами доставки, в'ючними тваринами. Такі аерозольні генератори переміщуються спільно із чередою тварин і завжди готові до застосування.

В умовах надзвичайної ситуації з метою запобігання втрат продукції тваринництва балонні аерозольні генератори раціонально застосовувати для захисних і профілактичних заходів на об'єктах тваринництва й пунктах переробки. До таких заходів відносяться дезінфекція, дезінсекція, дератизація.

Розробка рекомендацій із застосування БАГів і обґрунтування норм витрати рідкої активної речовини для дезактивації, дегазації дезінфекції, дезінсекції й дератизації оснований на результатах і висновках отриманих у ході досліджень. БАГи ефективно застосовувати для хімічного способу дезінфекції, коли мікроорганізми вбивають за допомогою хімічних препаратів. Об'єктами дезінфекції є приміщення для тварин і птахів, склади сировини тваринного походження, засоби транспорту, дрібний інвентар, тара й ін.

Підготовка БАГів до знезараження відповідає наведеній вище методиці його задіяння [1]. Знезаражуючий розчин заливається в ємкість генератора, попередньо процідивши його через сито з 400 отворами на 1 см<sup>2</sup>, установлюється газогенеруючий пристрій з

---

Підвищення ефективності заходів знезараження шляхом застосування балонних аерозольних генераторів

зарядом ТГС. Заражену поверхню варто обробляти рівномірно зверху долілиць, утримуючи розпорошуючий наконечник, розташований на штанзі, на віддалі 0,5 ... 1 м від оброблюваної поверхні й направляючи струмінь аерозолі під кутом 60...70 градусів до неї. Час, затрачений на обробку 10 м<sup>2</sup> зараженої поверхні, залежить від забезпечення необхідної норми розчину й коливається в межах 30...50 с.

Доцільно застосовувати БАГи для дезінфекції транспортних і технічних засобів, будинків, споруджень, дрібного інвентарю.

Кузова автомашин і візків після обробки речовинами, що дезінфікують, обмивають гарячою водою.

Для проведення перерахованих робіт використовуються ранцеві, переносні й колісні балонні аерозольні генератори.

При виявленні заражених ділянок на фермах та комплексах дезінфекцію проводять, не чекаючи результатів лабораторних досліджень. Бактеріальні об'єкти можуть бути такі, що мають стійкість мікроорганізмів до дезінфікуючих речовин. Тому необхідно застосовувати по можливості найбільш активні наявні робочі речовини. Такими речовинами є: формалін (40%-ний формальдегід), суміш креоліну - 15% і формаліну - 75% [3].

При визначенні норм витрати й часу витримки при проведенні аерозольної дезінфекції приміщень необхідно враховувати стан приміщення, його герметичність. У старих приміщеннях із щілинами, а також у тих, які не піддаються герметизації, виконують дезінфекцію поверхонь, споруджень і інвентарю спрямованими аерозолями. При цьому норма витрати становить 80...150 мл/м<sup>2</sup> зазначених речовин.

Для аерозольної дезінфекції молочного посуду, устаткування й приміщень молочних заводів варто застосовувати формульсин (формалін з додаванням протикорозійної й поверхнево-активної речовини). Норма витрати для обробки 3% розчином з розрахунку на одну флягу становить 50 мл. Для дезінфекції маслосховища норма витрати становить 60 ... 150 г/м<sup>2</sup>.

Балонні аерозольні генератори ефективно застосовувати для дезінфекції транспортних засобів, автофургонів, залізничних вагонів, салонів літаків після перевезення тварин або сировини тваринного походження.

При дезінфекції автофургонів і салонів літаків необхідно застосовувати БАГи для розпорошування 40% розчину формальдегіду з розрахунку 40 мл на 1 м<sup>3</sup> внутрішнього об'єму. Для дезінфек-

ції залізничних вагонів варто розпорошувати 40% формальдегід з нормою витрати для вагонів другої категорії 20 л при експозиції 3 години. Для вагонів третьої категорії 24 л. Транспортні засоби в такому випадку проходять аерозольну дезінфекцію в шляху проходження, що значно збільшує продуктивність перевезень.

Незначна зміна конструкції БАГів (застосування захватів, гачків), дозволяє розміщати їх на внутрішніх стінках вагонів і вони тільки перезаряджаються при перевезеннях.

Після встановлення виду мікробів дезінфекцію проводять засобами, що рекомендуються в інструкціях Головного управління ветеринарії.

При комплектуванні груп тварин у випадку евакуації, необхідно в можливо більшій ступені знизити засіяність зовнішнього середовища. При великій концентрації тварин виникають умови, здатні привести до виникнення станів, що згубно відбиваються на продуктивність поголів'я.

При знаходженні тварин у приміщенні або на ізольованій території в навколишнім середовищі накопичуються різноманітні мікроорганізми. Відбувається старіння, або біологічна втома середовища.

Застосування БАГів для дезінфекції на об'єктах тваринництва та у тваринницьких приміщеннях сільського населення має вирішальне значення для запобігання втрат продукції.

Дезінсекція - система заходів, спрямованих на знищення членистоногих і особливо комах, що є переносниками інфекційних хвороб. У сільській місцевості є сприятливі умови для розмноження й укриття заражених комах. Їх необхідно знищувати відразу після скидання виявлення.

У закритих приміщеннях метеорологічні фактори не впливають на стан аерозолі в повітрі, що дозволяє застосовувати інсектициди в летучих розчинниках.

Норми витрати інсектициду визначаються з розрахунку на кубатуру приміщення залежно від стійкості комах і кліщів, кількості гніздилищ, виду приміщення і його герметичності. При проведенні дезінсекції балонними аерозольними генераторами обробці піддаються території ферм або комплексів, приміщення, тварини.

Для обробки відкритих площ рекомендується застосовувати аерозоль низької й середньої дисперсності. Ефективність застосування БАГів на відкритих просторах у значній мірі залежить від

---

Підвищення ефективності заходів знезараження шляхом застосування балонних аерозольних генераторів

характеру руху приземних шарів повітря, температурної стійкості його в приземних шарах, рельєфу місцевості, складу й густоти рослинності. Основним є рух повітря. Найбільш сприятливий вітер зі швидкістю 0,5-2 м/с.

Для обробки прифермської території проти мух, мошок і комарів ефективно застосовувати ранцеві балонні аерозольні генератори, що забезпечує вільне переміщення оператора на території.

Для обробки закритих приміщень із використанням БАГів застосовують аерозолі з водних розчинів, приготовлені на летучих розчинниках і маслянистих основах. При придушенні осередків скупчення членистоногих у приміщенні, або проведення профілактичних робіт у місцях, у яких можуть утворитися їх гніздилища, необхідно використовувати БАГи з ємкістю балона до 7...10 л.

Дератизація з використанням БАГів проводиться хімічним способом.

На території ферм гризунів знищують шляхом обприскування отрутами нір і навколишньої рослинності. Полеглих гризунів спалюють.

Особливе місце займає застосування балонних аерозольних генераторів для запобігання втрат продукції тваринництва при змушеному забої.

З метою запобігання втрат продукції переробки тварин на забійному пункті при змушеному масовому забої необхідно проводити цілий комплекс заходів з використанням БАГів з ємкістю балона 30 ... 50 л:

1. Аерозольна дезінсекція й дезінфекція, а при необхідності й дегазація місцевості й шляхів проходження тварин при розташуванні пункту забою.

2. Аерозольна дезінфекція й дезінсекція наприкінці зміни й при згортанні пункту забою.

3. Профілактичні заходи, спрямовані на забезпечення товарної якості продукції переробки тварин.

4. Дезінфекція, а при необхідності дегазація транспортних засобів перевезення тварин і продукції тваринництва.

5. Дезінфекція й дезінсекція конфіскатів і покидьків переробки, придушення біотопів.

Аерозольні роботи при змушеному масовому забої тварин проводяться тими ж речовинами, що застосовуються й на комплексах або фермах. Це дозволяє створити на об'єкті тваринництва єдиний запас аерозольних генераторів, активних речовин і ТГС.

**Висновки.** При правильно вибраному об'єму БАГа енергія, що витрачається на утворення аерозолю, значно менше енергії, що витрачається установкою ДУК та іншими установками з двигунами внутрішнього згорання при розпилі об'ємів до 0,1 м<sup>3</sup>.

Балонні аерозольні генератори доцільно використовувати у виробничих умовах з метою дезінфекції та дезінсекції поверхні приміщень, машин, механізмів, транспортних засобів і шкірних покривів тварин у боротьбі з ектопаразитами.

В умовах надзвичайної ситуації з метою запобігання втрат продукції тваринництва балонні аерозольні генератори раціонально застосовувати для захисних і профілактичних заходів на об'єктах тваринництва й пунктах переробки. До таких заходів відносяться дезінфекція, дезінсекція, дератизація.

Застосування БАГ для знезараження дозволяє створити на об'єкті сільськогосподарського призначенні запас балонних аерозольних генераторів, активних речовин і ТГС.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бабич О.С., Денисова О.О. Балонні аерозольні генератори для знезараження.- Харків. Вісник ХНТУСГ. Випуск 59. т.1.2007. с. 474-477.
2. Лярский П.П., Цетлин В.М. Дезинфекція аерозолями.- М: Медицина, 1981, 176 с.
3. Високос М.П. та ін. Аерозолі в ветеринарії. – К.: Урожай, 1990.- 96с.

*Байтала М.Р., зам. нач., ГДПБ МЧС України*

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

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

Методами теории подобия проведена идентификация параметра математической модели чрезвычайной ситуации на железнодорожном транспорте на примере коэффициента конвективной теплоотдачи от железнодорожной цистерны в газовую среду

**Ключевые слова:** железнодорожная цистерна, нефтепродукт, теория подобия, конвективный теплообмен

**Постановка проблемы.** Чрезвычайные ситуации техногенного характера при транспортировке опасных веществ железнодорожными цистернами представляют особую опасность, поскольку существует угроза каскадного развития чрезвычайной ситуации вследствие воздействия опасного фактора на соседние цистерны. Это не только затрудняет действия подразделений МЧС по локализации и ликвидации чрезвычайной ситуации, но и несет угрозу для их личного состава. Поэтому возникает необходимость в построении моделей чрезвычайных ситуаций, возникающих при транспортировке железнодорожными цистернами опасных веществ, в частности горючих и взрывоопасных веществ.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [2] построена модель чрезвычайной ситуации при транспортировке нефтепродукта в автомобильной цистерне. При ее построении предполагается равномерное воздействие опасного фактора чрезвычайной ситуации (теплового излучения пожара) на поверхность автоцистерны. В [1] предложен подход, позволяющий учесть неравномерное воздействие такого фактора, а также учитывающий взаимодействие защищаемого объекта с окружающей средой. Однако построенные там модели касаются складов нефти и нефтепродуктов. Их отличия от моделей чрезвычайных ситуаций на транспорте обусловлены геометрическими различиями между емкостями, предназначенными для хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов.

**Постановка задачі и ее решение.** Целью работы является идентификация параметра математической модели чрезвычайной ситуации на железнодорожном транспорте на примере коэффициента конвективной теплоотдачи от стенки цистерны в газовую среду.

Нагрев стальной поверхности цистерны под воздействием опасного фактора чрезвычайной ситуации приводит к нагреву соприкасающихся с ней слоев воздуха и возникновения конвективных восходящих потоков. Для оценки коэффициента конвективной теплоотдачи воспользуемся методами теории подобия [3], рассматривая горизонтальный цилиндр, характерным размером для которого является его диаметр  $D$ . При этом будем предполагать, что имеет место свободная конвекция, т.е. ветровая нагрузка отсутствует.

Введем в рассмотрение следующие числа подобия.

1. Число Нуссельта  $Nu$ , характеризующее увеличение теплообмена за счет конвекции по сравнению с чисто молекулярным переносом

$$Nu = \frac{\alpha D}{\lambda_f}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – искомый коэффициент теплоотдачи;  $\lambda_f$  – коэффициент теплопроводности среды.

2. Число Грасгофа, характеризующее режим движения при свободной конвекции

$$Gr = \frac{\beta \Delta T D^3 g}{\nu^2}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – коэффициент термического расширения среды;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\nu$  – кинематическая вязкость,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\Delta T = |T_f - T_w|$  – разность температур поверхности цилиндра  $T_w$  и окружающей среды на удалении от него  $T_f$ .

3. Число Прандтля, характеризующее подобие скоростных и температурных полей

$$\text{Pr} = \frac{\nu \rho c_p}{\lambda_f}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность среды;  $c_p$  – теплоемкость среды при постоянном давлении. При этом для воздуха в интервале температур  $(-20 \div 100)$  °C число Прандтля принимает значения  $0,69 \div 0,71$  [3]. Поэтому с целью упрощения будем считать в этом диапазоне число Прандтля для воздуха не зависящем от температуры и равным  $\text{Pr} \approx 0,7$ .

В [4] построена эмпирическая зависимость числа Нуссельта от чисел Грасгофа и Прандтля для горизонтального цилиндра в условиях свободной конвекции

$$\text{Nu} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/6}}{\left[ 1 + (0,492/\text{Pr})^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2. \quad (4)$$

Для оценки коэффициента теплоотдачи от поверхности цилиндра в окружающий воздух и от сухой стенки в газовое пространство цистерны подставим в (4) значение числа Прандтля  $\text{Pr} = 0,7$  и получим

$$\text{Nu} = \left( 0,825 + 0,305 \text{Gr}^{1/6} \right)^2. \quad (5)$$

Подставляя в (5) выражения для чисел Нуссельта (1) и Грасгофа (2), получим выражение для коэффициента конвективной теплоотдачи

$$\frac{\alpha D}{\lambda_f} = \left( 0,825 + 0,305 \left( \frac{|T_f - T_w| D^3 g}{\nu^2 T_f} \right)^{1/6} \right)^2, \quad (6)$$

где учтено, что для газов коэффициент объемного расширения  $\beta$  связан с температурой соотношением:  $\beta = T_f^{-1}$ . Пренебрегая первым слагаемым в выражении (6) по сравнению со вторым, приближенно запишем



$$\frac{\alpha D}{\lambda_f} \cong \left( 0,305 \left( \frac{|T_f - T_w| D^3 g}{\nu^2 T_f} \right)^{1/6} \right)^2. \quad (7)$$

Возникающая при этом погрешность не будет превосходить 6,5% для разности температур  $\Delta T = |T_f - T_w| \geq 100$  К и 11% для разности температур более 1 К. Подставляя  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> в выражение (7) и проводя упрощения, получим

$$\alpha = 0,200 \lambda_f \left( \frac{|T_f - T_w|}{\nu^2 T_f} \right)^{1/3}. \quad (8)$$

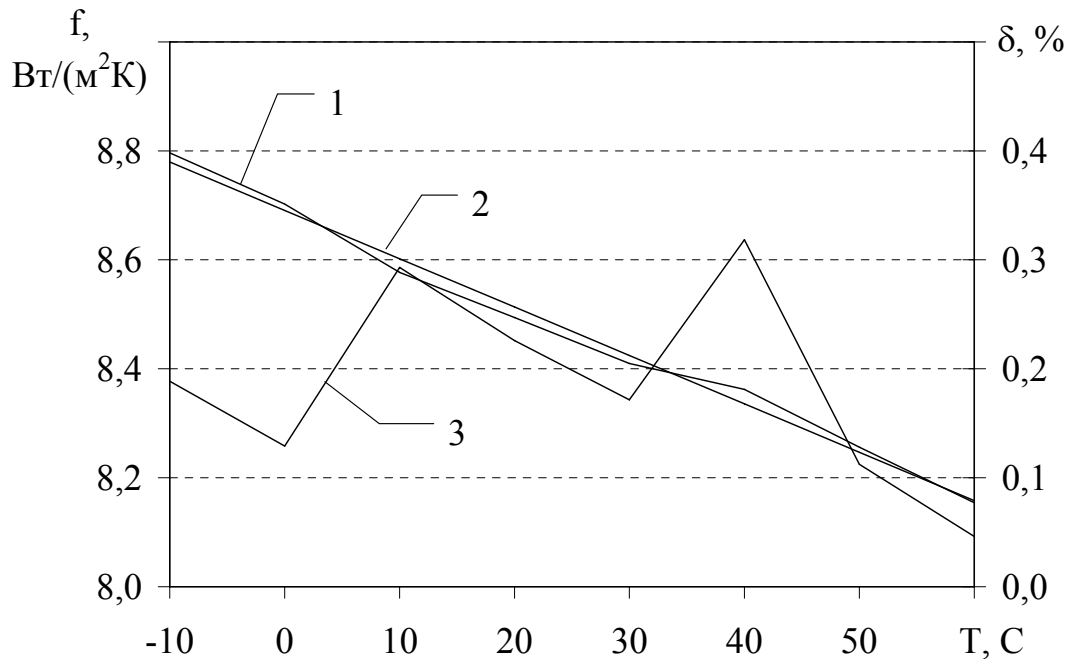


Рис. 1 – Зависимость величины  $f = \alpha \left( \frac{T_f}{|T_f - T_w|} \right)^{1/3}$  от температуры

окружающего воздуха: 1 – зависимость на основе (8); 2 – аппроксимация в виде (9); 3 – относительная погрешность аппроксимации (по правой оси)

При этом коэффициент теплопроводности воздуха  $\lambda_f$  и его вязкость  $\nu$  являются функциями температуры. На рис. 1 приведе-

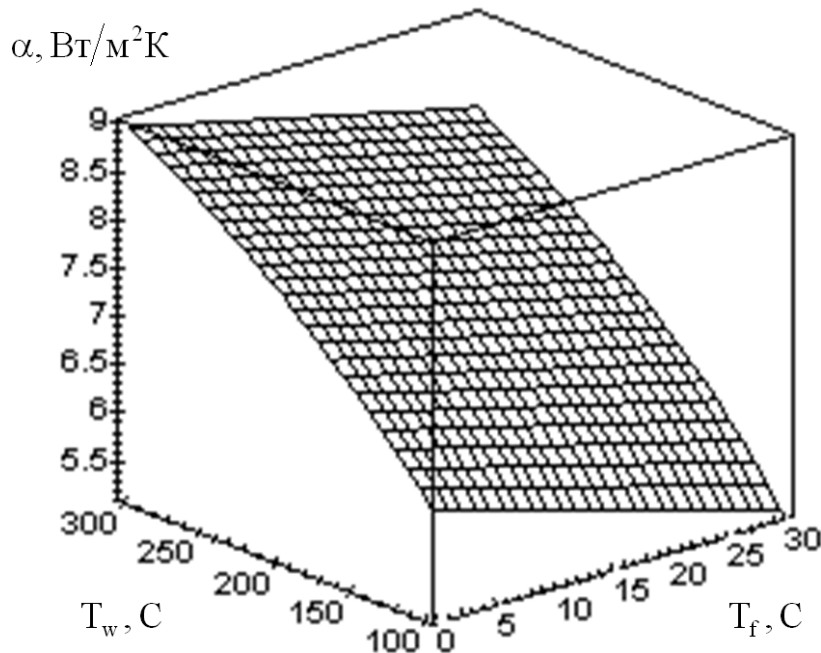
на зависимость величины  $f = \alpha \left( \frac{T_f}{|T_f - T_w|} \right)^{1/3}$  от температуры и ее аппроксимация в виде

$$\tilde{f} = -0,00888(T_f - 273,15) + 8,69. \quad (9)$$

Анализ графических зависимостей, приведенных на рис. 1, показывает, что погрешность аппроксимации (9) не превосходит 0,4%, что позволяет записать оценку коэффициента конвективной теплоотдачи от боковой поверхности цилиндра в газовую среду в следующем виде

$$\alpha = (-8,88 \cdot 10^{-3} T_f + 8,69) \left( \frac{|T_w - T_f|}{273,15 + T_f} \right)^{1/3}.$$

где температуры стенки  $T_w$  и газовой среды  $T_f$  задаются по шкале Цельсия (рис. 2).



**Рис. 2 – Зависимость коэффициента конвективной теплоотдачи в газовую среду от температур поверхности цистерны и среды**

**Выводы.** Проведена идентификация параметра математической модели чрезвычайной ситуации техногенного характера на железнодорожном транспорте на примере оценки коэффициента конвективной теплоотдачи от цистерны в газовую среду в случае пожара цистерны, перевозящей горючую жидкость. Построенная оценка может быть использована в модели чрезвычайной ситуации для прогноза ее развития и разработки плана ее локализации и ликвидации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами. – Харьков: АГЗУ, 2006. – 256 с.
2. Исхаков Х.И., Логачев Е.Н., Хабибулин Р.Ш. Пожарная безопасность автоцистерн для перевозки нефтепродуктов // Пожары и окружающая среда: Материалы XXVII Международной науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО, 2002. – 474 с.
3. Теплотехника / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; Под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высш. шк., – 2002. – 671 с.
4. Incopera F.P., DeWitt D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – 5th Ed. – New York: John Wiley and Sons, 1996. – 476 p.

УДК 614.8

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ ЗОН ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИИ, СВЯЗАННОЙ С ВЫБРОСОМ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

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

Построена стохастическая математическая модель определения концентрации опасных химических веществ в воздухе после ликвидации источника выброса и позволяющая определять границы зон, в которых эта концентрация превышает допустимую

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, опасные химические вещества.

**Постановка проблемы.** При чрезвычайных ситуациях (ЧС) на предприятиях и объектах, использующих опасные химические вещества (ОХВ), для оценки превышения их концентрации в воздухе допустимого значения, определяющего степень поражения людей в результате токсического воздействия, наибольшее распространение получили численные и вероятностные методы. Такие методы используют модели, имеющие ряд недостатков, обусловленных тем, что коэффициенты моделей являются усредненными, поэтому определение вероятности поражения затруднительно. Поэтому необходимо иметь информацию о предполагаемом превышении допустимых значений основных параметров, определяющих критическую концентрацию ОХВ, а следовательно – границы безопасных зон для людей.

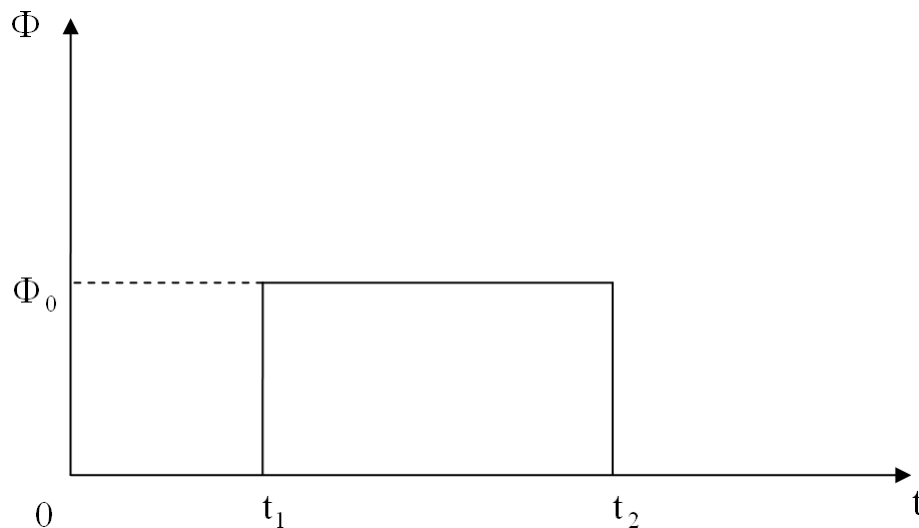
**Анализ последних исследований и публикаций.** Как отмечается в [1,2], использование вероятностных моделей для анализа возможного поражения людей – одно из наиболее широко используемых направлений при моделировании ЧС, связанных с выбросом ОХВ. Учитывая недостатки используемых в методиках методов, в частности, учета среднего значения направления и скорости ветра при прогнозировании развития ЧС и ее последствий, в [3] предложена математическая модель диффузии паров ОХВ в воздухе, позволяющая оценить вероятность превышения концентрацией выброшенного вещества некоторого критического значения. В [4] проведена оценка вероятности достижения концентра-

цией вещества критических значений и вероятность превышения величины токсической дозы критического значения. Полученные результаты позволяют определить зоны безопасности для личного состава подразделений МЧС и населения в условиях чрезвычайной ситуации, связанной с утечкой ОХВ в атмосферу.

**Постановка задачи и ее решение.** Для прогнозирования последствий аварий, связанных с утечкой газообразных веществ, и принятия решений по эвакуации населения, важно оценить вероятность достижения концентрацией выброшенного вещества опасного значения и время, в течение которого эта концентрация будет сохраняться в данной точке пространства.

Полученные в [3,4] параметры случайного процесса  $\mu(x, y, z, t)$  позволяют оценить вероятность достижения случайным процессом заданного значения в конкретный момент времени  $t$ , но не дают возможности найти вероятность такого события на интервале времени от момента аварии и до текущего момента.

После ликвидации источника выброса ОХВ по-прежнему сохраняется опасность для личного состава подразделений, участвующих в ликвидации ЧС, технического персонала предприятия, населения. Это обуславливает необходимость оценки распространения ОХВ в воздухе до его полного рассеивания, т.е. снижения концентрации меньше критической.



**Рис. 1 - Объемная плотность  $\Phi(t)$  источника диффундирующего вещества, действующего в интервале времени  $(t_1, t_2)$**

С математической точки зрения ситуации с ликвидированным источником истечения ОХВ соответствует П-образная функция [5] объемной плотности источника  $\Phi(t)$  (рис. 1), где  $t_1, t_2$  – моменты начала и прекращения действия источника ОХВ.

Начиная отсчет времени от момента аварии, запишем функцию источника в виде

$$\Phi(t) = (1 - 1(t - t_0))\Phi_0,$$

где  $t_0$  – момент ликвидации аварии;  $1(t)$  – функция Хевисайда

$$1(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, \\ 1, & t \geq 0. \end{cases}$$

Считая размеры отверстия, через которое происходит утечка ОХВ, бесконечно малыми (по сравнению с зоной поражения), запишем объемную плотность источника ОХВ в виде

$$\Phi(x, y, z, t) = E\delta(x - x_0)\delta(y - y_0)\delta(z - z_0)(1 - 1(t - t_0)),$$

где  $E$  – интенсивность источника ОХВ, кг/с;  $(x_0, y_0, z_0)$  – координаты источника ОХВ.

Совмещая начало координат с источником ОХВ, получим уравнение распространения ОХВ в воздухе от точечного источника мощностью  $E$ , находящегося в точке  $(0, 0, z_0)$  и действующего на протяжении интервала времени  $(0, t_0)$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} = & a \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + a \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + a_z \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} - v_x \frac{\partial q}{\partial x} - v_y \frac{\partial q}{\partial y} - v_z \frac{\partial q}{\partial z} + \\ & + E\delta(x)\delta(y)\delta(z - z_0)(1 - 1(t - t_0)). \end{aligned} \quad (1)$$

с начальным и краевым условиями соответственно

$$q(x, y, z, 0) = 0, \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial q}{\partial z} \right|_{z=0} = 0. \quad (3)$$

Делая замену

$$\begin{cases} x' = x - \int_0^t v_x(t) dt, \\ y' = y - \int_0^t v_y(t) dt, \\ z' = z - v_z t \end{cases}$$

и переходя к функции

$$u(x', y', z', t) = q\left(x' + \int_0^t v_x(t) dt, y' + \int_0^t v_y(t) dt, z' + v_z t, t\right),$$

получим

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= a \frac{\partial^2 u}{\partial x'^2} + a \frac{\partial^2 u}{\partial y'^2} + a_z \frac{\partial^2 u}{\partial z'^2} + \\ &+ E \delta\left(x' + \int_0^t v_x(t) dt\right) \delta\left(y' + \int_0^t v_y(t) dt\right) \delta(z' + v_z t - z_0) (1 - 1(t - t_0)). \end{aligned} \quad (4)$$

Решение такого уравнения может быть записано в виде [6]

$$u(x', y', z') = \int_0^t \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \Phi(\xi, \eta, \zeta, \tau) \cdot G(x', y', z', \xi, \eta, \zeta, t - \tau) d\xi d\eta d\zeta d\tau, \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \Phi(\xi, \eta, \zeta, \tau) &= E \delta\left(\xi + \int_0^\tau v_x(t) dt\right) \cdot \delta\left(\eta + \int_0^\tau v_y(t) dt\right) \times \\ &\times \delta\left(\zeta + v_z \tau - z_0\right) (1 - 1(\tau - t_0)) \end{aligned}$$

$G(x, y, z, \xi, \eta, \zeta, t)$  – функція Грина вида

$$G(x, y, z, \xi, \eta, \zeta, t) = \frac{1}{8(\pi t)^{3/2} a \sqrt{a_z}} \exp \left[ -\frac{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}{4at} \right] \times \\ \times \left\{ \exp \left[ -\frac{(z - \zeta)^2}{4a_z t} \right] + \exp \left[ -\frac{(z + \zeta)^2}{4a_z t} \right] \right\}.$$

С учетом свойства  $\delta$ -функции  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \delta(x - x_0) dx = f(x_0)$ , после интегрирования в (5) по  $d\xi$ ,  $d\eta$ ,  $d\zeta$  получим

$$u(x', y', z, t) = \int_0^t \frac{E(1 - 1(\tau - t_0))}{8(\pi(t - \tau))^{3/2} a \sqrt{a_z}} \times \\ \times \exp \left[ -\frac{\left( x' + \int_0^\tau v_x(t) dt \right)^2 + \left( y + \int_0^\tau v_y(t) dt \right)^2}{4a(t - \tau)} \right] \times \\ \times \left\{ \exp \left[ -\frac{(z' + v_z \tau - z_0)^2}{4a_z(t - \tau)} \right] + \exp \left[ -\frac{(z' + v_z \tau + z_0)^2}{4a_z(t - \tau)} \right] \right\} d\tau.$$

Возвращаясь к исходной функции  $q(x, y, z, t)$  и переменным  $x, y$ , получим концентрацию паров в воздухе

$$q(x, y, z, t) = \frac{E}{8\pi^{3/2} a \sqrt{a_z}} \cdot \int_0^t \frac{1 - 1(\tau - t_0)}{(t - \tau)^{3/2}} \times \\ \times \exp \left[ -\frac{\left( x - \int_\tau^t v_x(s) ds \right)^2 + \left( y - \int_\tau^t v_y(s) ds \right)^2}{4a(t - \tau)} \right] \times$$



$$\times \left\{ \exp \left[ -\frac{(z - v_z(t - \tau) - z_0)^2}{4a_z(t - \tau)} \right] + \exp \left[ -\frac{(z - v_z(t - \tau) + z_0)^2}{4a_z(t - \tau)} \right] \right\} d\tau. \quad (6)$$

Таким образом, для ветра, описываемого вектором скорости со случайными компонентами  $\vec{v} = (\xi(t), \eta(t))$  концентрация ОХВ в воздухе будет описываться случайным процессом  $\mu(x, y, z, t)$

$$\begin{aligned} \mu(x, y, z, t) = & \frac{E}{8\pi^{3/2}a\sqrt{a_z}} \cdot \int_0^t \frac{1 - 1(\tau - t_0)}{(t - \tau)^{3/2}} \times \\ & \times \exp \left[ -\frac{\left( x - \int_{\tau}^t \xi(s) ds \right)^2 + \left( y - \int_{\tau}^t \eta(s) ds \right)^2}{4a(t - \tau)} \right] \times \\ & \times \left\{ \exp \left[ -\frac{(z - v_z(t - \tau) - z_0)^2}{4a_z(t - \tau)} \right] + \exp \left[ -\frac{(z - v_z(t - \tau) + z_0)^2}{4a_z(t - \tau)} \right] \right\} d\tau. \quad (7) \end{aligned}$$

Анализ соотношений (6) и (7) показывает, что при  $\tau > t_0$  подынтегральные функции этих выражений обращаются в 0. Это означает, что на интервале времени  $(0, t_0)$ , т.е. во время действия источника, распределение концентрации ОХВ совпадает со случаем постоянно действующего источника. После того, как авария ликвидирована ( $t > t_0$ ), концентрация ОХВ в воздухе описывается выражениями аналогичными (6), (7), но интегралы имеют постоянный верхний предел, равный  $t_0$ .

В качестве примера рассмотрим утечку оксида азота ( $\text{NO}_2$ ) с интенсивностью  $E = 50$  г/с, происходящую на высоте  $z_0 = 3$  м. Ветер со средней скоростью  $v_x = 1$  м/с направлен вдоль оси  $OX$ , вертикальная составляющая  $v = 0,01$  м/с, дисперсии компонент скорости ветра  $\sigma_\xi^2 = 0,2$  м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>,  $\sigma_\eta^2 = 0,1$  м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>. Пусть источник ОХВ действует в течение  $t_0 = 20$  мин. На рис. 2 представлена динамика изменения области, в которой математическое ожидание концентрации оксида азота в воздухе на высоте  $z = 2$  м превосходит ПДК,

Определение безопасных зон при ликвидации аварии, связанной с выбросом опасных химических веществ

соответствующая периоду после ликвидации источника ОХВ ( $t > t_0$ ).

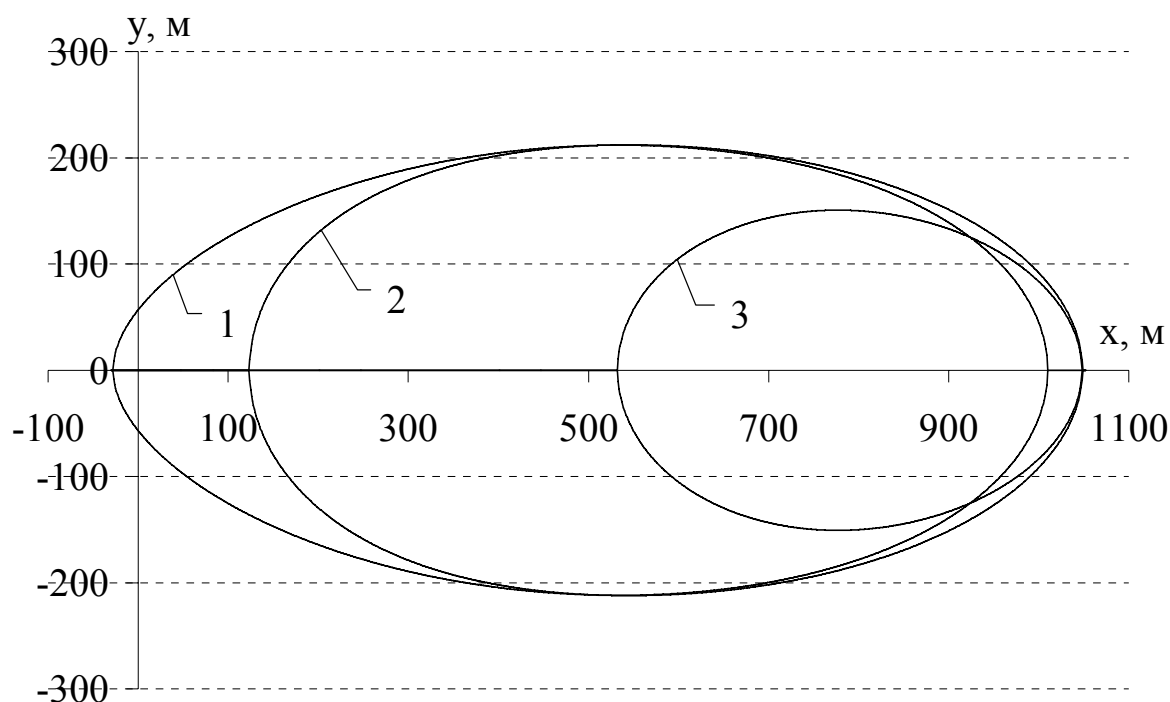


Рис. 2 - Границы областей, в которых концентрация оксида азота превышает ПДК, для различных моментов времени: 1 –  $t = 20$  мин.; 2 –  $t = 25$  мин.; 3 –  $t = 30$  мин.

Отметим, что если продолжительность выброса  $t_0$  устремить к нулю, одновременно увеличивая интенсивность выброса, так, чтобы сохранялось общее количество выброшенного вещества ( $E \cdot t_0 = \text{const}$ ), то в пределе получим мгновенный выброс. Тогда, при равной массе выброшенного вещества большую опасность будет представлять кратковременный, но интенсивный выброс, т.к. в этом случае будут достигаться более высокие концентрации опасного химического вещества в воздухе.

**Выводы.** С учетом ветра, описываемого вектором скорости со случайными компонентами, построена математическая модель определения концентрации ОХВ в воздухе от источника ОХВ, при условии, что интенсивность истечения ОХВ в воздух описывается П-образной функцией. Показано, что ситуации с мгновенным выбросом ОХВ в воздух и постоянно действующим источником являются предельными для данного случая при  $t_0 \rightarrow 0$  и  $t_0 \rightarrow \infty$  соот-

ветственно, где  $t_0$  – время прекращения действия источника. Показано, что при равной массе выброшенного вещества большую опасность представляет кратковременный, но более интенсивный выброс. Математическая модель позволяет прогнозировать границы зон, в которых концентрация ОХВ превышает допустимые значения, что позволяет руководителю ликвидации ЧС, связанной с утечкой ОХВ в атмосферу, принимать меры безопасности для личного состава подразделений МЧС и населения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Моніторинг надзвичайних ситуацій. Підручник /Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю., Коротинський П.А., Миронець С.М.- Вид-во: АЦЗУ м. Харків, 2005.- 530с.
2. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Программный комплекс ТОКСИ+ (версия 3.0): Сборник документов. Серия 27. Выпуск 5 /Колл. авт.– М.:Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2006. – 252 с.
3. Басманов А.Е., Говаленков С.С. Математическая модель диффузии паров опасных химических веществ в воздухе. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 8. – Харків: УЦЗУ, 2008. – С.29-39.
4. Басманов А.Е., Говаленков С.С., Панина Е.О. Оценка вероятности превышения концентрацией вещества в воздухе допустимого значения. // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип.9. – Харків: УЦЗУ, 2009. – С. 39-45.
5. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982.
6. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 576 с.

УДК 911.2:504.54 (477.52)

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

**ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ  
ЛАНДШАФТНИХ КОМПЛЕКСІВ ЯК РЕЗУЛЬТАТ  
ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**  
(представлено д-ром фіз.-мат. наук Яковлевим С.В.)

Розглянуто сезонну динаміку важких металів у ґрунтах та рослинах модифікованих фацій порівняно з заповідними. Підтверджується роль техногенно-екологічного навантаження на хід геохімічних процесів у ландшафтних комплексах та забрудненні їх компонентів важкими металами.

**Ключові слова:** техногенно-екологічне навантаження, ландшафт, антропогенна дія, надзвичайні ситуації екологічного характеру.

**Постановка проблеми.** Актуальним питанням сьогодення є розкриття сутності техногенно-екологічного пресу на ландшафти. Під навантаженням на ландшафт розуміють антропогенну дію, що викликає зміну окремих властивостей компонентів ландшафту, які можуть привести до порушення виконання ландшафтом заданих йому соціально-економічних функцій [1]. Особливістю сьогоденного навантаження на ландшафти є зростання ролі і кількості надзвичайних ситуацій як техногенного, так і природного походження. Прикладом подібних надзвичайних ситуацій можуть бути Чорнобильська катастрофа, надзвичайна ситуація з викидом жовтого фосфору поблизу Ожидова і т.п. Проте, виникнення навіть несуттєвих аварійних ситуацій внаслідок діяльності людини в ландшафтах (розлив небезпечних хімічних речовин, мінеральних добрив, гербіцидів, нафтопродуктів, поверхнево-активних речовин і т.п.), які активно використовуються в агропромисловому комплексі може бути загрозою для здоров'я населення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Навантаження трактують також як забруднення компонентів природно-територіальних комплексів (ПТК), або їх порушення [2]. Порушення прийнято асоціювати з заходами, що викликають зміну природного ходу процесів у ландшафтах. Забруднення пов'язують з привнесенням у ПТК газу, пилу, промислових та побутових сто-

Буц Ю.В., Крайнюк О.В.

ків, радіоактивних речовин. Так, згідно А.Мельника, Г.Міллера, антропогенне (техногенне) забруднення - це зміни, пов'язані з проникненням у функціональні ланки ПТК токсичних, шкідливих для всього живого хімічних речовин [3]. Тому актуальною є проблема забруднення важкими металами (ВМ) складових природно-територіальних комплексів (ПТК). Це обумовлено підвищеною екологічною небезпекою забруднення ВМ, порівняно з іншими видами забруднень та з фактами прояву гострих токсичних ефектів, викликаних підвищеною концентрацією Pb, Cd, Zn та ін. Не менш суттєвим фактом є підвищений вміст останніх в ландшафтах внаслідок надзвичайних ситуацій техногенного походження (як наприклад, Чорнобильська катастрофа). З іншого боку, накопичення ВМ у ґрунтах, навіть перевищуючи їх фоновий рівень у 2-3 рази, не може служити критерієм забруднення, так як для багатьох ВМ (Cu, Zn, Co, Mn, Fe та ін.) в залежності від ґрунтового-геохімічної ситуації цей рівень може бути навіть корисним для ґрунтів та рослин. Тобто, низький рівень вмісту більшості ВМ в системі ґрунтро-рослинність може бути також несприятливим, як і їх високий рівень. Доцільніше розглянути поняття хімічного забруднення ландшафтів так як це робить А. Обухов у відношенні до хімічного забруднення ґрунтів [4]. При даному підході хімічне забруднення ландшафтів слід трактувати як зміну хімічного стану його компонентів до гранично допустимого рівня під прямим чи побічним впливом хімічних речовин, а забруднення ВМ як окремий випадок даного забруднення. На думку Ю. Саєта, антропогенний вплив, що призводить до зміни хімічного складу одного чи декількох природних компонентів навколишнього середовища є геохімічним, оскільки неодмінно з тією чи іншою швидкістю і інтенсивністю включає дану зміну у взаємодіючі між собою природні системи [5]. Отже, із класичних геохімічних позицій зміна хімічних властивостей ПТК, не пов'язана з природними процесами є забрудненням. При такому визначенні до територій забруднених ВМ слід віднести не тільки ті землі де має місце підвищення їх концентрацій, але і ті в яких значно зменшений вміст хімічних елементів. Разом з тим, помірний антропогенний вплив на ПТК, не пов'язаний з привнесенням великої кількості чужорідних речовин (розорювання ґрунтів, заліснення території), призводить до зміни динамічності ландшафтно-геохімічних процесів в антропогенно модифікованих ПТК та порушення їх стабільності порівняно з природними аналогами [6].

---

Забруднення важкими металами ландшафтних комплексів як результат техногенно-екологічного навантаження

**Постановка завдання та його вирішення.** Мета наших досліджень, поряд із встановленням ступеня забруднення ландшафтів ВМ, спрямована на виявленні особливостей сезонної поведінки останніх в елювіальних лісостепових фаціях Північно-Східного регіону України в умовах сільськогосподарського навантаження порівняно із ПТК земель філії Українського степового природного заповідника НАН України «Михайлівська цілина». Подібний підхід дозволить визначити ступінь техногенно-екологічного пресу на ПТК навіть при наявності концентрацій ВМ у межах фону. Абсолютний вміст хімічних елементів та їх рухомі форми визначались методом атомно-абсорбційного аналізу на спектрофотометрі С-115 за загальноприйнятою методикою [7]. Відбір зразків ґрунту та рослинності проводився на початку травня, в кінці липня та наприкінці жовтня-початку листопада відповідно методичних вказівок [8]. Інтерпретація та обробка отриманих результатів супроводжувалась розрахунком ряду коефіцієнтів: кларку концентрації ( $K_k$ ), елювіально-акумулятивного ( $K_{ea}$ ), концентрації ( $K_c$ ), біологічного поглинання ( $K_b$ ). При вивченні динаміки забруднення ВМ ґрунтів значна увага зосереджувалась на аналізі верхніх ґрунтових горизонтів, оскільки вони активно підлягають забрудненню. Динаміка вмісту окремого елемента у певному компоненті значною мірою відображає варіабельність його концентрацій, тому для відносних розрахунків та порівнянь використано статистичні показники, зокрема коефіцієнт варіації ( $v$ ). Варіаційний ряд при цьому склали концентрації ВМ, визначені в різні проміжки часу (сезони) протягом періоду досліджень.

Серед елювіальних лісостепових ПТК Північно-Східного регіону України, як експериментальні об'єкти напівстаціонарних досліджень виділено наступні: *фація I* - визначена як елювіальна фація вирівняної ділянки широкохвилястого межиріччя на лесовидному суглинку з чорноземами типовими малогумусними середньосуглинистими під кострицево-шавлієво-тонконоговою асоціацією злаково-різнотравних степів. Ключову ділянку закладено на території «Михайлівської цілини» (вододіл р. Олешня і р. Грунь). *Фація II* - являє собою антропогенну модифікацію фації I з чорноземами типовими малогумусними середньосуглинистими на лесовидному суглинку. Знаходиться в межах вирівняної ділянки широкохвилястого вододілу (р. Сумка, р. Сула і р.Вир). Розорана, застосовується для вирощування сільськогосподарських культур. *Фація III* - виділена на вирівняній ділянці пологохвилястого водо-

ділу (р. Сироватка і р. Боромля). В минулому злаково-різнотравна фація з чорноземами вилугуваними малогумусними середньосуглинистими на лесовидному суглинку, в даний час розорана, використовується для культурних посівів. Фація IV - виділена на підвищеній ділянці розчленованого вододілу р. Рибиця, р. Сироватка і р. Псел. В минулому злаково-різнотравна фація з чорноземами опідзоленими малогумусними важкосуглинистими на лесовидному суглинку, використовується під сільськогосподарські угіддя. Зазначені елювіальні експериментальні фації ґрунтовно відображають плакорні умови межиріч малих річок південно-західних відрогів Середньоруської височини.

Згідно отриманих даних, найбільший вміст з аналізованих ВМ у ґрунтах досліджених ПТК мають Fe (8-14 г/кг), Mn (540-1260 мг/кг). Приблизно на два порядки менше у ґрунтах міститься Zn, Pb, Co, Cu, Ni, Cr (8-70 мг/кг), незначна кількість Cd (0,4-0,7 мг/кг). Вміст Sr коливається у межах 44-150 мг/кг. Частка рухомих форм Zn, Cr, Fe, що екстраговані однонормальною соляною кислотою (1н.НС1) становить 15-25%, Cu, Pb, Co, Cd, Ni, Sr - 35-60%, Mn - понад 60% валового вмісту. У гумусових горизонтах типового чорнозему «Михайлівської цілини» за період досліджень значення середнього арифметичного для валового вмісту і рухомих форм склали відповідно, мг/кг: для Fe 12900 і 1700, Mn - 567 і 375, Sr - 45 і 19,6, Zn - 54,6 і 10,4, Ni - 22,6 і 11,7, Co - 10,2 і 7,7, Cu - 9 і 4,4, Cr - 14,7 і 2,8, Pb - 12,1 і 7,9, Cd - 0,4 і 0,24.

Біогенно-акумулятивний тип розподілу у ґрунтах притаманний Mn, Zn, Cu, Pb ( $K_{ea}=1,3-1,6$ ). Розсіюються відносно материнської породи Cr, Ni, Fe, Co, Cd, Sr. Концентрації рухомих форм Zn, Pb у гумусових горизонтах ґрунтів відносно ґрунотворних порід зростають від 1,2 рази в орних ґрунтах до 2 разів у цілинних чорноземах. Рухомі форми інших ВМ (Cr, Ni, Sr, Fe) мають регресивно-акумулятивний розподіл або рівномірно диференційовані у ґрунтовому профілі.

Отримані дані рівня концентрацій ВМ свідчать про незначне забруднення ґрунтів порівняно з чорноземами «Михайлівської цілини». Для валового вмісту ВМ та їхніх рухомих форм діапазон коливань  $K_c$  лежить в межах 0,5 - 1,5. В орних чорноземах підвищений валовий вміст Co, Cu, Cr, Cd, Ni, Fe, Sr, що свідчить про техногенне надходження ВМ внаслідок сільськогосподарського освоєння. Проте в цих ґрунтах менше акумулюється Pb, Mn. В ор-

них ґрунтах помітно менше рухомих форм Zn, Pb, Co, Mn, Cd, що пов'язане з відчуженням їх з врожаєм.

Встановлено, що рослини "Михайлівської цілини" енергійно поглинають Cu ( $K_b > 10$ ). Інші ВМ в більшості випадків віднесено до групи сильного накопичення ( $K_b = 1-10$ ). До групи слабого накопичення і середнього захвату належить Cr та Fe ( $K_b = 0,1-1$ ), за межею визначення знаходиться Cd. Серед культурних рослин (фації II, III, IV) виявлено тенденцію до різної інтенсивності поглинання ВМ між родинами злакових та бобових (бобові акумулюють ВМ інтенсивніше злакових.)

В результаті проведених досліджень виявлено певні закономірності динаміки вмісту ВМ у лісостепових елювіальних фаціях, що доцільно показати при порівняльному аналізі.

Фація I. Вміст ВМ навесні у цілинному типовому чорноземі характеризується зниженням валового вмісту Cr, Sr, Cd, підвищенням валового вмісту Zn. В цей період спостерігається мінімальні концентрації рухомих форм Sr. Влітку спостерігається мінімальний вміст Co, Mn, а також рухомих форм Pb, Co, Cr, Ni, Fe. Восени виявлено максимальний валовий вміст Co, Fe, Mn, рухомих форм Mn, Ni, Fe.

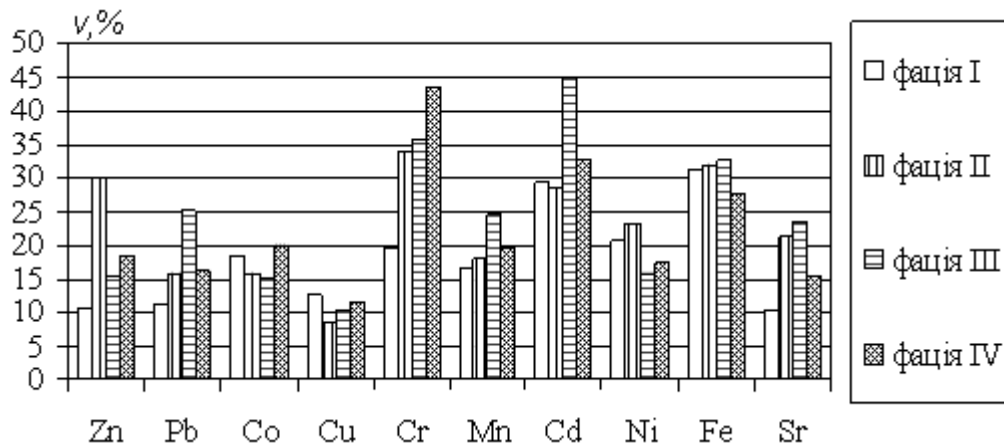
Для характеристики вмісту ВМ та динаміки забруднення ними компонентів антропогенних модифікацій ПТК, в якості критерію порівняння окрім валового вмісту та концентрацій рухомих форм ВМ, використано статистичні показники динаміки вмісту ВМ у ґрунтах та рослинах «Михайлівської цілини» протягом періоду досліджень. Вміст рухомих форм Zn, Pb, Co, Cr, Fe, Ni, Cd, Mn у поверхневих ґрунтових горизонтах цілинного чорнозему відзначений вищими значеннями показників динаміки порівняно з валовими. Незначна різниця між коефіцієнтами варіації валового вмісту і рухомих форм виявлена для Cu, Sr.

Трав'янисті цілинні види активно поглинають ВМ на початку вегетаційного циклу та найменше - влітку. Для зіноваті руської відзначено мінімальні концентрації елементів у літніх зразках, а максимальні - восени. Найбільш динамічним у трав'янистих зразках є вміст Pb ( $v = 23,6-48,1\%$ ). Максимальний показник динаміки вмісту Cr притаманний зіноваті ( $v = 63,5\%$ ). У губоцвітих коефіцієнт варіації знаходиться на рівні 30%, у молочайних - не перевищує 10%. Найменші показники сезонної динаміки у заповідних рослин притаманні Fe і Sr ( $v < 10\%$ ).



**Фація II.** Навесні у типових орних чорноземах відмічено максимальний вміст рухомих форм Pb. Влітку суттєво знижується валовий вміст Co, Zn, Cd та концентрації рухомих форм Cr, Ni, Mn, Co, Fe. Вищим порівняно з іншими сезонами є валовий вміст Sr, Cr, Cu і вміст рухомих форм Cd. Восени знижується валові концентрації Cr, Cu і рухомі форми Cu, Cd. В цей час констатовано максимальний вміст рухомих форм Fe, Ni, Co.

У верхніх ґрунтових горизонтах орних типових чорноземів порівняно з цілинним аналогом «Михайлівської цілини», значення  $v$  вмісту ВМ для валового вмісту Zn, Cr, Ni вищі в 1,3-1,6 разів, для Pb нижчі в 2,1 рази. Показники динаміки валового вмісту інших ВМ приблизно однакові. У верхніх ґрунтових горизонтах для рухомих форм Zn значення  $v$  вищі в 2,8-5,6 разів, Cr, Ni, Sr - в 1,4-2,2 рази. Співвідношення коефіцієнтів варіації Pb, Co, Cu, Mn, Cd, Fe не перевищує 1,2.



**Рис. 1 - Варіабельність вмісту рухомих форм важких металів у гумусовому горизонті ґрунтів елювіальних лісостепових фацій**

Сезонна динаміка вмісту ВМ у рослинах фації II вивчалась на прикладі культурних видів родини злакових і бобових. Активна акумуляція ВМ рослинами відзначена у осінній і весняний періоди, мінімальне поглинання елементів - влітку. Порівняно з цілинними видами рослин, сезонний хід вмісту ВМ у культурних видів рослин подібний. Значна сезонна динаміка вмісту характерна для Pb і Ni ( $v$  близько 40% і 30%). У пшениці м'якої максимальна динаміка вмісту притаманна Sr ( $v = 42,8\%$ ), мінімальна - Fe і Zn ( $v = 10\%$ ). В люцерни посівної зафіксовано незначні показники динаміки вмісту Cu, Sr, Zn, Co, Mn, Fe ( $v < 10\%$ ).

**Таблиця 1 - Коефіцієнт варіації ( $v$ ) сезонних концентрацій металів у рослинах, %**

Вид рослин	Зольність	Zn	Pb	Co	Cu	Cr	Mn	Ni	Fe	Sr
Шавлія поникла	15,9	2,9	48,1	20,0	24,5	30,8	4,2	16,9	3,7	9,71
Буквиця лікарська	3,3	12,8	30,9	12,9	12,4	28,1	19,1	8,1	23,6	4,3
Залізник бульбистий	14,8	18,5	42,5	20,0	25,0	30,0	7,7	8,0	3,0	1,4
Молочай напівмохнатий	24,0	8,2	23,5	12,0	12,5	9,4	18,6	5,3	6,05	4,5
Зіновать руська	12,4	2,2	15,9	5,0	4,8	63,5	3,2	7,0	2,9	12,2
Пшениця м'яка (фація II)	18,8	10,7	40,3	31,0	20,6	16,3	14,3	24,4	6,8	42,8
Люцерна посівна (фація II)	6,3	9,4	37,5	6,8	2,3	15,4	10,0	27,9	5,5	1,9
Ячмінь звичайний (фація III)	17,2	7,8	49,4	23,6	60,7	57,0	9,8	3,2	11,0	35,9
Пшениця м'яка (фація IV)	21,2	28,1	40,0	28,3	62,8	35,4	17,4	15,6	11,4	39,1
Люцерна посівна (фація IV)	24,3	37,9	46,1	42,3	44,7	20,0	7,9	32,9	11,3	16,3

*Фація III.* У верхніх генетичних горизонтах вилугуваного чорнозему навесні помічено підвищення валового вмісту Zn, Pb. Влітку зафіксовано максимальний валовий вміст Mn та рухомих форм Cd. Водночас знижуються концентрації рухомих форм Zn, Fe. Восени суттєво підвищується валовий вміст Fe, Cd, рухомих форм Zn, Mn, Ni. Зменшується валовий вміст Sr.

У поверхневих шарах орного вилугуваного чорнозему порівняно з чорноземами «Михайлівської цілини» показники динаміки валового вмісту Cd, Ni, Sr вищі в 1,7-2 рази, Zn, Pb, Mn нижчі в 1,3-1,9 разів, Cr - понад 2 рази. Коефіцієнти варіації для рухомих форм Zn, Pb, Cr, Mn Cd, Ni, Sr вищі в 1,3-2,2 рази, для Co і Cu нижчі в 1,2-1,6 разів. Динаміка рухомих форм Fe у ґрунтах приблизно однакова.

Сезонна динаміка вмісту ВМ у злакових агрофітоценозу характеризується максимальними концентраціями елементів восени

й мінімальними влітку. Восени активно акумулюються Mn, Fe, Zn, Co, Cr. Навесні максимальні концентрації спостерігаються для Pb, Sr, Cu, Ni. Отже, сезонна динаміка вмісту ВМ у культурних злаків фації III подібна до злакових культур фації II. Значні показники динаміки вмісту ВМ відзначені для Pb (49,4%), Cu (60,7%), Cr (57%), Sr (35,9%). Найменші - для Zn, Mn, Ni, Fe ( $v$  не перевищує 10%).

**Фація IV.** В опідзоленому чорноземі сезонна динаміка ВМ характеризується максимумами валового вмісту Cr, Ni, Sr, рухомих форм Cr, та мінімальними концентраціями Mn і Pb навесні. Влітку знижуються валові концентрації Zn і Cr та вміст рухомих форм Ni, Fe. Значним є валовий вміст Mn та рухомих форм Pb. В осінніх зразках суттєво зростає валовий вміст Co, Cu, Mn, Cd, Sr, Zn, а також концентрації рухомих форм Zn, Co, Mn, Ni. Низьким є вміст Cd.

В орному опідзоленому чорноземі порівняно з чорноземом «Михайлівської цілини» співвідношення показників динаміки є найвищими. У верхніх ґрунтових шарах значення  $v$  для валового вмісту Zn, Cu, Co, Ni, Sr, Mn, Cr, Pb вищі в 1,2-1,7 разів, а для Cd і Fe нижчі. У гумусовому горизонті значення коефіцієнту варіації перевищують цілинний рівень для валового вмісту Pb, Ni, Cr, Cu, Co, Mn і Fe в 1,3-2,3 рази, для Cd і Zn нижчі в 1,9 і 3,4 рази відповідно. Порівнюючи показники динаміки вмісту рухомих форм ВМ, виявлено, що у гумусових горизонтах вони вищі еталону для Zn, Co, Cr, Mn, Cd в 1,2-2,2 рази, Ni, Sr майже однакові, Pb, Cu, Fe - нижчі в 1,2-1,5 разів.

Сезонна динаміка ВМ у рослинах фації IV вивчалась на аналогічних видах з фацією II. Порівняно з ними культурним рослинам фації V властиві вищі показники динаміки вмісту Zn ( $v = 28,1\%$  у злаків і  $v = 37,9\%$  у бобових), Cu ( $v = 62,8\%$  і  $v = 44,7\%$  відповідно), Cr ( $v = 35,4\%$  і  $v = 20\%$ ). Мінімальні значення притаманні Zn, Mn, Ni, Fe ( $v < 10\%$ ).

**Висновки.** В результаті проведених комплексних досліджень на основі багаторічних даних в умовах лісостепу Північно-Східного регіону України вперше було виявлено:

1. Особливості сезонної динаміки валового вмісту та рухомих форм ВМ у ґрунтах, а також сезонну активність біологічного поглинання їх рослинністю.

2. Встановлено ступінь забруднення ВМ ґрунтів і рослин модифікованих інтенсивним сільськогосподарським освоєнням авто-  
Забруднення важкими металами ландшафтних комплексів як результат техногенно-  
екологічного навантаження

номних ПТК відносно природних ландшафтних комплексів «Михайлівської цілини».

3. Розглянуто ступінь зміни динамічності вмісту ВМ у ґрунтах та рослинах модифікованих ПТК порівняно з заповідними.

4. На основі вищезазначеного, підтверджується роль техногенно-екологічного навантаження на хід геохімічних процесів у ландшафтних комплексах та забрудненні їх компонентів важкими металами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ–17.8.1.01-86.(СТ СЭВ 5303-85) Охрана природы. Ландшафты. Термины и определения.– М.: Изд-во стандартов, 1987.– 8 с.
2. Долгушин И.И. О существе понятия “Нагрузка на ландшафт” /Ландшафты. Нагрузки. Норма. //Материалы совещаний по теме СЭВ III. 2.– М.: Институт географии АН СССР, 1990.– С. 36–42.
3. Мельник А.В., Міллер Г.П. Ландшафтний моніторинг.– К., 1993.– 152 с.
4. Обухов А.И. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами и мероприятия по их устранению / Поведение поллютантов в почвах и ландшафтах.– Пушино, 1990.– С. 52–59.
5. Геохимия окружающей среды /Ю.Е.Саев, Б.А.Ревич и др.– М.: Недра, 1990.– 335с.
6. Семенов Ю.М., Мартынов А.В. Ландшафтные подходы к обоснованию норм техногенного воздействия на геосистемы // География и прир. ресурсы.– 1994.– № 1.– С. 15–22.
7. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства.– М.: ЦИНАО, 1989.– 62 с.
8. Мамай И.И. Динамика ландшафтов.– М.: Изд-во МГУ, 1992.– 167 с.

*Буц Ю.В., канд. геогр. наук, зав. каф., УЦЗУ,  
Кремез В.С., канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співр., ІГМ НАНУ,  
Цимбал В.А., ад'юнкт, УЦЗУ*

## **ДЕЯКІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ҐРУНТОВИМИ ВОДАМИ У ЗОНАХ ВПЛИВУ ВОДОСХОВИЩ**

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

Наведені рекомендації щодо обрання типу математичних моделей підтоплення територій ґрунтовими водами в зоні впливу водосховищ

**Ключові слова:** модель, підтоплення, ґрунтові води, баланс

**Постановка проблеми.** Підвищення рівнів води у водосховищах при їхньому заповненні приводить до значного негативного впливу на навколишнє природне середовище, зокрема - підтопленню великих прибережних територій ґрунтовими водами. Підтоплення територій відповідає такому підвищенню рівня ґрунтових вод (РГВ), при якому порушуються умови господарської діяльності, погіршуються соціально-економічні умови проживання населення, виникає загроза катастрофічних руйнувань житлових будинків, промислових об'єктів, активізації зсувних процесів і т.д. Як правило, режим ґрунтових вод у зонах впливу водоймищ ускладнюється різними природними й антропогенними факторами, такими як неоднорідна геологічна будова водоносних шарів у плані й вертикальному розрізі, нерівномірними атмосферними опадами й інфільтрацією вод на зрошуваних масивах, замуленням прибережних зон водоймищ і т.д. Найбільш ефективним способом прогнозування підтоплення територій є математичне моделювання, засноване на розв'язанні диференціальних рівнянь фільтрації ґрунтових вод різного ступеня складності. Це дозволяє визначити пріоритетні напрямки зменшення величини ризику виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підтопленням, своєчасного застосування способів зниження рівня ґрунтових вод з метою відновлення водного балансу територій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні роки опубліковано велику кількість наукових праць, що стосуються методів математичного (аналітичного й чисельного) моделювання фільтрації ґрунтових вод. Велика кількість аналітичних залежностей (розрахункових формул), які можуть бути використані для прогнозування РГВ при підтопленні включені в численні методичні рекомендації й практичні посібники для інженерів-проектувальників і фахівців екологів.

Розв'язання практичних завдань щодо прогнозування визначення підтоплених територій проводиться на підставі зіставлення результатів моделювання відміток РГВ і критеріїв підтоплення, що відповідають призначенню територій, для яких проводяться дослідження.

Наприклад, найбільш вдало, теоретичні дослідження і математичні моделі викладені в роботах [1,2], аналітичні й обчислювальні методи – в [3-7], загальнометодичні підходи і формули – в [8,9], критерії підтоплення територій - в [9].

Найбільш простими є балансові математичні моделі із зосередженими параметрами на основі звичайних диференціальних рівнянь, які дозволяють прогнозувати зміну усередненого РГВ по всій території моделювання. Більш складними є одно-, дво- і тривимірні (по просторовим змінним) математичні моделі, що дозволяють визначити РГВ для кожної точки області, що моделюється. Основу математичних моделей будь-якого рівня становлять фундаментальні рівняння нерозривності й руху рідини в пористих середовищах.

Аналітичні рішення рівнянь і знаходження розрахункових залежностей для обчислення РГВ можливо тільки для найпростіших ідеалізованих умов і використовується, в основному, для експрес-оцінок ситуації й експертних висновків. Розрахунки фільтрації ґрунтових вод для прогнозування процесів підтоплення з урахуванням максимального числа факторів і для обґрунтування проектів захисних інженерних споруджень виконуються з використанням чисельних методів рішення рівнянь на потужних комп'ютерах з використанням спеціальних програмних комплексів для ПК. Для створення моделі на етапі планування досліджень процесів підтоплення територій у зоні впливу водосховищ необхідно вирішити наступні питання:

- поставити мету дослідження й визначити область застосування результатів;

- вибрати геометрію області моделювання в плані й вертикальному розрізі;
- вибрати тип математичної моделі, визначити розрахункові формули для обчислення РГВ, або методи розв'язання рівнянь;
- визначити коефіцієнти фільтрації й нестачі насичення (водовіддачі) ґрунтів;
- задати початкові умови, тобто положення РГВ до початку періоду прогнозування;
- задати рівні води у водосховищі та інших місцях живлення й дренажу фільтраційних потоків (граничні умови);
- задати інфільтраційне живлення ґрунтових вод за рахунок атмосферних опадів і зрошення;
- ідентифікувати модель, виконавши серію розрахунків

Після підготовки вихідних даних, необхідних формул, а також програм для ПК (якщо це можливо) виконуються розрахунки змін РГВ і порівняти результатів із критеріями підтоплення.

**Постановка завдання та його вирішення.** Сутність поставленого завдання полягає в тому, що фахівці, які займаються прогнозуванням, попередженням та, в певній мірі, ліквідацією наслідків підтоплення часто недооцінюють наявні математичні моделі і запропоновують нові недосконалі математичні моделі. Мета представлених досліджень полягала в тому, щоб узагальнити досвід створення найпростіших, з нашого погляду, математичних моделей, які неодноразово були апробовані і зарекомендували себе [7,9].

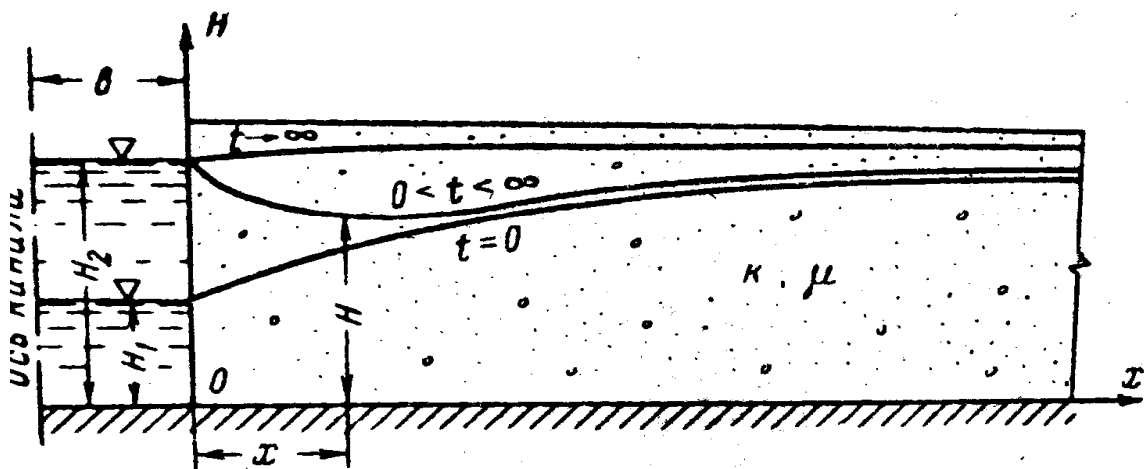


Рис. 1 – Розрахункова схема підтоплення

Розглянемо застосування одно- і двовимірної (в просторі) математичних моделей фільтрації ґрунтових вод для прогнозування підтоплення територій у зоні впливу водосховищ.

У тих випадках, якщо територія, для якої виконується моделювання, розташована на віддаленні від водосховища і фільтраційний потік спрямований без викривлення ортогонально до практично прямолінійної лінії берега, то може бути використана модель одновимірної фільтрації. Математична постановка задачі формулюється наступним чином.

Нестационарна фільтрація ґрунтових вод в однорідному шарі ґрунту з горизонтальною водоопірною поверхнею (рис.1) описується рівнянням

$$\frac{\partial H}{\partial t} = a \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}, \quad a = \frac{kH_s}{\mu}, \quad (1)$$

де:  $t$  – час;  $x$  - просторова координата по лінії потоку від зрізу води у водоймище в напрямку берега;  $H = H(x, t)$  - відмітки РГВ;  $k, \mu$  – коефіцієнти фільтрації й недостачі насичення (водовіддачі);  $H_s$  - осереднена потужність (товщина) фільтраційного потоку.

Найбільш прості рішення рівняння (1) отримані для довгих, (теоретично напівнескінчених  $0 \leq x < \infty$ ) фільтраційних розрізів.

Для однозначного вирішення рівняння (1) у випадку миттєвої зміни (у випадку прогнозування підтоплення) підвищення рівня води у водоймищі задаються наступні крайові (початкове й граничні) умови

$$H(x, 0) = H^0 \quad (2)$$

$$H(0, t) = H_w, \quad \frac{\partial H(\infty, t)}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

де  $H^0$  - початкова позначка РГВ;  $H_w$  - підвищений рівень води у водосховищі, для якого виконується прогноз рівнів ґрунтових вод у берегах водосховища.

Записане вище рівняння (1) з початковою умовою (2) і граничними умовами (3) представляє з себе математичну модель, що описує зміну РГВ у однорідному шарі ґрунту при миттєвій зміні рівня води у водоймищі.



Аналітичне розв'язання (розрахункова формула для обчислення РГВ) для поставленої вище задачі наведено в роботі [4] та має вигляд

$$H = H^0 + (H_w - H^0) \operatorname{erfc}(\lambda), \quad \lambda = \frac{x}{2\sqrt{at}}, \quad (4)$$

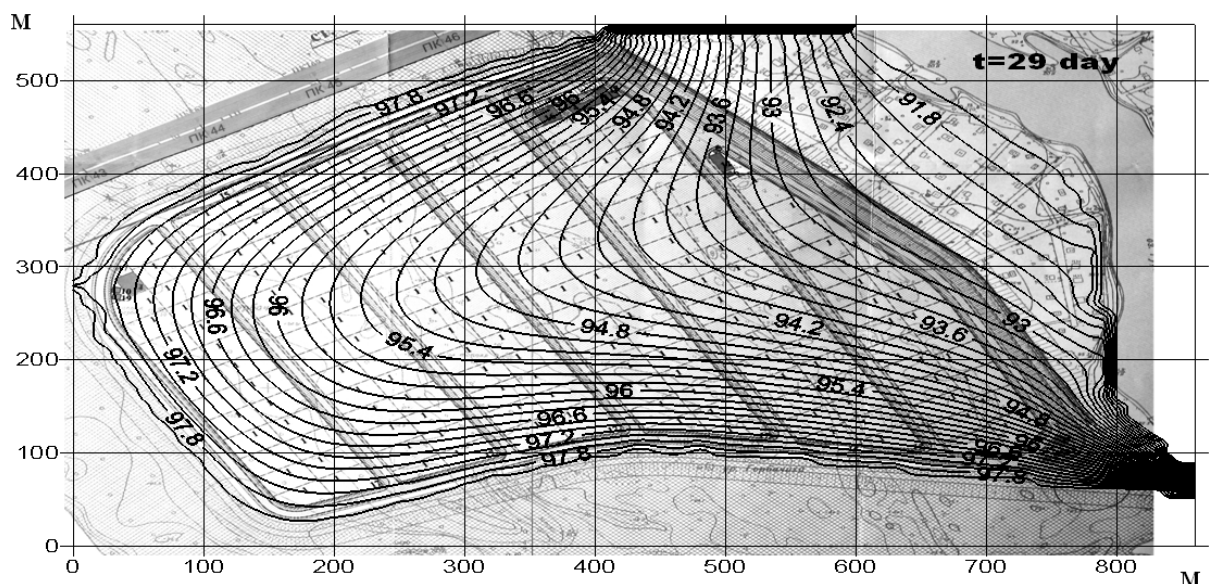
де  $\operatorname{erfc}(\lambda)$  - додаткова функція помилок, яка затабулована і для розв'язання фільтраційних задач наведена в роботах [1,4].

Якщо територія, для якої виконується прогнозування змін РГВ, розташована поблизу сильно викривленої ділянки берега водосховища, то доцільно використати планову двовимірну модель нестационарної фільтрації на базі рівняння Бусинеска [2]

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k(h-m) \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k(h-m) \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \varepsilon, \quad (5)$$

де  $x, y$  - планові координати області моделювання;  $H = H(x, y, t)$  - відмітки РГВ;  $m$  - відмітки водоопірного шару;  $\varepsilon$  - інтенсивність інфільтраційного живлення ґрунтових вод за рахунок атмосферних опадів і поверхневого зрошення.

Інші коефіцієнти мають такі ж значення, як для рівняння (1)



**Рис. 2 – Ізолінії РГВ (метри) у момент часу  $t=29$  діб від початку прогнозного періоду**

Деякі аспекти математичного моделювання підтоплення територій ґрунтовими водами у зонах впливу водосховищ

Для розв'язання рівняння (5) також задаються початкові й граничні умови, що відображають особливості природних і антропогенних факторів, які впливають на розвиток процесів підтоплення територій.

Розв'язання рівняння для практичних випадків можливо тільки за допомогою наближених обчислювальних методів (зокрема – методу скінченних різниць [5-7] за допомогою спеціальних програм для ПК.

В якості прикладу на рис. 2 показані результати моделювання РГВ (у вигляді ізоліній РГВ) на території земельних ділянок при підйомі рівня води у річці.

### **Висновки.**

1. На першому етапі досліджень математична модель прогнозування підтоплення територій ґрунтовими водами в зоні впливу конкретного водосховища повинна бути найпростішою.

2. Подальші дослідження повинні бути скеровані на створення баз вихідних даних з метою застосування більш складних математичних моделей і уточнення результатів прогнозів для особливо відповідальних ділянок місцевості з урахуванням додаткової інформації і вимог, щодо допустимих глибин РГВ.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. - М.: Изд-во МГУ, 1973, - 326 с.
2. Полубаринова - Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. - М.: Наука, 1977. - 664 с.
3. Фильтрация из водохранилищ и прудов.// Под ред. Н.Н. Веригина - М.: Колос, 1975. - 304 с.
4. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. //Под ред. Н.Н. Веригина. - М.: Колос, 1970. - 439 с.
5. Добронравов А.А., Кремез В.С., Сирый В.С. Расчет на ЭВМ нестационарной фильтрации в районах гидротехнических сооружений. - Киев: Наук. думка, 1980. -184 с.
6. Добронравов А.А., Кремез В.С. Расчет колебания расходов и уровней свободной поверхности фильтрационного потока в берегах наливных водохранилищ // Гидравлика и гидротехника. - К.: Техніка. - 1983, вып. 36. – С.11-18
7. Олейник А.Я., Кремез В.С., Добронравов А.А. Математическое моделирование экологических катастроф, связанных с изме-

- нением режима грунтовых вод // Сучасні проблеми теорії фільтрації. – Рівне: Вісник УДАВГ. -1998. - С. 113-118.
8. Методические рекомендации по прогнозированию подтопления берегов водохранилищ и использованию подтопленных земель// - Л.: Изд-во ВНИИГ им Б.Е. Веденеева, 1978. – 87с.
9. Методические рекомендации по расчетам защиты территорий от подтопления// Науч. рук. А.Я.Олейник, отв.исп. В.С.Кремез. - Киев: ИГМ НАНУ - Укргипроводхоз. - 392с.

## УДК 614.8

*Горносталь С.А., преп., УГЗУ,  
Петухова Е.А., канд. техн наук, доц., УГЗУ,  
Созник А.П., д-р физ.-мат. наук, проф., УГЗУ*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ В ИДЕАЛЬНЫХ И РЕАЛЬНЫХ АЭРОТЕНКАХ**

На основе обобщения моделей биологической очистки в идеальных аэротенках предпринята попытка описать явления очистки в реальных сооружениях. Показано, что такие модели не пригодны для этих целей. Предложена новая математическая модель, результаты расчетов по которой позволят разработать рекомендации по предотвращению чрезвычайных ситуаций, связанных с попаданием в водоем недостаточно очищенных сточных вод.

**Ключевые слова:** биологическая очистка, аэротенк, модели

**Постановка проблемы.** Проблеме возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с нарушением процессов сбора, передачи и очистки сточных вод в настоящее время уделяется повышенное внимание. Традиционные технологии биологической очистки сточных вод имеют ряд недостатков, и для крупных очистных сооружений до сих пор важной практической задачей остается вопрос соблюдения норматива предельно допустимых сбросов, значение которого все время ужесточается. В современных условиях, учитывая масштабы сооружений очистки, наиболее перспективным с экономической точки зрения является путь улучшения качества очистки. Для этого необходимо иметь адекватные математические модели, которые позволили бы описать процессы, про-

---

исходящие в действующих аэротенках, и установить какие изменяемые параметры аэротенка и как влияют на качество очистки, что позволит создать рекомендации по предотвращению чрезвычайных ситуаций, связанных со сбросом в водоемы очищенных вод, с концентрацией загрязнений превышающей предельно допустимые значения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Созданию математических моделей процессов, происходящих в сооружениях биологической очистки, посвящено много публикаций. В частности, в [1] детально проанализированы известные модели типа Моно, Герберта, Иерусалимского, Кенейла, Гюнтер – Запрудского и других авторов. Показано, что указанные модели в той или иной мере удовлетворительно описывают явления очистки в различных аэротенках идеального типа.

**Постановка задачи и ее решение.** На комплексе биологической очистки «Диканевский» (КБОД) подача сточных вод осуществляется рассредоточено по всей длине второго коридора через четыре подающих окна, с возможностью регулирования их подачи с помощью шиберных заслонок, а активный ил подается в первый коридор аэротенка на регенерацию. Такую конструкцию нельзя отнести ни к одному из типов аэротенков, рассмотренных в [1-4]. Поэтому возникает вопрос, который и рассматривается в данной работе: применимы ли известные модели или необходимо создание новых моделей для описания процессов в действующем аэротенке.

В [5] нами была обобщена модель Герберта, являющаяся модификацией модели Моно, с учетом процессов аэрации и образования в результате дисперсных бактерий, а также с учетом явления автолиза [4]

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\mu L}{K_L + L} X - \beta X + k_4 S X + k_2 G X Z - k_1 G^m X, \quad (1)$$

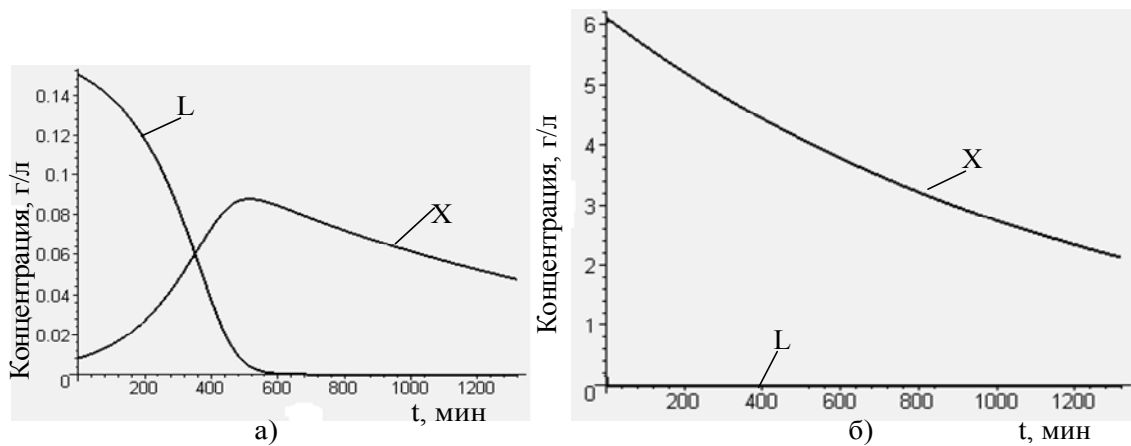
$$\frac{dZ}{dt} = \frac{\mu L}{K_L + L} Z - \lambda Z + k_4 S Z + k_1 G^m X - k_2 G Z X, \quad (2)$$

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{1}{Y} \frac{\mu}{K_L + L} (X + Z) L, \quad (3)$$

$$\frac{dS}{dt} = (k_3 - k_4 S)(X + Z), \quad (4)$$

где  $X$ ,  $Z$ ,  $S$ ,  $L$  - концентрации, соответственно, хлопьев, дисперсных бактерий, продуктов автолиза и загрязнений;  $\mu$  - максимальная удельная скорость роста хлопьев;  $K_L$  - константа полунасыщения,  $k_1$  - скорость эрозии хлопьев,  $k_2$  - константа, характеризующая скорость агрегации хлопьев;  $G$  - градиент скорости в турбулентном потоке;  $\beta$  и  $\lambda$  - удельные скорости убывания соответственно хлопьев и дисперсных бактерий;  $k_3$  и  $k_4$  - константы, определяющие скорость образования и окисления продуктов автолиза,  $m$  - константа,  $Y$  - коэффициент трансформации.

Решая систему уравнений (1)-(4) с параметрами  $\mu = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ мин}^{-1}$ ,  $K_L = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ г/л}$ ,  $Y = 0,85$ ,  $\beta = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$  [1] и различными начальными условиями, пренебрегая явлениями аэрации и автолиза, получаем результаты представленные на рис. 1. Из рисунка видно, что кривая, описывающая изменение  $X$ , совпадает с экспериментальной кривой роста и убывания биомассы активного ила при небольшой начальной дозе ила в пределах  $a_{ex} = 0,008 \div 0,02 \text{ г/л}$  и  $L_{ex} = 0,15 \text{ г/л}$  (рис. 1а).



**Рис. 1 – Изменение концентрации субстрата  $L$  и дозы активного ила  $X$ : а) при начальной дозе ила  $0,008 \text{ г/л}$ ; б) при начальной дозе ила  $6 \text{ г/л}$**

Однако, в действительности на входе в регенератор аэротенка - смесителя доза ила должна составлять около  $a_{ex} = 6 \text{ г/л}$ . При таких начальных условиях концентрация субстрата практически мгновенно уменьшается до нуля, происходит не возрастание, а

убывание биомассы ила, концентрация которой за 20 часов уменьшается в три раза (рис.1 б), что не соответствует экспериментальным данным.

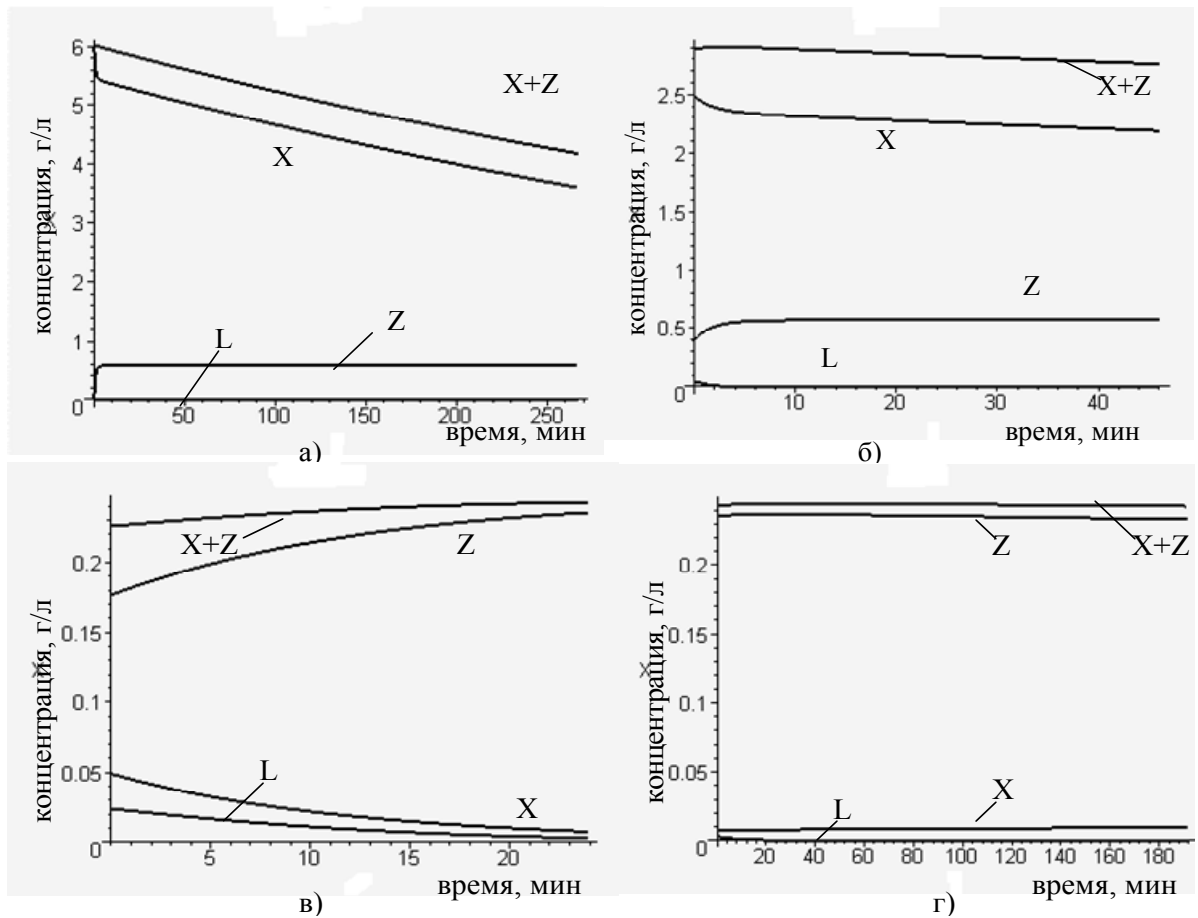
Для описания процессов в системе аэротенк – вторичный отстойник для сооружений КБОД нами предложена физическая модель [6], согласно которой весь процесс можно разделить на четыре фазы. Для описания явлений в первых трех фазах была использована система уравнений (1)–(4), решение которой без учета продуктов автолиза находилось нами для каждой фазы отдельно, а фаза 2 с учетом распределенной подачи сточных вод разбивалась дополнительно на четыре подфазы. Значения, полученные в результате численного решения системы уравнений для каждой фазы, являются начальными условиями для последующей фазы биологической очистки. Расчеты были выполнены при условиях, которые соответствуют работе сооружений на КБОД. Расход активного ила, подаваемого в регенератор,  $q_u = 25,2 \text{ м}^3/\text{мин}$ , доза ила  $a_u = 6 \text{ г/л}$ , а концентрация остаточных загрязнений на входе в регенератор  $L_i = 0,015 \text{ г/л}$ . Предполагаем также, что концентрация дисперсных бактерий  $Z_i \approx 0$ . Расход сточных вод составляет  $q_{ce} = 45,13 \text{ м}^3/\text{мин}$  с концентрацией загрязнений  $L_{ce} = 0,15 \text{ г/л}$ . С учетом разной интенсивности подачи воздуха в фазах 1, 2 и фазе 3 нами были приняты соответствующие значения параметров  $G = G_{1-2} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ мин}^{-1}$  и  $G = G_3 = 1,6 \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$  [1]. Результаты расчетов при указанных выше величинах и при значениях параметров  $m = 2$ ,  $k_1 = 5 \cdot 10^{-10} \text{ мин}$ ,  $k_2 = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ л/г}$ , взятых из [1], приведены на рис. 2.

Из рис. 2а видно, что в первой фазе (в регенераторе) происходит снижение концентрации хлопьев и субстрата, увеличение концентрации дисперсных бактерий.

На выходе из регенератора получаем значения  $X = 3,6 \text{ г/л}$ ,  $Z = 0 \text{ г/л}$ ,  $L \approx 0 \text{ г/л}$ , причем значение  $X$  по величине близко к измеряемым величинам. На выходе из второй фазы очистки было получено (рис.2 в), что концентрация хлопьев снижается практически до нуля, а концентрация дисперсных бактерий возрастает до  $Z = 0,24 \text{ г/л}$ . В конце третьей фазы (рис. 2 г) получаем следующие значения концентраций:  $X = 0,08 \text{ г/л}$ ,  $Z = 0,25 \text{ г/л}$ ,  $L \approx 0$ . Доза активного ила  $a = X + Z = 0,33 \text{ г/л}$  на выходе из аэротенка

существенно меньше экспериментального значения  $a_9 = 3 - 4$  г/л.

При этом основную часть составляют дисперсные бактерии, которые практически не оседают во вторичном отстойнике, а составляющая хлопьев не превышает 25%. Значение концентрации субстрата также значительно меньше измеряемых величин  $L_9 \approx 0,015$  г/л. Полученные значения концентраций хлопьев и дисперсных бактерий соответствуют явлению вспухания ила и выносу его в водоем.



**Рис. 2 – Изменение концентраций: а) первая фаза; б), в) вторая фаза: 1-й и 4-й впуски сточных вод соответственно, г) третья фаза**

Нами были предприняты попытки улучшить согласие результатов расчетов с экспериментальными значениями  $X$  и  $L$  путем введения вместо одного параметра  $\mu$  двух  $\mu_X$  и  $\mu_Z$  в формулах (1), (2) и (3), а также путем варьирования параметров  $G_{1,2}$  и  $G_3$ , значения которых согласно [1] могут изменяться в определенных пределах. Однако такие расчеты, а также учет уравнения (4)

не позволили улучшить согласие полученных значений  $a$  и  $L$  с экспериментальными величинами. Таким образом, можно сделать вывод, что уравнения, предложенные для описания процессов биологической очистки сточных вод в идеальных аэротенках, не дают удовлетворительного описания процессов в реальных аэротенках. В связи с этим нами была предложена другая математическая модель для описания процессов, происходящих в реальном аэротенке, в основу которой положена работа [7]

$$\frac{dX}{dt} = (-a_x + b_x L)X + k_2 GXZ - k_1 G^m X + k_4 SX \quad (5)$$

$$\frac{dZ}{dt} = (-a_z + b_z L)Z - k_2 GXZ + k_1 G^m X + k_4 SZ \quad (6)$$

$$\frac{dL}{dt} = -(g_x X + g_z Z)L \quad (7)$$

$$\frac{dS}{dt} = (k_3 - k_4 S)(X + Z), \quad (8)$$

где  $a_x$ ,  $a_z$  - скорости отмирания хлопьев и дисперсных бактерий;  $b_x$ ,  $b_z$  - константы, характеризующие скорости образования хлопьев и дисперсных бактерий за счет размножения,  $g_x$ ,  $g_z$  - скорости потребления субстрата хлопьями и дисперсными бактериями.

В уравнениях (5) и (6) первые слагаемые соответствуют модели [7] для двух хищников, которые потребляют одинаковую пищу. Второе слагаемое в (5) описывает увеличение концентрации хлопьев за счет процесса агрегации дисперсных бактерий в хлопья, а третье слагаемое учитывает убывание хлопьев за счет эрозии, следствием чего является образование дисперсных бактерий. В уравнении (6) второе слагаемое описывает уменьшение концентрации дисперсных бактерий за счет процесса агрегации, а третье слагаемое учитывает увеличение концентрации дисперсных бактерий за счет эрозии хлопьев [1]. Уравнение (7) описывает изменение концентрации загрязнений, в зависимости от скоростей потребления субстрата хлопьями и дисперсными бактериями. Уравнение (8) совпадает с уравнением (4).



Решая уравнения (5)-(8) без учета  $S$  при тех же начальных условиях, что и для уравнений (1)-(4), получаем результаты, приведенные на рис. 3.

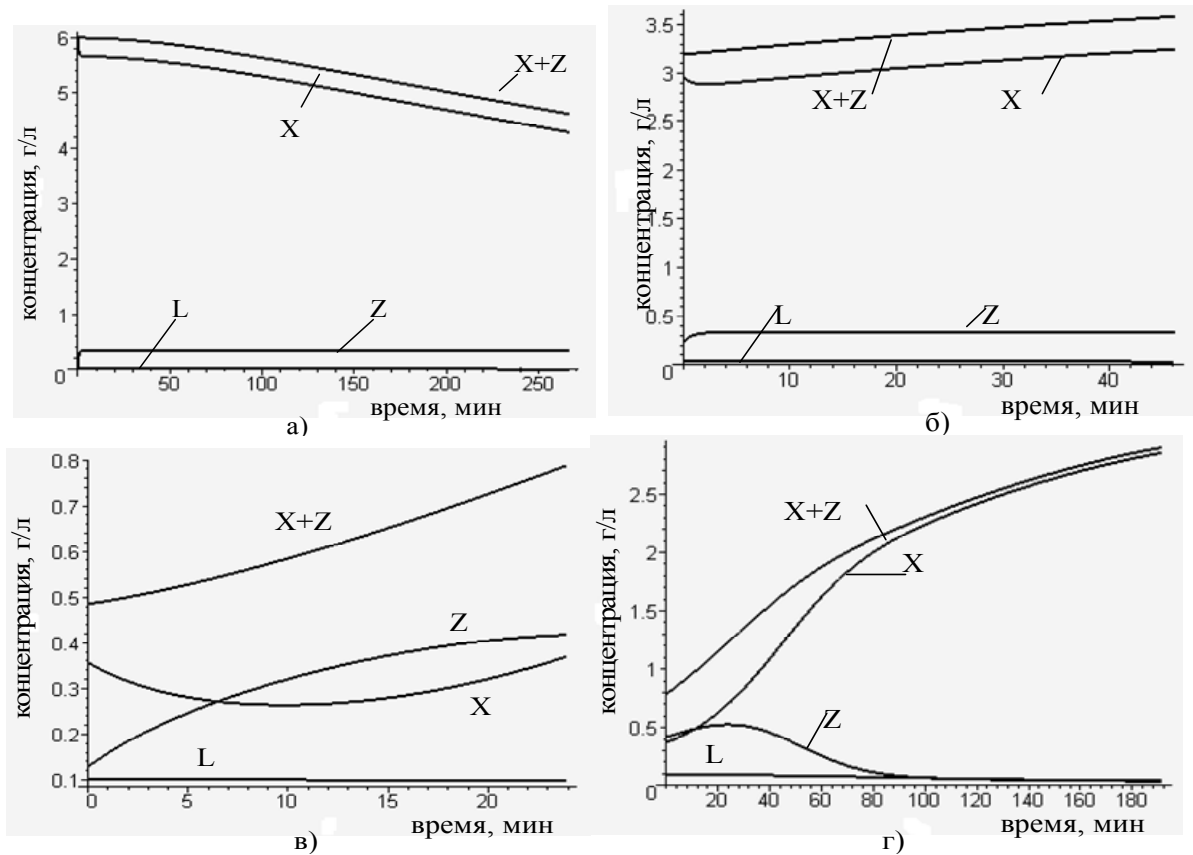


Рис. 3 – Изменение концентраций: а) первая фаза; б), в) вторая фаза: 1-й и 4-й выпуски сточных вод соответственно, г) третья фаза

Расчеты выполнены при следующих значениях параметров:  $a_x = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ ,  $b_x = 7 \cdot 10^{-2} \text{ л}/(\text{г} \cdot \text{мин})$ ,  $a_z = 3 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ ,  $b_z = 3,7 \cdot 10^{-1} \text{ л}/(\text{г} \cdot \text{мин})$ ,  $g_x = g_z = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ л}/(\text{г} \cdot \text{мин})$ ,  $G_{1-2} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ мин}^{-1}$  и  $G_3 = 2 \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$ ,  $k_1 = 5 \cdot 10^{-10} \text{ мин}$ ,  $k_2 = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ л}/\text{г}$ . Отметим, что значения пяти параметров  $a_x$ ,  $a_z$ ,  $b_x$ ,  $g_x$ ,  $g_z$  находились нами путем подбора к известному значению концентрации хлопьев  $X$  на выходе из аэротенка, а остальные взяты из [1]. На выходе из третьей фазы получаем значения концентраций  $X = 2,85 \text{ г}/\text{л}$ ,  $Z \geq 0 \text{ г}/\text{л}$ ,  $L \approx 0,015 \text{ г}/\text{л}$ . При этом скорость образования дисперсных бактерий  $b_z$  примерно в 5 раз больше скорости роста хлопьев  $b_x$ , а скорость отмирания больше в 2,6 раза с учетом того, что ско-

рости потребления субстрата  $g_x$  и  $g_z$  одинаковы. Такой вывод согласуется с представлением о том, что дисперсные бактерии играют существенную роль в биологической очистке сточных вод [1, 8].

Из сравнения концентраций, представленных на рис. 2 и 3, можно сделать выводы, что результаты расчетов по изложенным моделям начинают существенно отличаться, начиная со второй фазы. Кроме того, на всех этапах второй фазы (рис. 3 б-в) модель (5)-(8) приводит к тому, что концентрация хлопьев сначала уменьшается, а затем возрастает. В конце второй фазы модель (1) – (4) дает значительное превышение концентрации дисперсных бактерий по сравнению с концентрацией хлопьев. При использовании модели (5) – (8) значения этих концентраций примерно одинаковы (рис. 3 в), при этом концентрация хлопьев имеет тенденцию к возрастанию. Особенно значительно отличие в описании моделями (1) – (4) и (5) – (8) процессов в третьей фазе, где предложенная нами модель приводит к почти полной агрегации дисперсных бактерий хлопьями ила так, что возрастание концентрации ила идет, в основном, за счет увеличения концентрации хлопьев. Такой результат хорошо согласуется с процессами, происходящими в реальных аэротенках.

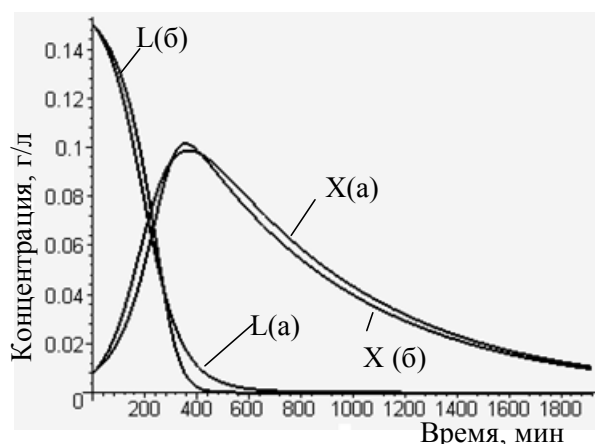
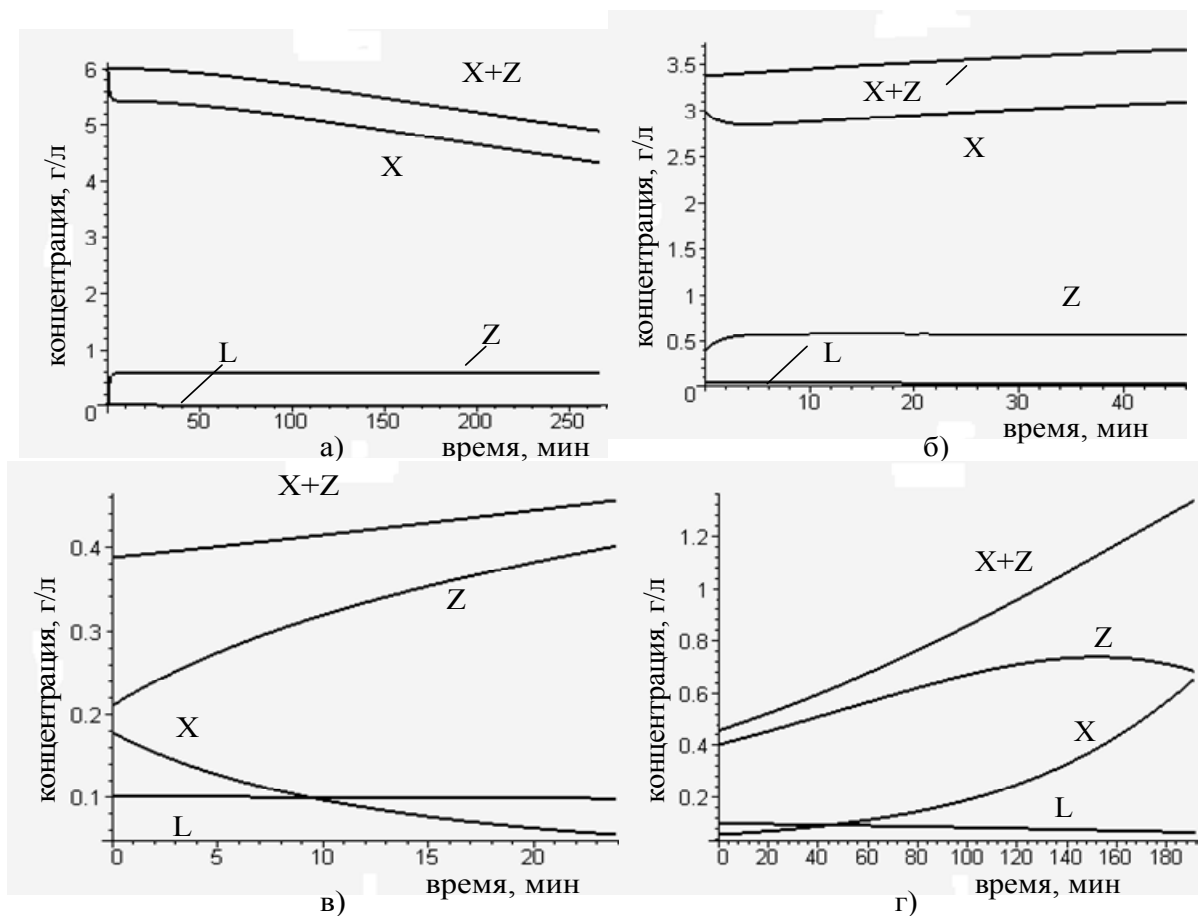


Рис. 4 – Зависимости изменения концентраций хлопьев и загрязнений: а) для модели (1) – (4); б) для модели (5) – (8)

Отметим, что нашу модель (5) – (8) можно согласовать с моделью Моно – Герберта для идеальных аэротенков при таких значениях параметров  $a_x = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ ,  $b_x = 9,9 \cdot 10^{-2} \text{ л}/(\text{г} \cdot \text{мин})$ ,  $a_z = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ ,  $b_z = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ л}/(\text{г} \cdot \text{мин})$ ,  $g_x = g_z = 1,08 \cdot 10^{-1} \text{ л}/(\text{г} \cdot \text{мин})$ . Зависимости концентраций, полученные в результате

решения уравнений (1) – (4) и (5) – (8) с учетом только  $X$  и  $L$  при  $k_1 = k_2 = 0$  (идеальный аэротенк – смеситель) показаны на рис. 4.

Таким образом, уравнения (5)-(8) могут описывать также и процессы, происходящие в аэротенках идеального типа. Проведенные нами исследования показали, что модель (5)-(8) при значениях параметров соответствующих результатам, приведенным на рис. 3, можно для идеального аэротенка согласовать с моделью (1)-(4) при таких параметрах:  $\mu = 3,5 \cdot 10^{-1} \text{ мин}^{-1}$ ,  $K_L = 4,77 \text{ г/л}$ ,  $Y = 27$ ,  $\beta = 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ . Решая тогда систему уравнений (1)-(4) при прежних значениях остальных параметров, получаем результаты, которые представлены на рис. 5.



**Рис. 5 – Изменение концентраций: а) в первой фазе (регенераторе); б), в) во второй фазе: при 1-м и 4-м впусках сточных вод соответственно; г) в третьей фазе**

Результаты таких расчетов показывают, что зависимости концентраций от времени принципиально не отличаются между собой на рис. 3 а, б и рис. 5 а, б. Отличия в концентрациях возни-

кают, начиная с середины второй фазы. При этом использование модели (1)-(4) снова приводит к уменьшению концентрации хлопьев на выходе из второго коридора аэротенка. Получаем, как и на рис. 2 в, что концентрация дисперсных бактерий значительно превышает концентрацию хлопьев.

В результате на выходе из третьей фазы концентрации хлопьев и дисперсных бактерий  $X = 0,6$  г/л,  $Z = 0,6$  г/л имеют практически одинаковые значения, а концентрация субстрата  $L = 0,08$  г/л. Указанные значения концентраций на выходе из аэротенка существенно отличаются от экспериментально измеренных значений:  $X_9 = 3 - 4$  г/л,  $Z_9 \geq 0$  г/л,  $L_9 \approx 0,015$  г/л.

**Выводы.** Значения концентраций  $X$  и  $L$ , получаемые при решении системы уравнений (1) – (4) или (5) – (8) являются начальными условиями для описания процессов в четвертой фазе очистки (вторичный отстойник), где должно происходить оседание хлопьев активного ила в процессе отстаивания. На выходе из аэротенка количество дисперсных бактерий должно быть минимальным, чтобы не допустить выноса ила из сооружений, так называемого вспухания ила. Проведенное нами исследование показывает, что модель, предназначенная для описания процессов в идеальных аэротенках и обобщенная для реальных аэротенков в виде уравнений (1)-(4), приводит к неудовлетворительным результатам. Поэтому нам представляется, что предложенная нами модель в виде уравнений (5)-(8) является более перспективной для изучения явлений в реальных аэротенках. В дальнейшем нами предполагается провести более детального анализа этих уравнений и установить, какие из управляемых параметров аэротенка оказывают наибольшее влияние на качество очистки сточных вод. В результате можно будет сформулировать рекомендации, которые будут способствовать уменьшению риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. М.: Наука, 1979. – 119 с.
2. Monod J. La technique de culture continue theorie and applications. – Ann. Institut Pasteur, 1950. – 79 с.

3. Herbert D. A theoretical analysis of continuous culture systems. – In: Symp. Of continuous of microorganisms, 1960. L., 1961. Sc. I, monogr. N 12, p. 44-52.
4. Олійник О.Я., Зябліков С.М. Особливості моделювання очистки стічних вод у системі аэротенк-відстійник-регенератор Зб.наук.пр. “Проблеми водопостач., водовідвед. та гідравліки”. — Київ: - Вип. 4, 2005. — С. 46-53.
5. Горносталь С.А., Созник А.П. Построение математической модели процессов, происходящих в регенераторе аэротенка. Проблемы надзв. ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗУ. Вип.7.- Харків: УЦЗУ, 2008. – С.51-57.
6. Горносталь С.А., Созник А.П. Описание процессов, происходящих в системе аэротенк – вторичный отстойник, и их физическое моделирование. Наук. - техн. зб. Серія: Технічні науки та архітектура, вип.81. – Киев: Техніка, 2008. – С. 133-139.
7. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1976. - 288 с.
8. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М. Акварос, 2003. – 512 с.

*Квітковський Ю.В., викл., УЦЗУ*

## **МОДЕЛЮВАННЯ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДИХ ТІЛ З ПЕРЕШКОДОЮ З УРАХУВАННЯМ МОДЕЛІ РУЙНУВАННЯ ЕРОЗІЙНОГО ТИПУ**

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

Досліджено процеси ударної взаємодії декількох компактних тіл з перешкодою у тривимірній постановці з використанням моделі руйнування ерозійного типу

**Ключові слова:** модель, удар, груповий удар, навантаження, зіткнення, перешкода

**Постановка проблеми.** Як вже було зазначено раніше [1, 2], в Україні існує лише один нормативний документ, який регламентує процес проектування споруд цивільного захисту, а саме ДБН В.2.2.5-97 «Захисні споруди цивільної оборони» [3]. Розрахунок захисних конструкцій з залізобетону у [3] рекомендується проводити згідно з вимогами СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции» [4], де не розглядаються випадки прикладання до конструкцій зосереджених динамічних навантажень, тим більше, коли йдеться про удар декількох твердих тіл, що приходиться на майданчик обмеженого розміру. ДБН В.1.2-2-2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» [5] також не описує зосереджених ударних навантажень, що прикладаються до основних несучих конструкцій. Відтак, у нормативній літературі не наводиться й методики розрахунку несучих залізобетонних конструкцій, що сприйматимуть ударні навантаження одночасно від декількох твердих тіл.

З вище наведеного випливає проблема недостатньої забезпеченості міцностних характеристик споруд цивільної оборони, а відтак і недостатнього захисту людей, які в них переховуються під час надзвичайних ситуацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним зі складних завдань механіки суцільного середовища є дослідження процесів взаємодії декількох тіл з перешкодою в умовах високошвидкісного ударного навантаження. Як у експериментальному, так і в теоретичному плані проблемам групового удару дотепер приділя-

лося мало уваги через великі матеріальні витрати на реалізацію натурних випробувань. У [6, 7] чисельно досліджувалися особливості процесів зіткнення двох тіл з пластиною в двовимірній плоско-деформаційній постановці і був показаний взаємний вплив високошвидкісних частинок на кінцевий результат взаємодії. Проте чисельне моделювання в плоскій постановці, особливо завершальних стадій деформації і руйнування, може давати результати, що якісно відрізняються від спостережуваних тривимірних експериментів [8]. У даній статті процеси високошвидкісної взаємодії декількох компактних тіл з перешкодою досліджуються в тривимірній постановці. Для опису руйнування матеріалу тіл у області значних пластичних деформацій застосовувалася модель руйнування ерозійного типу [9, 10].

**Постановка завдання та його вирішення.** Для моделювання процесів високошвидкісного ударного навантаження залізобетонної плити використовується модель ушкодженого середовища, що характеризується наявністю мікропорожнин (пір, тріщин). Загальний об'єм середовища  $W$  складають непошкоджена частина середовища, що займає об'єм  $W_s$  і що характеризується щільністю  $\rho_s$ , а також мікропорожнини, що займають об'єм  $W_f$ , в яких щільність вважається рівною нулю. Середня щільність ушкодженого середовища пов'язана з введеними параметрами співвідношенням  $\rho = \rho_s(W_s/W)$ . Ступінь пошкоженості середовища характеризується питомим об'ємом пір  $V_f = W_f/(W\rho)$ .

Система рівнянь, що описує нестационарні адіабатичні рухи середовища, що стискається, з урахуванням еволюції мікропошкоджень складається з рівнянь нерозривності, руху, енергії, зміни питомого об'єму пір [9, 10]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho v) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\rho dv_i}{dt} \sigma_{ij,j}; \quad (2)$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{\rho} \sigma_{ij} \varepsilon_{ij}; \quad (3)$$

$$\frac{dV_f}{dt} = 0, \quad (4)$$

якщо  $|P_s| \leq P^*$  або ( $P_s > P^*$  і  $V_f = 0$ ),

$$\frac{dV_f}{dt} = -\text{sign}(P_s) K_f (|P_s| - P^*) (V_2 + V_f), \quad (5)$$

якщо  $P_s < -P^*$  або ( $P_s > P^*$  і  $V_f > 0$ ),

де  $\rho$  — щільність,  $v$  — вектор швидкості,  $v_j$  — компоненти вектора швидкості,  $E$  — питома внутрішня енергія,  $\sigma_{ij} = -(P+Q)\delta_{ij} + S_{ij}$  — компоненти тензора напружень,  $\varepsilon_{ij}$  — компоненти тензора швидкостей деформацій,  $P_s$  — тиск в суцільній компоненті речовини,  $P = P_s(\rho/\rho_s)$  — середній тиск,  $Q$  — штучна в'язкість,  $P^* = P_k V_1 / (V_f + V_1)$ ,  $K_f$ ,  $P_k$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  — константи матеріалу.

Тиск в непошкодженій речовині є функцією питомого об'єму, внутрішньої енергії і питомого об'єму тріщин і у всьому діапазоні умов навантаження визначається за допомогою рівняння стану типу Мі-Грюнайзена [11]:

$$P_s = \rho_0 a^2 \mu + \rho_0 a^2 \left[ 1 - \frac{\gamma_0}{2} + 2(b-1) \right] \mu^2 + \rho_0 a^2 \left[ 2 \left( 1 - \frac{\gamma_0}{2} \right) (b-1) + 3(b-1)^2 \right] \mu^3 + \gamma_0 \rho_0 E \quad (6)$$

де  $\mu = V_0 / (V - V_f) - 1$ ,  $\gamma_0$  — коефіцієнт Грюнайзена  $V_0$  і  $V$  — початковий і поточний питомі об'єми,  $a$  і  $b$  — константи ударної адіабати Гюгоніо, що описується лінійними співвідношеннями  $u_s = a + bu_p$ , де  $u_s$  — швидкість ударної хвилі,  $u_p$  — масова швидкість речовини за фронтом ударної хвилі.

Відповідно до підходу [12], застосованого для розрахунку як компактування, так і пороутворення в умовах ударно-хвильового навантаження, в даній статті використані уявлення, згідно яким на зміну пористості впливає тільки кульова компонента напружень або тиск, а компоненти девіатору напружень обмежені незалежною девіаторною функцією текучості



$$2G \left( \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} \varepsilon_{kk} \delta_{ij} \right) = \frac{dS_{ij}^0}{dt} + \lambda S_{ij}, \quad (7)$$

де  $\frac{dS_{ij}^0}{dt}$   $\frac{dS_{ij}^0}{dt}$  — похідна за Яуманном. Параметр  $\lambda$  тотожно рівний нулю при пружній деформації, а за наявності пластичної — визначається за допомогою умови текучості Мізеса

$$S_{ij} S_{ij} = \frac{2}{3} \sigma^2. \quad (8)$$

Тут  $G$  — модуль зсуву,  $\sigma$  — динамічна межа текучості, що залежать від тиску, поточного рівня мікропошкоджень і температури згідно співвідношенням, приведеним у [11, 13, 14]. Для обчислення температури використовуються співвідношення, що якнайповніші приведені у [14].

Як критерій ерозійного руйнування матеріалу, що має місце у області інтенсивної взаємодії і деформації контактуючих тіл, використовується критичне значення питомої енергії зсувних деформацій [10]. Поточне значення цієї енергії обчислюється за допомогою формули

$$\rho \frac{dE_{sh}}{dt} = S_{ij} \varepsilon_{ij}, \quad (9)$$

індекси  $i, j$  приймають значення 1, 2, 3. Критична величина питомої енергії зсувних деформацій залежить від умов взаємодії і є функцією початкової швидкості удару

$$E_{sh}^c = a_{sh} + b_{sh} v_0, \quad (10)$$

де  $a_{sh}, b_{sh}$  - константи матеріалу. Коли

$$E_{sh} > E_{sh}^c \quad (11)$$

у розрахунковому осередку в області контактних меж, цей осередок вважається зруйнованим, а параметри сусідніх осередків коректуються з урахуванням законів зберігання.

**Висновки.** Розрахунки показують, що за заданих умов взаємодії спостерігається взаємний вплив процесів і утворення об'єднаної зони деформації і руйнування в перешкоді з екстремумами, відповідними кожному ударнику. Крім того, спостерігається додатковий осередок пошкоджень між останнім і середніми ударниками, обумовлений їх взаємним впливом.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Квітковський Ю.В., Малярчук О.П. Методика розрахунку несучих конструкцій цивільної оборони на загальну дію удару стороннього тіла / Проблеми надзвичайних ситуацій, вип. 6.: Харків, УЦЗУ, 2007, С. 58-62.
2. Квітковський Ю.В. Врахування дії локального удару на несучі конструкції споруд цивільної оборони / Проблеми надзвичайних ситуацій, вип. 6.: Харків, УЦЗУ, 2007, С. 52-58.
3. ДБН В.2.2-5-97. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони. Держкоммістобудування України. Київ, 1998 – 119 с.
4. СНиП 2.03.01-84\* Бетонные и железобетонные конструкции. Госстрой СССР, 1989 – 86 с.
5. ДБН В.1.2-2-2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. Держкоммістобудування України. Київ, 2006 – 110 с.
6. Хорев И.Е., Горельский В.А., Зелепугин С.А. Исследование релаксационных эффектов в пластине при синхронном контактировании с ней двух частиц. // Прикладная механика, № 6, 1989, С. 42-48.
7. Хорев И.Е., Горельский В.А., Зелепугин С.А. Разрушение и релаксационные эффекты в пластинах при синхронном контактировании с ними двух тел. // Проблемы прочности, № 7, 1992, С. 51 -55.
8. Горельский В.А., Зелепугин С.А., Толкачев В.Ф. Исследование пробивания преград при несимметричном высокоскоростном ударе с учетом разрушения и тепловых эффектов. // Известия АН. МТТ, № 5, 1994, С. 121-130.
9. Зелепугин С.А., Сидоров В.Н. Трехмерный расчет формирования зон разрушений в пластине при синхронном ударе трех частиц. // Математическое моделирование процессов в синергетических системах: Сборник статей, Улан-Удэ - Томск: Изд-во Том. ун-та, 1999, С. 181-183.

10. Хорев И.Е., Зелепугин С.А., Коняев А.А., Сидоров В.Н., Фортов В.Е. Разрушение преград группой высокоскоростных тел. // Доклады АН, 369, №4, 1999, С. 481-485.
11. Gust W.H. High impact deformation of metal cylinders at elevated temperatures. // J. Appl. Phys., 53, № 5, 1982, P. 3566-3575.
12. Херрман В. Определяющие уравнения уплотняющихся пористых материалов. "Проблемы теории пластичности", М.: Мир, 1976, С.178-216.
13. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. М.: "Янус-К", 1996.
14. Зелепугин С.А., Никуличев В.Б. Численное моделирование взаимодействия серы и алюминия при ударно-волновом нагружении. ФГВ, 36, № 6, 2000, С.186-191.

УДК 351.861

*Кириченко І.О., д-р військ. наук, гол. наук. співр.,  
НДЦ Академії ВВ МВС України,  
Неклонський І.М., ст. викл., УЦЗУ,  
Побережний А.А., нач. лаб., Академія ВВ МВС України*

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ  
ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМІВ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ ФОРМУВАННЯМИ  
СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ МНС УКРАЇНИ ТА ПІДРОЗДІЛАМИ  
ВНУТРІШНІХ ВІЙСЬК МВС УКРАЇНИ ПРИ ВИНИКНЕННІ  
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

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

З метою подальшого удосконалення та обґрунтування практики застосування методу математичного моделювання для забезпечення територіального управління запобіганням та ліквідацією надзвичайних ситуацій пропонується відповідне програмне забезпечення, яке дасть можливість систематизувати результати експертних оцінок та за допомогою математичного апарату вибрати найбільш ефективний механізм взаємодії між формуваннями рятувальних сил МНС України та інших сил єдиної державної системи цивільного захисту при виникненні надзвичайних ситуацій

**Ключові слова:** взаємодія, рятувальні формування, структурно-функціональний аналіз, надзвичайна ситуація

**Постановка проблеми.** Одним з пріоритетів національних інтересів України є забезпечення екологічно та техногенно безпечних умов життєдіяльності громадян і суспільства, а однією з важливих функцій суб'єктів забезпечення національної безпеки - розроблення науково обґрунтованих пропозицій і рекомендацій щодо прийняття управлінських рішень з метою захисту національних інтересів України [1].

Порушення нормальних умов життя і діяльності людей на території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, яка призвела (може призвести) до загибелі людей та (або) значних матеріальних втрат класифікується як надзвичайна ситуація.

Ефективність системи попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) безпосередньо залежить від налагодженої взаємодії між рятувальними формуваннями, основні засади якої визначені [2,3,4]. А це потребує побудови чітких організаційних структур управління, вдосконалення їхніх функцій в галузі профілактики і ліквідації НС та оперативного проведення аварійно-рятувальних робіт. При всій різноманітності сучасних підходів щодо проектування структур і удосконалення механізмів управління в їх основі закладено ідеї, пов'язані із структурно-функціональними особливостями управлінської системи. Але проблеми удосконалення системи взаємоузгоджених дій при ліквідації надзвичайної ситуації вирішуються, як правило, без науково-теоретичного забезпечення цих заходів, тобто відповідний аналіз структурно-функціональних особливостей підрозділів на основі науково обґрунтованої методики не проводиться.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відповідно [3,5] взаємодія планується і організовується завчасно шляхом розробки планів реагування на конкретні види надзвичайних ситуацій та планів взаємодії під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, які уточнюються щорічно. Безпосередня організація та координація робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру здійснюється відповідно [6] керівником з ліквідації НС та штабом. Мету й порядок взаємодії МНС України та інших організаційних систем (МОЗ, МВС і т.п.) під час виконання спільних завдань із запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру, які виникають на території країни, визначено відповідними керівними документами (спільними наказами), наприклад [7].

Однак механізму взаємодії, який би базувався на єдиній науково-методологічній основі, науково обґрунтованих пропозицій і рекомендацій щодо реалізації вище зазначених вимог жоден з документів не визначає. Наукове обґрунтування та методичне забезпечення побудови раціональних структур державного управління попередженням та ліквідацією НС на територіальному рівні розглянуті в роботі [8].

**Постановка завдання та його вирішення.** Для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями рятувальних сил МНС України та інших сил єдиної державної системи

цивільного захисту при виникненні надзвичайних ситуацій необхідно науково обґрунтовані пропозиції і рекомендації щодо прийняття управлінських рішень. Розробка таких пропозицій повинна передбачати застосування методу математичного моделювання окремих сфер державного управління і базуватись на основних положеннях теорії системного аналізу та аксіоматичних основах теорії взаємодії [9]

Вирішення цих завдань необхідно проводити разом із запровадженням загальнодержавної комп'ютеризованої системи контролю функціонування потенційно-небезпечних об'єктів з урахуванням новітніх систем оцінки рівнів ризику під час організації ліквідації НС.

	12	13	3	6	1	11	7	8	9	10	4	5	2	Sum
3	36	36	22	21	5	3	2	0	0	0	0	0	0	125
5	36	36	22	21	5	3	2	0	0	0	0	0	0	125
13	36	36	22	21	5	3	2	0	0	0	0	0	0	125
30	36	36	22	21	5	3	2	0	0	0	0	0	0	125
12	31	31	22	21	0	3	0	0	0	0	0	0	0	108
1	31	31	22	21	0	3	0	0	0	0	0	0	0	108
11	26	26	12	11	5	3	2	0	0	0	0	0	0	85
6	26	26	12	11	5	3	2	0	0	0	0	0	0	85
16	26	26	12	11	5	3	2	0	0	0	0	0	0	85
15	21	21	12	11	0	3	0	0	0	0	0	0	0	68
17	14	14	8	8	5	0	2	0	0	0	0	0	0	51
31	15	15	9	8	0	3	0	0	0	0	0	0	0	50
2	11	11	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42
18	6	6	0	0	5	0	2	0	0	0	0	0	0	19
10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Рис. 1 - Інтерфейс програми структурно-функціонального аналізу

З метою подальшого удосконалення та обґрунтування практики застосування методу математичного моделювання щодо окремих сфер державного управління, в тому числі і для структурно-функціонального забезпечення територіального управління запобіганням та ліквідацією надзвичайних ситуацій пропонується відповідне програмне забезпечення (одна із екранних форм інтерфейсу програми показана на рис.1), яке дасть можливість систематизувати результати експертних оцінок [10] системи взаємодії та за допомогою спеціального математичного апарату вибрати

найбільш ефективний механізм взаємодії аварійно-рятувальних формувань та інших підрозділів під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Програма реалізує положення аксіоматичних основ теорії взаємодії [9] і дозволяє аналізувати структурно-функціональні складові відповідної структурно-функціональної моделі організації взаємодії [11]. Робота програми протестована на прикладі аналізу механізму взаємодії рятувальних формувань МНС України та підрозділів ВВ МВС під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

№ п/п	Перелік завдань МНС	Перелік військових нарядів	Перелік способів дій військових нарядів
1	101. Аварії (катастрофи) на транспорті	29,30,31,32,33,34,39,41,42	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68
2	102. Пожежі, вибухи	29,30,33,39,40,41,42	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,37,38,39,40,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68
3	103. Аварії з викиданням (загрозою викидання) НУР на інших об'єктах	29,30,31,32,33,35,36,37,38,39,40,41	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68
4	104. Наявність у навколишньому середовищі шкідливих (забруднювачів)	29,35,36,37,38,40,42,44	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,41,48,49,50,51,52,53,54,55,56,59,60,61,65,66,67
5	105. Аварії з викиданням (загрозою викидання) РР (крім аварій на траї)	29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68
6	106. Раптове руйнування будівель та споруд	29,30,32,34,39,40,41,42,43,44	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,38,39,40,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68
7	107. Аварії в електроенергетичних системах	29,30,34,39,40,41,42,44	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,37,41,43,44,46,48,50,53,59,60,62,63,66,67,68
8	108. Аварії в системах хімізабезпечення	29,30,31,34,39,40,41,42,44	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,48,49,50,53,57,58,59,60,61,62,63,65,66,67
9	109. Аварії систем зв'язку та телекомунікацій	29,30,39,44	25,27,28,29,30,31,32,33,34,37,43,44,46,48,50,53
10	110. Аварії на очисних спорудах	29,30,31,34,36,38,39,40,41,42,44	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,43,44,45,46,48,49,50,53,59,60,62,63,64,65,66,67
11	111. Гидродинамічні аварії	29,30,31,32,34,36,38,39,40,41,42,43,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,55,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,55,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67
12	112. Аварії у системах нафтогазового промислового комплексу	29,30,31,32,33,34,36,38,39,42,44	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,53,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68
13	201. Геологічні НС	29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68
14	202. Метеорологічні НС	29,30,34,39,40,41,44	25,26,27,28,29,30,31,32,34,37,43,44,45,46,48,49,50,53,56,59,60,61,62,63,64
15	203. Гідрологічні морські НС	29,30,32,39,40,41,44	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,37,38,39,40,42,43,44,45,46,47,48,49,50,53,59,60,61,62,63,64
16	204. Гідрологічні прісноводні НС	29,30,32,34,36,39,40,41,43,44	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,55,57,58,59,60,61,62,63,64
17	205. Пожежі в природних екологічних системах	29,30,31,33,39,40,41,42,43,44	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,41,42,43,44,45,46,48,49,50,51,52,53,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68
18	206. Інфекційні захворювання людей	29,30,36,37,39,40,41,42,43,44	25,26,27,28,29,30,31,32,34,37,41,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,55,56,59,60,61,62,63,64,65,66,67
19	207. Масове отруєння людей	29,30,36,37,39,40,41,42,44	25,26,27,28,29,30,31,32,34,46,47,48,49,50,53,55,56,59,60,61,62,63,64,65,66,67
20	208. Інфекційні захворювання сільськогосподарських тварин	29,30,36,37,39,40,41,42,44	25,26,27,28,29,30,31,32,34,37,43,44,45,46,50,53,55,56,59,60,62,63,64,65,66,67
21	209. Масове отруєння сільськогосподарських тварин	29,30,36,37,39,40,41,42	25,26,27,28,29,30,31,32,34,41,43,44,45,46,47,48,49,50,53,55,56,59,60,61,62,63,64,65,66,67
22	210. Масове забруднення диких тварин	29,30,36,37,39,40,41,42,44	25,26,27,28,29,30,31,32,34,37,43,44,45,46,47,48,49,50,53,55,56,59,60,63,64,65,66,67
23	211. Ураження сільськогосподарських рослин хворобами та шкідниками	29,30,36,37,39,40,41,42,44	25,26,27,28,29,30,31,32,34,37,43,44,45,46,47,48,50,53,55,56,59,60,61,62,63,64,65,66,67

Рис. 2 - Структурно-функціональний базис МНС (визначаються перелік задач МНС, відповідних підрозділів та способів дій, якими вони будуть виконувати ці завдання)

№ п/п	Перелік завдань ВВ МВС	Перелік військових нарядів	Перелік способів дій військових нарядів
1	1. Участь в охороні громадського порядку та боротьбі зі злочинністю.	3,9,12,26	1,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,23
2	2. Охорона об'єктів МТЗ МВС України.	2,19	1,4,8,11,12,13,15,20
3	3. Охорона та оборона особливо важливих державних об'єктів.	1,2,4,8,11,15,17,19,28	1,4,8,11,12,13,15,20
4	4. Супроводження спеціальних вантажів.	2,11,17	7,11,12,15
5	5. Здійснення пропускового режиму на об'єктах, що охороняються.	2,19	11,12
6	6. Участь у ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.	2,4,8,11,15,17,19,28	1,2,3,5,10,13,16
7	7. Охорона ДП та консульств іноземних держав на території України.	2,11,12	3,4,6,7,12,15,16,20
8	8. Конвоювання засуджених та осіб, взятих під варту.	2	4,5,7,9,11,12,13
9	9. Охорона підсудних під час судового засідання.	2,7	9,11,12,15,20
10	10. Участь у екстрадиції.	2	3,11,15
11	11. Переслідування і затримання заарештованих і засуджених осіб.	10,11,16,19,23,24,26	2,4,6,8,9,11,12,13,14,19
12	12. Участь в забезпеченні правового режиму надзвичайного стану.	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,11,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,24	
13	13. Виконання завдань з локалізації та припинення ВЗК	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,11,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24	

Рис. 3 - Структурно-функціональний базис ВВ МВС (визначаються перелік задач ВВ МВС, відповідних підрозділів та способів дій, якими вони будуть виконувати ці завдання)

Перед переходом до математичного моделювання відповідного механізму взаємодії за допомогою вказаної програми експертам пропонується за результатами попередніх оцінок вихідних даних

Програмне забезпечення для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями сил цивільного захисту МНС України та підрозділами внутрішніх військ МВС України при виникненні надзвичайних ситуацій

(оперативно-тактична характеристика об'єкта, результати аналізу ризиків виникнення НС, статистичний аналіз виникнення НС, зміст аварійно-рятувальних робіт, організаційно-штатна структура та тактичні можливості підрозділів, що залучаються) скласти 4 вихідні таблиці, які потім будуть обробляться відповідною програмою (рис.2-5).

№ п/п	Перелік способів дій військових нарядів	ВВ МВС	№ способу МНС
1	Аварійно-рятувальні роботи		1,32,39,40,42,43,44,45,46,47,48,49,50,
2	Блокування		2,55,
3	Взаємодітримка		3,45,
4	Виявлення		4,39,
5	Евакуація		5,40,51,
6	Затримання		6,
7	Захист		7,
8	Знешкодження		8,
9	Конвоювання		9,
10	Надання взаємодопомоги		10,45,
11	Обшук		11,52,55,
12	Огляд		12,52,55,
13	Оповіщення		13,32,
14	Оточення		14,40,52,54,55,57,
15	Охорона		15,33,52,54,55,57,
16	Патрулювання		16,52,57,
17	Передислокація		17,
18	Переміщення		18,
19	Пошук		19,39,40,
20	Прикриття		20,

**Рис. 4 - Функціональний базис взаємодії (визначаються перелік способів дій ВВ МВС і відповідних способів дій МНС в ході застосування яких необхідна взаємодія)**

№ п/п	Перелік військових нарядів	ВВ МВС	№ нарядів від МНС	Перелік способів дій військових
1	Блокпост		1,	2,6,15,19,
2	Варта		2,	7,15,
3	Група документування		3,42,	4,
4	Група забезпечення		4,31,39,	10,
5	Група застосування спеціальних засобів		5,	3,7,20,
6	Група зв'язку		6,30,	3,10,13,
7	Група конвоювання		7,	9,11,12,15,
8	Група наземної розвідки		8,32,	4,13,24,
9	Група організації дорожнього руху		9,32,43,	2,6,11,12,
10	Група оточення		10,32,33,	6,8,15,20,
11	Група охорони		11,31,32,	15,
12	Група патрулювання		12,31,43,	6,11,12,16,
13	Група повітряної розвідки		13,32,	4,10,13,
14	Група стримування		14,	7,14,
15	Група супроводження		15,	7,15,18,
16	Група фільтрації		16,	4,6,11,12,
17	Група пожежогасіння		17,32,33,	1,
18	Група бойових плазців		18,	6,8,15,19,
19	Контрольно-пропускний пункт		19,31,	4,
20	Маневрена група		20,	3,6,7,8,10,18,20,
21	Медичний пункт (пост)		21,32,37,	10,
22	Пост спостереження		22,31,32,	12,13,
23	Пошукова група		23,32,	4,8,10,11,12,19,
24	Розшукова група		24,	4,6,8,19,
25	Розшуково-пошукова група		25,	4,6,8,19,24,
26	Розшуковий пост		26,	4,6,8,19,
27	Фільтраційний пункт		27,	4,6,15,
28	Штурмова група		28,	6,8,
29	Група управління		29,	25,26,27,28,29,30,31,
30	Група зв'язку та інформаційно-аналітичного забезпечення		6,30,	13,32,33,34,
31	Командантська група		4,11,12,19,22,31,	35,36,37,38,
32	Група аварійно-рятувальних робіт		8,9,10,11,13,17,21,22,23,32,	39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,
33	Група організації пожежогасіння		10,17,33,	40,42,43,44,45,46,47,48,49,50,68,
34	Група відновлення транспортної інфраструктури (об'єктів життєзабезпечення)		34,	39,41,43,44,45,46,48,50,53,
35	Група РХБ захисту		35,	39,41,47,48,54,55,
36	Група екологічного моніторингу		36,	43,44,46,48,50,53,55,
37	Група моніторингу здоров'я населення		21,37,	41,46,47,49,56,
38	Група рекультивациі забруднених територій		38,	41,43,44,46,48,50,53,
39	Група матеріально-технічного забезпечення		4,39,	37,38,53,57,58,
40	Група по роботі з населенням		40,	48,59,60,61,
41	Група взаємодії із засобами масової інформації		41,	62,63,64,
42	Група дізнання		3,42,	66,66,67,
43	Група планування та організації евакуації населення		9,12,43,	25,51,52,
44	Група напрямків		44,	13,25,31,48,

**Рис. 5 - Структурно-функціональний базис взаємодії (визначаються перелік підрозділів ВВ МВС і відповідних підрозділів МНС в ході залучення яких необхідна взаємодія при застосуванні відповідних способів дій)**



Таблиці можуть відпрацьовуватись безпосередньо в програмі або в редакторі Microsoft Excel а потім форматовуватись програмою.

В результаті математичного моделювання програма формує матриці розрахунків яких приводить до визначення коефіцієнтів подібності задач кожного суб'єкту взаємодії ( $K_1$ ,  $K_2$ ) та коефіцієнту важливості організації взаємодії (С). Це дає можливість з багатьох напрямків взаємодії визначити пріоритетні та систематизувати механізм взаємодії підрозділів різних суб'єктів.

На базі результатів структурно-функціонального аналізу взаємодії визначається зміст фонду інформації для проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, а також здійснюється розробка оперативного дакументу (плану взаємодії) про взаємодію.

**Висновок.** Таким чином, з метою подальшого удосконалення та обґрунтування практики застосування методу математичного моделювання для структурно-функціонального забезпечення територіального управління запобіганням та ліквідацією надзвичайних ситуацій пропонується відповідне програмне забезпечення, що дозволяє ефективно і швидко провести структурно-функціональний аналіз системи взаємодії та розробити відповідні рекомендації щодо прийняття управлінських рішень для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями рятувальних сил МНС України та інших сил єдиної державної системи цивільного захисту при виникненні надзвичайних ситуацій.

Такий підхід дасть можливість відпрацювати ефективний механізм взаємодії відповідних ланок територіальних підсистем запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру на єдиній науково-методичній базі і якісно відпрацювати оперативні документи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про основи національної безпеки України» від 19.06.2003 № 964-IV.
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1998 р. N 1198 «Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру» (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ N 1376 від 29.07.99 N 1006 від 09.08.2001 N 717 від 15.05.2003 N 1402

- від 04.09.2003).
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2001р. N1567 «Про затвердження Плану реагування на надзвичайні ситуації державного рівня» (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ N 313 від 11.03.2004 ).
  4. Наказ МНС від 21.12.98 N 387 «Про затвердження типових положень про функціональну та територіальну підсистеми єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру».
  5. Наказ МНС України від 20.09.04 № 65 «Про затвердження Положення про Оперативно-рятувальну службу цивільного захисту МНС України»
  6. Постанова Кабінету Міністрів України від 19.08.2002 №1201 «Про затвердження Положення про штаб з ліквідації надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру».
  7. Інструкція про порядок взаємодії Міністерства з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи та Міністерства внутрішніх справ щодо запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру», затверджена спільним наказом МНС України, МВС України від 03.04 2007 N 205/105.
  8. О.О.Труш. Структурно-функціональне забезпечення територіального управління запобіганням та ліквідацією надзвичайних ситуацій (на прикладі Управління пожежної безпеки в Харківській області): Автореф.дис. канд.наук з держ. упр.: 25.00.02. /О.О.Труш; Нац. акад. держ. упр. при Президентові України, Харк. регіон. ін-т Х. , 2003 ,19 с.
  9. Кириченко І.О. Аксиоматичні основи теорії взаємодії службово-бойових систем / Кириченко І.О., Аллеров Ю.В., Тробюк В.І., Урсакий Ю.Ф. //Честь і закон. – Х.: Військ. ін-т ВВ МВС України, 2006. – № 1. – С. 9 – 17.
  10. Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие. М.: 2002 – 31 с.
  11. Кириченко І.О. Варіант побудови загальної структурно-функціональної моделі організації взаємодії підрозділів аварійно-рятувальних служб / Кириченко І.О., Неклонський І.М.// Організаційно-управлінські, економічні та нормативно-правові аспекти забезпечення діяльності органів управління та підрозділів МНС України: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції.- Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля МНС України, 2009. – С.112-113.

*Ковальов П.А., канд. техн. наук, заст. нач. каф., УЦЗУ,  
Стрілець В.М., канд. техн. наук, нач. лаб., УЦЗУ,  
Васильєв М.В., ад'юнкт, УЦЗУ*

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ  
АПАРАТІВ НА СТИСНЕНОМУ ПОВІТРІ**  
(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

Запропоновано контрольні випробування ізолюючих апаратів із застосуванням контрольних приладів доповнити порівняльною оцінкою ефективності їх використання під час лабораторних досліджень на людях та полігонних випробувань

**Ключові слова:** порівняльна оцінка, апарат на стисненому повітрі, тестові навантаження, смуга психологічної підготовки, експоненціальний закон

**Постановка проблеми.** В теперішній час існує велика кількість різноманітних засобів індивідуального захисту органів дихання. Їх придбання в оперативно-рятувальні підрозділи супроводжується протиріччям між тим, що всі наявні на ринку ізолюючі апарати відповідають основним вимогам [1] щодо захисних властивостей, часу роботи, маси, з одного боку, але, все ж таки, відрізняються один від іншого стосовно ефективності їх використання в тих чи інших умовах, з іншого боку. Це вимагає застосування об'єктивної порівняльної оцінки ефективності їх застосування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В основу існуючого підходу до порівняння ізолюючих апаратів покладено, в першу чергу, [1] їхні контрольні випробування із застосуванням відповідних приладів, з яких необхідно виділити стенд-імітатор зовнішнього дихання людини. Проте, при цьому не враховується те, що робота в засобах індивідуального захисту органів дихання уявляє собою функціонування ергатичної системи «людина – техніка – середовище». В [2] передбачено проведення лабораторних випробувань на людях, за результатами яких на базі думок трьох спеціалістів, що залучаються до випробувань, фіксуються суб'єктивні дані щодо стану, зручності використання та умов дихання. Тобто, в цьому випадку кількісні показники, які б було можливим використати для порівняння однотипних апаратів, фак-

тично не застосовуються (під час дослідження після кожної вправи тільки заміряють частоту дихання і частоту пульсу). Аналогічна ситуація має місце і під час проведення полігонних випробувань ізолюючих апаратів [2]. Під час лабораторних досліджень лицевих частин [3] залучають значно більше осіб (для визначення коефіцієнту підсосу 10 осіб, а для визначення загального поля зору – 5), але статистичний аналіз також не проводиться, оскільки основною умовою є участь людей з різними антропометричними даними.

**Постановка завдання та його вирішення.** Виходячи з вищевикладеного, було поставлено завдання визначити можливість порівняльної кількісної оцінки ефективності роботи в однотипних ізолюючих апаратах.

Для цього розглядалась робота в апаратах на стисненому повітрі АСП-2, АВІМ-09 та АУЕР ВД 96. Тестуванню були підвернені особи, які мають 3-5 річний стаж роботи в ізолюючих апаратах. Враховуючи майже однаковий вік та близький рівень фізичної підготовки, а також те, що в кожній групі, яка залучалась до досліджень, використовували всі наявні в УЦЗУ марки апаратів на стисненому повітрі, можна вважати, що розбіжності в отриманих результатах викликані саме модифікацією ізолюючого апарату.

Це підтвердила оцінка рівня адаптації рятувальників, які працюють в ізолюючих апаратах, до фізичних навантажень за допомогою [4] індексу Гарвардського степ-тесту

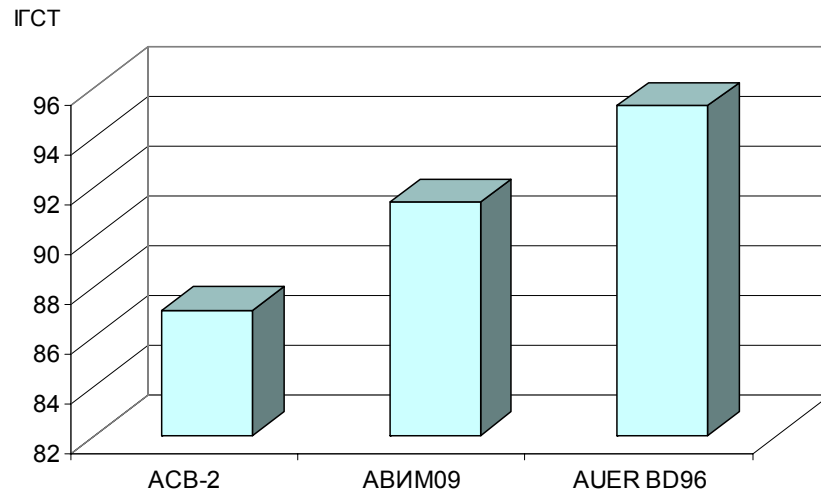
$$ИГСТ = \frac{t \cdot 100}{(f_1 + f_2 + f_3) \cdot 2}, \quad (1)$$

де  $t$  - фактичний час виконання навантаження, с;  $f_1, f_2, f_3$  - сума пульсуючих ударів за перші 30 с кожної хвилини (починаючи з другої) відновлювального періоду.

Видно, що збільшення індексу свідчить про кращу пристосованість газодимозахисників до виконання важких робіт. Результати порівняння апаратів на стисненому повітрі за показником Гарвардського степ-тесту наведені на рис. 1.

Їх аналіз показує, що найкраще підходять для виконання газодимозахисниками важкої роботи саме апарати АУЕР ВД96. На наш погляд це викликано як тим, що вони є дещо легшими у порівнянні з вітчизняними апаратами, так і тим, що їх конструкція передбачає використання легеневи́х автоматів, які якнайменше

здійснюють опір диханню людини. Крім того, цьому сприяє також наявність в цих апаратах ортопедичної спинки, не зважаючи на те, що вона додає майже 1,5 кг зайвої ваги, та збалансоване розміщення приладів апарату.



**Рис. 1 – Залежність індексу Гарвардського степ-тесту від модифікації АСП**

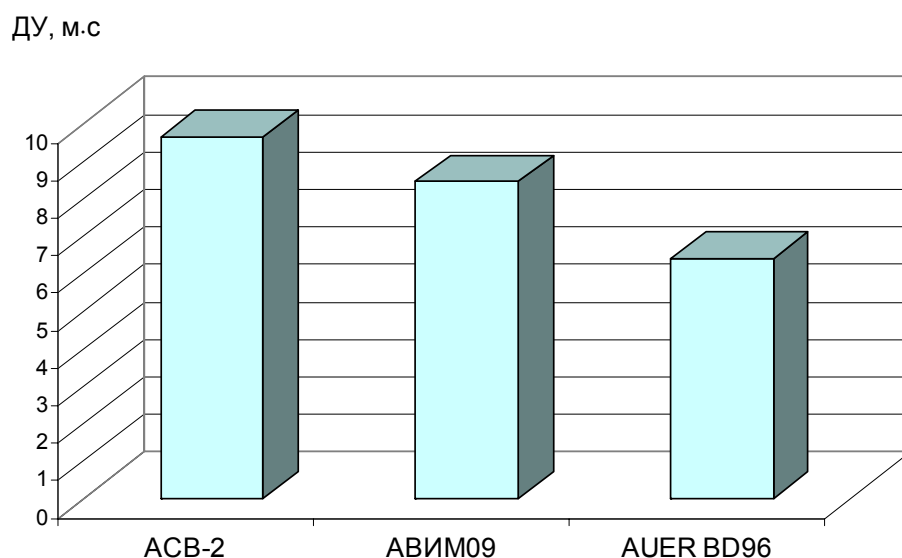
Останнє ще в більшій мірі сприяє здатності газодимозахисників працювати в цих апаратах в умовах, які вимагають здатності добре орієнтуватись в просторі (див. рис.2). Для оцінки цієї якості застосовувався [4] показник динамічної стійкості

$$ДУ = \Delta L \cdot t, \quad (2)$$

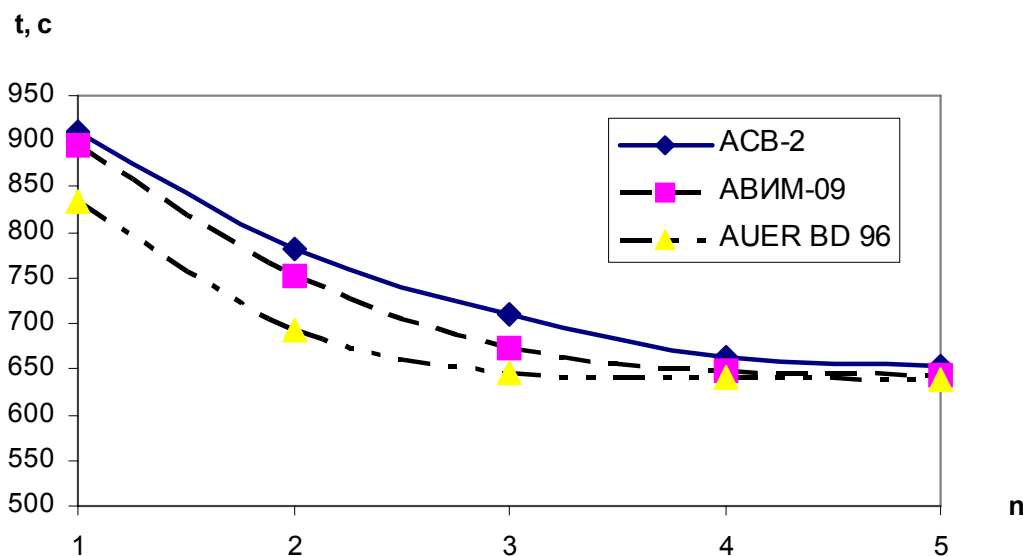
де  $\Delta L$  – відхилення від осі при подоланні 10-метрової дистанції з закритими очима (їх для цього зав'язують або, якщо застосовується шолом-маска, окуляри закриваються непрозорим матеріалом) після того, як газодимозахисника повернуть кілька разів кругом себе, см;  $t$  – час подолання дистанції, с.

Крім цього, під час проходження вогневої смуги психологічної підготовки, було оцінено не тільки час її проходження з першої спроби, але й те, наскільки швидко особовий склад при звичається до виконання хоча й досить складних, але однотипних вправ. Для цього газодимозахисники проходили смугу за одним і тим же маршрутом п'ять разів. Видно (див. рис.3), що ефективність засто-

сування АСП тієї чи іншої модифікації найбільш сильно проявляється під час першого проходження смуги.



**Рис. 2 – Порівняльний аналіз здатності орієнтуватись в просторі в АСП різних модифікацій**



**Рис. 3 – Порівняльна оцінка часу проходження смуги вогневої психологічної підготовки газодимозахисниками в різних типах АСП**

Оцінка отриманих експериментальних результатів показала, що залежності часу подолання смуги  $t$  в кожному із АСП від кільк-

кості спроб  $n$  з 5%-им рівнем значимості можуть бути описаними, як це і можна було передбачити у відповідності до [5], експоненціальними залежностями

$$t = \bar{t}_{\text{гран}} + (\bar{t}_1 - \bar{t}_{\text{гран}}) \cdot e^{-\lambda(n-1)}, \quad (3)$$

де оцінкою математичного очікування, до якого наближається час подолання смуги за результатами навчання з її використанням, є

$$\bar{t}_{\text{гран}} = \begin{cases} 654 \text{ с} - \text{при подоланні смуги в АСВ-2;} \\ 643 \text{ с} - \text{при подоланні смуги в АВІМ-09;} \\ 639 \text{ с} - \text{при подоланні смуги в АУЕР ВD96;} \end{cases}$$

математичне очікування часу подолання смуги в першій спробі дорівнює

$$\bar{t}_1 = \begin{cases} 911 \text{ с} - \text{при подоланні смуги в АСВ-2;} \\ 896 \text{ с} - \text{при подоланні смуги в АВІМ-09;} \\ 835 \text{ с} - \text{при подоланні смуги в АУЕР ВD96;} \end{cases}$$

параметр експоненціального закону дорівнює

$$\lambda = \begin{cases} 0.78 - \text{при подоланні смуги в АСВ-2;} \\ 0.95 - \text{при подоланні смуги в АВІМ-09;} \\ 1.33 - \text{при подоланні смуги в АУЕР ВD96.} \end{cases}$$

На відміну від [5], де експоненціальний характер скорочення часу виконання вправ пояснюється тільки людським чинником, аналіз залежності (3) показує, що параметр  $\lambda$  експоненціального закону може також служити кількісним показником для порівняння того обладнання, в якому (або з яким) працюють рятувальники. Видно, що під час підготовки в апаратах АУЕР ВD96 газодимозахисники вже в третій спробі наближались до результату, який потім фактично стає стабільним, тоді як в АСВ-2 та АВІМ-09 це відбувається під час четвертої-п'ятої спроби. Також видно, що різниця в показниках, за якими порівнюються апарати, що є близькими за своїми масо-габаритними розмірами та експлуатаційними характеристиками, найбільш сильно проявляється під час першої спроби.

Враховуючи [6], де було відмічено, що характер роботи, яку виконують газодимозахисники, впливає не тільки на час виконання конкретної операції, а й на показник легеневої вентиляції

$\omega_{л}$ , під час проходження вогневої смуги психологічної підготовки було оцінено також розхід повітря (див. рис.4).

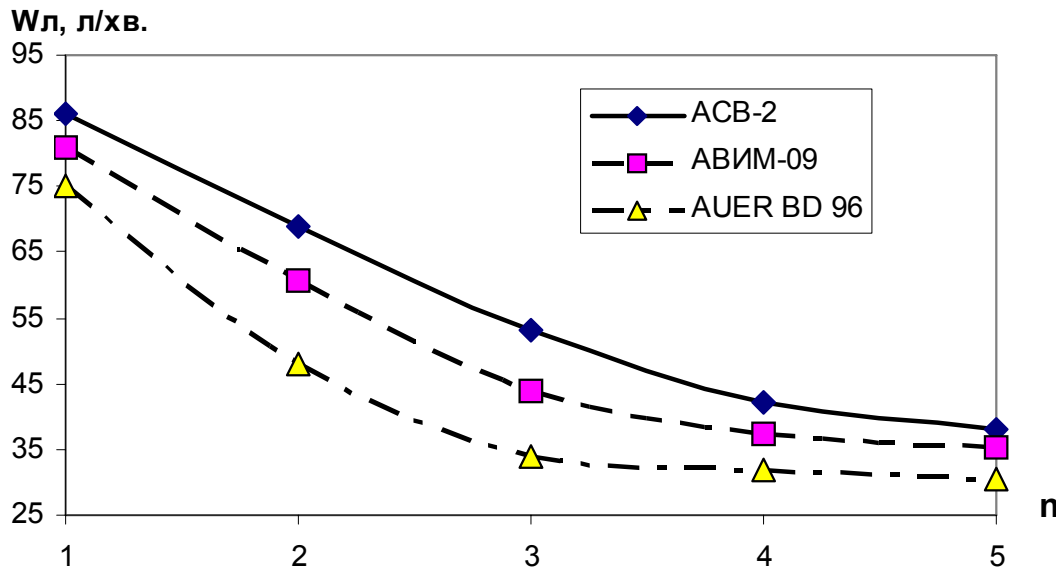


Рис. 4 – Порівняльна оцінка того, як змінюється легенева вентиляція під час проходження смуги вогневої психологічної підготовки газодимозахисниками в різних типах АСП

Для цього через те, що апарати, які розглядались, мають різний об'єм повітряних балонів, використовувався закон Бойля-Маріота, у відповідності до якого розрахунок легеневої вентиляції проводився наступним чином

$$\omega_{лi} = \frac{(P_{начi} - P_{конi}) \cdot V_{бi}}{P_a \cdot t_i}, \quad (4)$$

де  $P_{начi}$  й  $P_{конi}$  – відповідно початковий і кінцевий тиск у балоні, МПа;  $V_{бi}$  – об'єм балону, л;  $P_a \approx 0.1 \text{ МПа}$  – атмосферний тиск;  $t_i$  – розглянутий проміжок часу (час подолання смуги), хв.

Видно, що змінення легеневої вентиляції під час тренування також характеризується (за результатами статистичної оцінки з 5%-им рівнем значимості) експоненціальним законом

$$\omega_{л} = \bar{\omega}_{л\text{гран}} + (\bar{\omega}_{л1} - \bar{\omega}_{л\text{гран}}) \cdot e^{-\lambda(n-1)}, \quad (5)$$



де оцінкою математичного очікування, до якого наближається легенева вентиляція під час подолання смуги за результатами навчання з її використанням, є

$$\bar{\omega}_{л\text{гран}} = \begin{cases} 38 \text{ л/хв. - при подоланні смуги в АСВ-2;} \\ 35,2 \text{ л/хв. - при подоланні смуги в АВІМ-09;} \\ 30,6 \text{ л/хв. - при подоланні смуги в АУЕР ВD96;} \end{cases}$$

математичне очікування легеневої вентиляції під час подолання смуги в першій спробі дорівнює

$$\bar{\omega}_{л\text{гран}} = \begin{cases} 86 \text{ л/хв. - при подоланні смуги в АСВ-2;} \\ 81 \text{ л/хв. - при подоланні смуги в АВІМ-09;} \\ 75 \text{ л/хв. - при подоланні смуги в АУЕР ВD96;} \end{cases}$$

параметр експоненціального закону дорівнює

$$\lambda = \begin{cases} 0,61 \text{ - при подоланні смуги в АСВ-2;} \\ 0,73 \text{ - при подоланні смуги в АВІМ-09;} \\ 1,05 \text{ - при подоланні смуги в АУЕР ВD96.} \end{cases}$$

Проте, необхідно звернути увагу на те, що в цьому випадку, більш сильно відрізняються і показники, до яких наближається легенева вентиляція по мірі проходження смуги за одним і тим же маршрутом. Також варто відмітити, що під час перших двох (для всіх апаратів, що розглядались) – трьох (для АСВ-2 та АВІМ-09) проходжень смуги легенева вентиляція була значно більшою тієї ( $\omega_{л} \approx 30 \div 40 \text{ л/хв.}$ ), яка рекомендується в [7] для розрахунку часу роботи в АСП.

**Висновки.** Показана можливість кількісної порівняльної оцінки ізолюючих апаратів, які мають близькі масо-габаритні та захисні характеристики, за результатами як лабораторних досліджень на людях, так і під час полігонних випробувань. Використання отриманих оцінок спільно з результатами контрольних випробувань апаратів із застосуванням контрольних приладів сприятиме підвищенню об'єктивності рішень щодо придбання апаратів та ефективності їх застосування, вдосконаленню системи підготовки газодимозахисників.

Відмічено, що найбільш сильно різниця між апаратами проявляється при першому виконанні контрольної вправи, а параметр експоненціального закону, за яким змінюються часові характеристики виконання вправи, характеризує не тільки рівень підготовленості особового складу, але й те обладнання, в якому (або з яким) він працює.

---

**ЛІТЕРАТУРА**

1. ДСТУ EN 137:2002 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні резервуарні дихальні апарати зі стисненим повітрям. Вимоги, випробування, маркування (N 137:1993, ITD)
2. ДСТУ EN 145:2003 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні регенерувальні дихальні апарати зі стисненим киснем або зі стисненим киснем і азотом. Вимоги, випробування, маркування (EN 145:1997, IDT)
3. ДСТУ EN 136:2003 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Маски. Вимоги, випробування, маркування (EN 136:1998, IDT)
4. Основы теории прогнозирования спортивных достижений/ Под ред. Г.П.Семенова. – М.: ВНИФК, 1983. – 326 с.
5. Введение в эргономику. / Под ред.В.П.Зинченко. – М., “Сов. радио”, 1974. – 351 с.
6. Стрелец В.М., Бородич П.Ю. Закономерности работы спасателей в изолирующих аппаратах при проведении работ на станциях метрополитена.// Проблемы надзвичайних ситуацій - № 3 – Харків, Фоліо, 2006 – С. 48-57
7. Настанова з газодимозахисної служби пожежної охорони МВС України. Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. – Київ, 1994. – 128 с.

*Комяк В.А., канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., ИРЭ НАНУ,  
Шило С.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИРЭ НАНУ,  
Белов В.В., ст. преп., УГЗУ,  
Быков В.М., науч. сотр., ИРЭ НАНУ,  
Комяк В.В., студент, УГЗУ,  
Рыженко И.А., вед. инж., ИРЭ НАНУ*

## **ПРОЯВЛЕНИЕ УТЕЧЕК ГАЗА В ИЗЛУЧЕНИИ СИСТЕМЫ ГРУНТ-ГАЗОПРОВОД В СВЧ ДИАПАЗОНЕ**

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

Рассматривается проявление утечек газа из трубопровода в тепловом поле излучения земной поверхности. Показано, что трещины в трубах размерами (1x0,1) мм<sup>2</sup> могут приводить к появлению на поверхности грунта тепловых аномалий размером пятна порядка 10м<sup>2</sup> с температурным контрастом более 10°. Это позволит с помощью микроволнового радиометра, размещаемого на борту летательного аппарата, локализовать место утечки при авиационном патрулировании газопровода.

**Ключевые слова:** утечка газа, дистанционное зондирование, тепловое поле, радиотеплолокация

**Постановка проблемы.** В настоящее время широкое развитие получают методы дистанционного зондирования (ДЗ) природной среды. Размещение датчиков ДЗ на борту аэрокосмических носителей позволяет оперативно получать необходимую информацию со значительных территорий, что особенно важно для решения задач предупреждения экологических и природных катастроф. К этому кругу задач относится и оперативная диагностика состояния магистральных газопроводов. Территория Украины в силу своего географического положения насыщена как местными, так и транзитными газотранспортными магистралями. Эти магистрали являются источниками повышенной опасности, как с точки зрения экологии, так и возможного создания чрезвычайной ситуации при возникновении аварий на газопроводах. Предвестниками таких опасностей могут являться утечки газа, возникающие из-за механических повреждений трубопровода или его коррозии. Раннее обнаружение утечек, исходя из этого, является актуальной задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для диагностики состояния газопроводов разработан достаточно широкий круг методов и средств контроля. Это методы газового анализа атмосферы вдоль трассы, лазерного зондирования, радиометрии инфракрасного и микроволнового диапазонов и др. Проведены теоретические исследования и численное моделирование процессов возникновения нестационарных тепловых полей в приповерхностном слое почв при наличии подповерхностных источников тепловых возмущений, в первую очередь таких, как утечки газа в магистральных газопроводах. На основе выполненных исследований предложен метод оперативного обнаружения утечек с помощью неконтактных радиометрических измерений пространственного распределения радиационных температур [1]. Метод основан на анализе тепловых изображений земной поверхности в районе залегания трубопроводов, при этом место утечки газа, за счет эффекта дросселирования при резком перепаде давления, характеризуется появлением локальных тепловых градиентов в слое почвы и, как следствие, заметным снижением наблюдаемой яркостной температуры. Это позволяет индцировать участки с утечками газа по тепловым контрастам, наблюдаемым на поверхности грунта, которые по оценкам составляют более  $5^\circ$  [1]. Следует отметить, что методы теплового картографирования дают более точные привязки мест аварии, чем методы газового анализа, т.к. обнаруживают утечку по изменению параметров подстилающей поверхности, а не по газовому облаку, подверженному ветровому сносу.

Однако методы инфракрасной радиометрии обладают и рядом недостатков, связанных в первую очередь, с условиями наблюдения и состоянием исследуемой поверхности. Так наличие снежного покрова на грунте в зимний период времени из-за низкой теплопроводности снега ( $0,251 \text{ Вт/(м}^\circ\text{К)}$ ) [2], при теплопроводности грунта  $1,49 \text{ Вт/(м}^\circ\text{К)}$  [1]) практически экранирует указанные температурные аномалии.

**Постановка задачи и ее решение.** Подобного рода проблемы возникают в гляциологии при определении возрастных характеристик ледяного покрова с помощью методов и средств ДЗ [2]. В подавляющем большинстве случаев на поверхности льда лежит снежный покров, экранирующий тепловое излучение льда. В спутниковой гляциологии эта проблема решается использованием для анализа данных о пространственном распределении интенсивности собственного теплового излучения ледяного покрова в

радиодиапазоне длин волн (чаще – миллиметровом [4, 5]). Радиозлучение, формируемое в толще льда, проходит сквозь снежный покров практически без потерь, особенно при достаточно низкой плотности снега.

Целью настоящей работы является оценка возможности использования данных об интенсивности собственного теплового излучения системы грунт-газопровод для обнаружения мест утечек газа.

Для решения этой задачи с использованием методики, предложенной в [1], производится расчет изотерм для системы грунт-газопровод для зимних условий. Рассчитанные изотермы приведены на рис. 1а для температуры воздуха  $t_a = -20^\circ\text{C}$  и коэффициента теплообмена поверхности грунта с окружающей средой  $a_s = 50 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ .

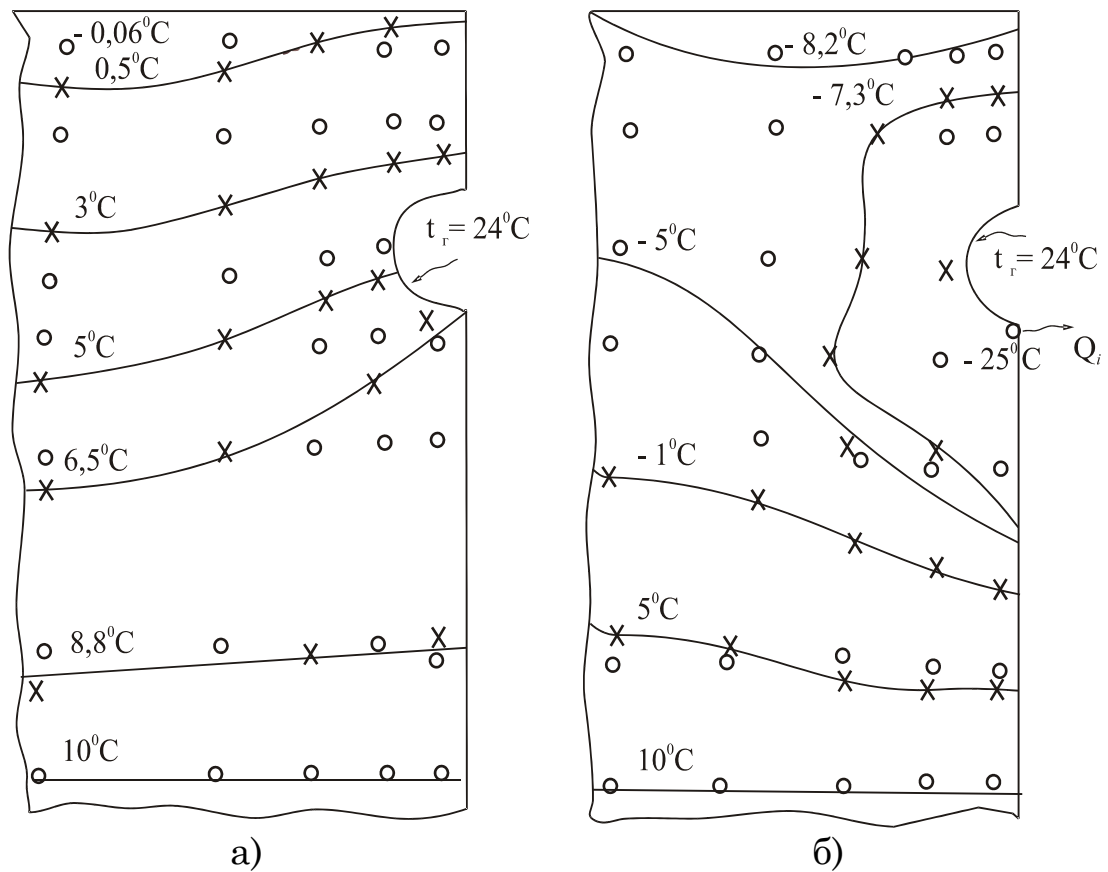


Рис. 1 – Распределение поля температур в грунте для нормального состояния газопровода (а) и при наличии утечки (б)

По этим результатам строится вертикальный профиль распределения термодинамических температур грунта для ряда точек на поверхности грунта

$$T_0(h) = F(x_i, y_i),$$

где  $h$  – глубина.

Аналогично [1], проводился расчет изотерм при наличии утечки, размещенной в нижней части трубопровода (см. рис. 1б).

Количество тепла, отводимого сдросселированным газом, определено, согласно [3], по формуле

$$Q_i = G_g \cdot c_p^g \cdot t,$$

где  $G_g$  - расход газа через отверстие;  $c_p^g$  - удельная теплоемкость газа;  $t$  – температура газа.

Утечка в расчетах имитировалась стоком тепла, помещенным в точку  $Q_i$  (см. рис. 1,б). Интенсивность стока из отверстия размерами  $(1 \times 0,1)$  мм<sup>2</sup> в соответствии с [3] оценена как  $Q_i = -33,15$  Вт для температуры газа  $+24^\circ\text{C}$  и давления в трубе 70 атм.

Для второго варианта изотерм также были построены вертикальные распределения температуры. При этом следует заметить, что при расчетах изотермы сглаживались сплайнами, а вертикальные распределения температуры аппроксимировались ломаными линиями.

Интенсивность собственного радиотеплового излучения среды, вышедшего в воздух, принято характеризовать ее радиояркостной температурой, которая для однородной изотермической среды с плоской границей раздела записывается как

$$T_J = eT_0, \quad (1)$$

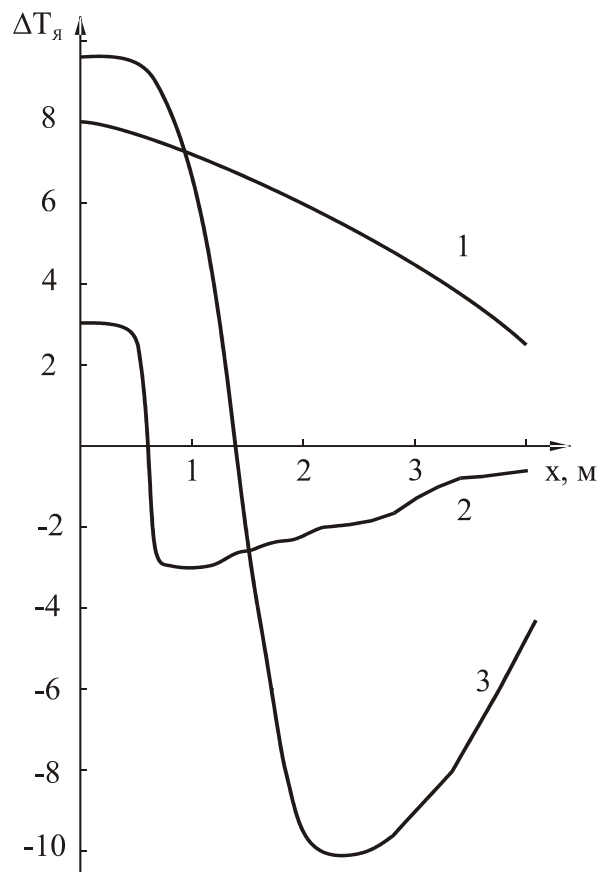
где  $T_J$  - радиояркостная температура;  $T_0$  - термодинамическая температура среды;  $e$  - коэффициент излучения, связанный с диэлектрической проницаемостью среды  $\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon''$  формулами Френеля [6].

Для неізотермической среды (температура среды грунт-газопровод изменяется по глубине), допускающей горизонтальную стратификацию, интенсивность излучения элементарного «столба» грунта в зенитном направлении можно записать как

$$T_{\text{я}} = e \int_0^{\infty} \gamma T_0(h) \exp(-\gamma h) dh, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – коэффициент поглощения радиоизлучения в грунте. В (2) нами, в отличие от общепринятого [4–6] выражения для интенсивности излучения горизонтально стратифицированной среды, положено

$$\gamma(h) = \gamma_{\text{э}} = \text{const}; \gamma_{\text{э}} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{2} \sqrt{|\varepsilon^*| - \varepsilon'},$$



**Рис. 2 – Распределение радиотепловых контрастов для нормального состояния газопровода (1); утечка под газопроводом (2); утечка над газопроводом (3)**

где  $\lambda$  – длина радиоволны, т.к., согласно [7,8], диэлектрическая проницаемость мерзлых почвогрунтов практически не зависит от температуры.

Результаты расчетов интенсивности собственного излучения системы грунт-газопровод на длине радиоволны  $\lambda = 30$  см для зимних условий представлены на рис. 2. Интенсивность стока тепла, как и в [1], составляла  $Q = -33,15$  Вт. Здесь  $x$  – расстояние от оси трубопровода.

Обращает на себя внимание, что радиотепловые контрасты (разница радиоярких температур грунт-газопровод / грунт) в зоне утечки знакопеременные. Это связано со значительным увеличением вклада в излучение непосредственно трубы газопровода с повышенной (за счет подогрева газа) температурой и существенным уменьшением поглощения излучения в грунте при его «вымораживании». Отрицательные контрасты объясняются понижением температуры излучающего объема за счет дросселирования газа. При моделировании проявления утечки, расположенной в верхней части трубы, эти контрасты возрастают, что иллюстрирует кривая 3 на рис. 2.

**Выводы.** Проведенные расчеты показывают, что наличие утечек на газопроводе приводит к искажениям распределения температур в системе грунт-газопровод. Эти искажения внутреннего теплового поля среды проявляются в пространственном распределении интенсивности собственного радиотеплового излучения, что позволяет уверенно обнаруживать места утечек с помощью инструментальных методов современной радиотеплолокации. Это качество радиотеплолокаторов особенно важно при поиске утечек в зимних условиях для покрытых снегом грунтов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белов В.В., Быков В.М., Комяк В.В., Рыженко И.А. Возможность обнаружения утечек газа из магистральных газопроводов на тепловых изображениях местности // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр.: Харків: УЦЗУ, 2009. – Вип. 9. – С.45 – 49.
2. Богородский В.В., Гаврило В.П. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии. - Л.: Гидрометеоздат, 1980. - 384 с.



3. Вулис Л.А. Термодинамика газовых потоков. М. – Л.: ГЭИ, 1950. – 304 с.
4. Комяк В.А., Пичугин А.П. Влияние гидрометеорологических условий на излучательные характеристики льдов // Докл. РАН. – 2002. – т. 386, № 6. – С. 818 – 821.
5. Komyak V.A., Malyshenko Yu.I. Sea ice microwave thermal radiation characteristics. // Communication and Radio Engineering, 1997, V. 51, № 2 - 3. - P. 66-72.
6. Богородский В.В., Козлов А.И. Микроволновая радиометрия земных покровов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985, - 272с.
7. Ильин В.А., Слободчикова С.В., Эткин В.С. Лабораторные исследования диэлектрической проницаемости мерзлых песчаных почв. // Радиотехника и электроника. – 1993. – т. 38, № 6. – С. 1036 – 1041.
8. Ильин В.А., Слободчикова С.В. Лабораторные исследования излучательных характеристик мерзлых песчаных почв. // Радиотехника и электроника. – 1994. – т. 39, № 5. – С. 800 – 806.

УДК 351.861:514.18

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

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАГАЛЬНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КІЬКОСТІ ТА МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ОПЕРАТИВНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ЗАЛІЗНИЦІ**

Наведено загальну математичну модель визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту. Досліджено особливості загальної математичної моделі.

**Ключові слова:** загальна математична модель, оперативні підрозділи, об'єкти залізниці

**Постановка проблеми.** Залізничний транспорт відіграє значну роль у економіці країни, оскільки від його роботи залежить розвиток та нормальне функціонування підприємств промисловості, сільського господарства та ін. Найважливішою вимогою до роботи залізниці є забезпечення безпеки руху поїздів, безпеки пасажирів та обслуговуючого персоналу і т.д. Але слід зауважити, що на теперішній час зношеність основних фондів залізниці складає майже 85% [1]. Більш того, резонансні надзвичайні ситуації, що сталися на залізниці в останні роки [2], свідчать про те, що існує актуальна науково-прикладна проблема підвищення рівня захищеності рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту від наслідків надзвичайних ситуацій різного характеру.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Однією із задач, розв'язання якої сприятиме вирішенню проблеми підвищення рівня захищеності рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту, є задача визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці. Постановку даної задачі наведено в роботі [3]. Основні підходи до формалізації обмежень в задачах раціонального розміщення оперативних підрозділів служби цивільного захисту розглянуто, наприклад, в роботах [4, 5, 6]. Використання зазначених підходів

до формалізації обмежень, наведених в [3], дозволить розробити загальну математичну модель даної задачі.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Метою даної роботи є розробка та дослідження особливостей загальної математичної моделі визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці.

Дана модель має наступний вигляд

$$N(s_1, \dots, s_N, m_1^1, m_2^1, \dots, m_1^N, m_2^N) \rightarrow \min_W, \quad (1)$$

де  $W$

$$\xi_0^\Sigma(S_0, S_1, \dots, S_N) = S^\Sigma - S^{\Sigma 0} = 0, \quad (2)$$

$$S^\Sigma = S\left(\left(\bigcup_{q=1}^N S_q\right) \cap cS_0\right), \quad S^{\Sigma 0} = 0, \quad (3)$$

$$\xi_0^{ij}(S_i, S_j) = S^{ij} - S^{ij0} = 0, \quad i > j = 1, 2, \dots, N', \quad (4)$$

$$S^{ij} = S(S_i \cap S_j), \quad S^{ij0} = 0, \quad (5)$$

$$\xi_0^{kl}(S_k, S_l) = S^{kl} - S^{kl0} = 0, \quad k > l = N' + 1, \dots, N' + N'', \quad N' + N'' = N, \quad (6)$$

$$S^{kl} = S(S_k \cap S_l), \quad S^{kl0} = 0, \quad (7)$$

$$L_1^0 \subset \Omega, \quad \Omega = \bigcup_{q=1}^N S_q(s_q, m_1^q, m_2^q), \quad (8)$$

$$O'_\lambda(x_\lambda, y_\lambda) \in S_i(s_i, m_1^i, m_2^i), \quad i = 1, 2, \dots, N', \quad \lambda \in 1, 2, \dots, N_\lambda, \quad (9)$$

$$O_\mu(x_\mu, y_\mu) \in S_q(s_q, m_1^q, m_2^q), \quad q \in 1, 2, \dots, N, \quad \mu = 1, 2, \dots, N_\mu, \quad (10)$$

$$\xi_0^{i\chi}(S_i, S_\chi) = S^{i\chi} - S^{i\chi 0} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N', \quad \chi = 1, 2, \dots, N'_\chi, \quad (11)$$

$$S^{i\chi} = S(S_i \cap S_\chi), S^{i\chi 0} = 0, \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \xi_0^{k\delta}(S_k, S_\delta) &= S^{k\delta} - S^{k\delta 0} = 0, \quad k = N' + 1, \dots, N' + N'', \\ \delta &= N'_\chi + 1, \dots, N'_\chi + N''_\delta, \end{aligned} \quad (13)$$

$$S^{k\delta} = S(S_k \cap S_\delta), S^{k\delta 0} = 0, \quad (14)$$

$$\xi_1^i(s_i, m_1^i, m_2^i) = L_1^i(S^i) - T_1^* \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, N', \quad (15)$$

$$\xi_2^k(s_k, m_1^k, m_2^k) = L_2^k(S^k) - T_2^* \leq 0, \quad k = N' + 1, \dots, N' + N''. \quad (16)$$

Тут  $N'$  - кількість підрозділів воєнізованої охорони на залізниці;  $N''$  - кількість пожежно-рятувальних підрозділів;  $S(\cdot)$  - функція обчислення площі;  $cS_0$  - доповнення об'єкту  $S_0$  до простору  $R^2$ ;  $s_q$  і  $\{m_1^q, m_2^q\}$  - форми та метричні характеристики районів виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізницю та пожежно-рятувальних підрозділів  $S_q$ ;  $m_2^q = m_2^q(L_1^q, L_2^q)$ ,  $L_1^q$  - ділянка залізниці, що належить  $S_q$ ,  $L_2^q$  - сітка доріг, що належить  $S_q$ ;  $L_1^0$  - ділянка залізниці, яка підлягає захисту і належить об'єкту  $S_0$ ;  $O_\lambda(x_\lambda, y_\lambda)$  - місця розташування станцій, що мають експлуатаційний парк локомотивів;  $O_\mu(x_\mu, y_\mu)$  - місця розташування об'єктів підвищеної небезпеки;  $N'_\chi$  - кількість існуючих підрозділів воєнізованої охорони на залізницю;  $N''_\delta$  - кількість існуючих пожежно-рятувальних підрозділів;  $L_1^i(S^i)$  - час слідування  $i$ -го підрозділу воєнізованої охорони на залізницю до місця виникнення надзвичайної події;  $T_1^*$  - максимальний час слідування підрозділу воєнізованої охорони на залізницю до місця виникнення надзвичайної події;  $L_2^k(S^k)$  - час слідування  $k$ -го пожежно-рятувального підрозділу до місця виникнення надзвичайної події;  $T_2^*$  - максимальний час слідування пожежно-рятувального підрозділу до місця виникнення надзвичайної події.

Таким чином, необхідно визначити мінімальну кількість та місця розташування оперативних підрозділів (1) з урахуванням обмежень на:

- належність районів виїзду оперативних підрозділів області  $S_0$  (2)÷(3);
- неперетин діляниць виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці (4)÷(5);
- неперетин районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів (6)÷(7);
- належність відповідної ділянки залізниці району функціонування оперативного підрозділу цивільного захисту (8);
- розміщення пожежних поїздів на станціях, які мають експлуатаційний парк локомотивів (9);
- належність об'єктів підвищеної небезпеки районам функціонування оперативних підрозділів цивільного захисту (10);
- наявність існуючих підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів (11)÷(14);
- наявність під'їзних шляхів до відповідних ділянок залізниці (15)÷(16).

Необхідно відзначити, що для формалізації обмежень (2)÷(16) використано математичний апарат  $\xi$  - функцій [4].

Розглянемо особливості математичної моделі (1)÷(16). Так, цільова функція (1) є алгоритмічною, а обмеження (2)÷(16), в загальному випадку, нелінійними. Якщо задача (1)÷(16) розв'язується без урахування існуючих оперативних підрозділів та їх місць розташування, то із системи обмежень мають бути виключеними обмеження (11)÷(14).

Розглянемо випадок, коли необхідно мінімізувати видатки на утримання підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів. Тоді цільова функція даної задачі має наступний вигляд

$$Q(S_1, \dots, S_N) \rightarrow \min_W, \quad (17)$$

де  $W$  визначається системою обмежень (2)÷(16). Тут  $Q(S_1, \dots, S_N)$  - функціонал, що являє собою видатки на утримання  $N$  оперативних підрозділів служби цивільного захисту.

Якщо необхідно максимізувати покриття залізниці районами функціонування оперативних підрозділів з урахуванням видатків на утримання даних підрозділів, то цільова функція в даному випадку має наступний вигляд

$$(L_1^0)' \rightarrow \max_W, \quad (18)$$

де  $W$  визначається системою обмежень (2)÷(7), (9)÷(16), з додаванням наступного

$$\sum_{q=1}^N Q_q(S_q) \leq Q. \quad (19)$$

Необхідно відзначити, що  $(L_1^0)' = L_1^0 \cap \left( \bigcup_{q=1}^N S_q(s_q, m_1^q, m_2^q) \right)$ ,

$$(L_1^0)' \subset L_1^0.$$

**Висновки.** В даній роботі наведено загальну математичну модель визначення раціональної кількості та місць розташування підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів для захисту рухомого складу та об'єктів залізниці від наслідків надзвичайних ситуацій різного характеру. Розглянуто особливості загальної математичної моделі, зокрема наведено модифікації математичної моделі для різних постановок задачі. Таким чином, розробка та дослідження особливостей загальної математичної моделі дозволить в подальшому здійснити побудову областей припустимих розв'язків та розробити обґрунтований метод розв'язання задачі визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Юхимчук С.В. Моделі автоматизації вироблення рекомендацій керівнику гасіння пожежі на залізничному транспорті: Монографія / Юхимчук С.В., Кацман М.Д.: Вінницький національний технічний університет. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008.–144 с.

2. Інформаційний бюлетень. Про надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру в Україні у 2007 році (державний і регіональний рівні). Дії органів управління та сил цивільного захисту з ліквідації надзвичайних ситуацій. - №1, 2007.
3. Комяк В.М. Постановка задачі раціонального розміщення оперативних підрозділів для захисту рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту / В.М. Комяк, О.М. Соболев, В.О. Собина // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Харків, 2009. – Вип. 9. – С. 56-62.
4. Садковий В.П. Раціональне розбиття множин при територіальному плануванні в сфері цивільного захисту: Монографія / Садковий В.П., Комяк В.М., Соболев О.М.: Ун-т цивільного захисту України. – Горлівка: ПП «Видавництво Ліхтар», 2008. – 174 с.
5. Коссе А.Г. Метод раціонального розміщення пожежних депо при проектуванні і оновленні районів міста: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.02 «Пожежна безпека» / А.Г. Коссе. – Харків, 2001. – 19 с.
6. Комяк В.М. Раціональне розбиття міста на райони функціонування захисних споруд / В.М. Комяк, О.М. Соболев, А.Г. Коссе // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – Харків, 2007. – Вип.6. – С. 74-79.

*Курская Т.Н., канд. техн. наук, ст. преп., УГЗУ*

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ С ПОМОЩЬЮ СДТ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ**

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

Исследованы метрологические характеристики самокалибрующихся датчиков температуры (СДТ), позволяющие определить возможность применения структурных методов для повышения эффективности и точности температурного контроля на объектах энергетики

**Ключевые слова:** первичный преобразователь, самокалибрующийся датчик температуры, фазовый переход, плато плавления (затвердевания)

**Постановка проблемы.** Повышение эффективности работы и уровня безопасности АЭС в значительной мере зависит от достоверности измерительной информации, необходимой для обеспечения экономичной и безаварийной работы энергоблоков. Для оперативной обработки большого объема измерительной информации и для осуществления при этом функций управления, контроля правильности выполнения технологического процесса, состояния технологического оборудования, расчета технико-экономических показателей используются АСУ ТП. Качество управления, определяющееся точностью, надежностью и эффективностью АСУ ТП, в первую очередь зависит от качественного функционирования информационно-измерительных систем, поскольку именно с их помощью получается измерительная информация, необходимая для управления. Измерительный канал (ИК) АСУ ТП можно представить как последовательное соединение компонентов, к которым, в общем случае, могут принадлежать: первичные измерительные преобразователи, промежуточные измерительные преобразователи, линии связи, средства измерений, средства системного применения, средства вычислительной техники и программные средства. Наиболее перспективным методом повышения точности измерительных каналов является структурный метод, предполагающий введение в состав ИК тестирующего компонента [1-3]. Этот тестирующий компонент должен выполнять роль образцового средства измерений, которое может быть использовано при прове-

*Курская Т.Н.*



дении испытаний, метрологической аттестации, а также для оперативного определения значений поправок к показаниям ИК. Сущность метода состоит в применении самокалибрующихся датчиков температуры (СДТ), представляющих собой систему, предназначенную для коррекции температурных измерений. В своем составе СДТ имеет многофазовую систему (калибратор температуры, содержащий несколько реперных металлов и позволяющий точно воспроизводить известные значения температуры) и первичный измерительный преобразователь (ПИП). Данный подход является оптимальным, так как позволит осуществлять:

- градуировку ПИП без демонтажа, что особенно актуально для труднодоступных зон;
- поверку (калибровку) не только ПИП, а и всего (ИК);
- корректировку показаний дублирующих ПИП по СДТ.

Конструкция „самокалибрующийся датчик” предполагает наличие миниатюрного калибратора и первичного преобразователя. Многие технологические процессы характеризуются стационарным распределением температурного поля, в связи с чем возникает необходимость дополнительного размещения нагревательного элемента в СДТ. Нагреватель должен обеспечивать выход и поддержание в течение требуемого времени заданной температуры плавления (затвердевания) реперного металла. По характерным изменениям термо-э.д.с. в области плавления (затвердевания) реперного металла могут быть получены необходимые калибровочные значения для ПИП или ИК.

При использовании данного структурного метода в системах термоконтроля необходимо обеспечить:

- стабильность СДТ при температурных циклах значительно выше температуры фазовых переходов;
- оптимальную конструкцию СДТ, позволяющую встраивать его в стандартные диагностические окна систем термоконтроля;
- доступность реперного вещества необходимой чистоты (> 99,99 %) с температурой фазового перехода вблизи рабочей температуры контролируемой среды.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Предложенные конструкции СДТ до настоящего времени [4,5] имели различные конфигурации, съемные и стационарные навески из реперного металла, наличие одного или нескольких реперных металлов. Однако все они не лишены недостатков. Основным недостатком, присущим всем конструкциям, – невозможность применения

при стационарном тепловом режиме. Предложенные конструкции возможно использовать только при определенной расчетной скорости нагрева среды для фиксации температурного плато фазового перехода в течение нескольких минут, что практически неосуществимо в условиях эксплуатации (необходимо подбирать технологические процессы с определенным температурным режимом под данные СДТ).

Для стационарных тепловых режимов конструкция СДТ должна иметь автономный нагревательный элемент (для вывода малогабаритной реперной точки в режим фазового перехода), оптимальную конструкцию, обеспечивающую чистоту реперного металла, и позволяющую встраивать ее в стандартные диагностические окна, а также наличие двух реперных металлов для контроля индивидуальной градуировочной характеристики первичного преобразователя в диапазоне температур, соответствующих условиям эксплуатации.

**Постановка задачи и ее решение.** В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований метрологических характеристик СДТ на основе двух реперных металлов (олово и цинк) с нагревательным элементом, разработанных автором [6]. Большое внимание было уделено изучению стабильности и воспроизводимости температурных плато плавления и затвердевания малогабаритных реперных точек, что очень важно при использовании СДТ на объектах повышенной степени риска.

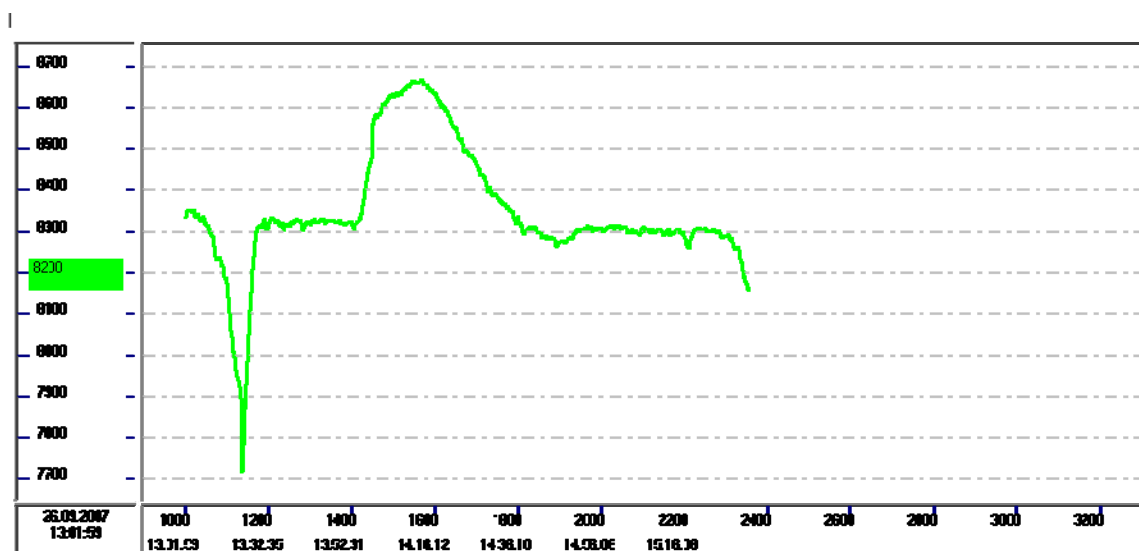


Рис. 1 – Цикл градуировки (регистрация плато плавления (затвердевания) олова с помощью ТХА № 541 в СДТ на основе двух реперных металлов)

Были проведены исследования циклов градуировки ПИП (ТХА, ТНН) при определении оптимального температурного режима СДТ при воспроизведении фазового перехода реперного металла. На рис. 1 показаны циклы градуировки термоэлектрического преобразователя ТХА № 541 в СДТ на основе двух реперных металлов. Показания термо-э.д.с. регистрировались с помощью измерителя параметров датчиков СА320-1.

Исследования полученных экспериментальных данных показали, что:

1) длительность плато плавления составила 24 мин; плато затвердевания – 30 мин;

2) температура перегрева порядка 10 °С; выдержка в расплавленном состоянии – 12 мин; скорость нагрева – 1,3 °С/мин; скорость охлаждения составила 0,35 °С/мин; суперохлаждение составило 0,7 °С;

3) нестабильность воспроизведения плато затвердевания определялась как СКО температурного плато на участке, составляющем 30 % от длительности плато в начале затвердевания и составила 2,25 мкВ, что в температурном эквиваленте составляет 0,056 °С; нестабильность воспроизведения плато плавления определялась на участке плато, составляющем 20 % от длительности плато в конце плавления и составила 2,5 мкВ (0,063 °С);

4) температура плато плавления отличается от температуры плато затвердевания на 0,3 °С, что может быть объяснено отличием скорости нагрева от скорости охлаждения более, чем в три раза и наличием примесей в реперном металле.

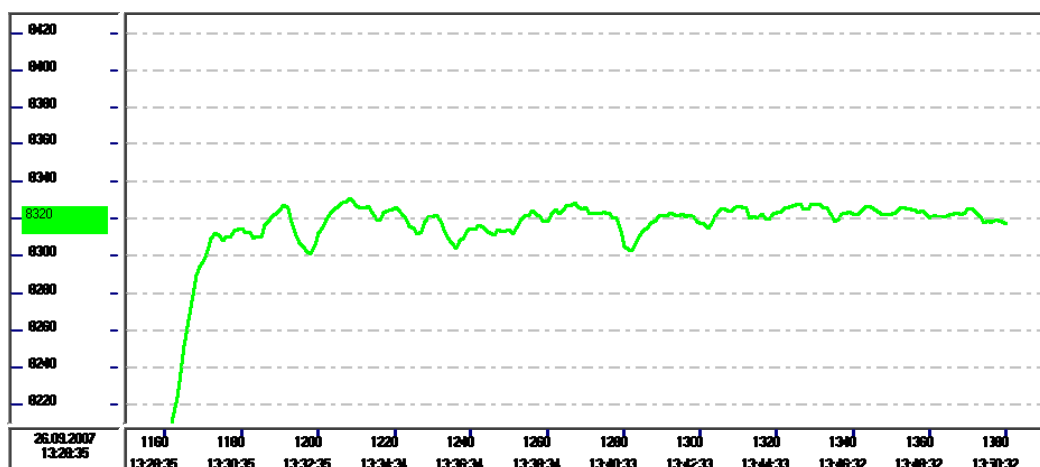


Рис. 2 – Плато плавления олова, регистрируемое ТХА № 541

На рис. 2 показан участок плато плавления олова, на котором отчетливо видны флуктуации, обусловленные наличием примесей в реперном металле и дрейфом термо-э.д.с. ПИП.

Все приведенные выше температурные плато плавления и затвердевания реперных металлов обладают достаточной информативностью и пригодны к проведению работ по градуировке ПИП. Температура плавления при оптимальном режиме нагрева СДТ при термоциклировании изменяется незначительно ( $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Основное различие кривых может быть обусловлена дрейфом индивидуальной НСХ термо-электрического преобразователя и скоростью нагрева реперного вещества.

На рис. 3 показано типичное температурное плато затвердевания олова, регистрируемое с помощью термоэлектрического преобразователя ТНН-1007М в СДТ на основе двух реперных металлов.

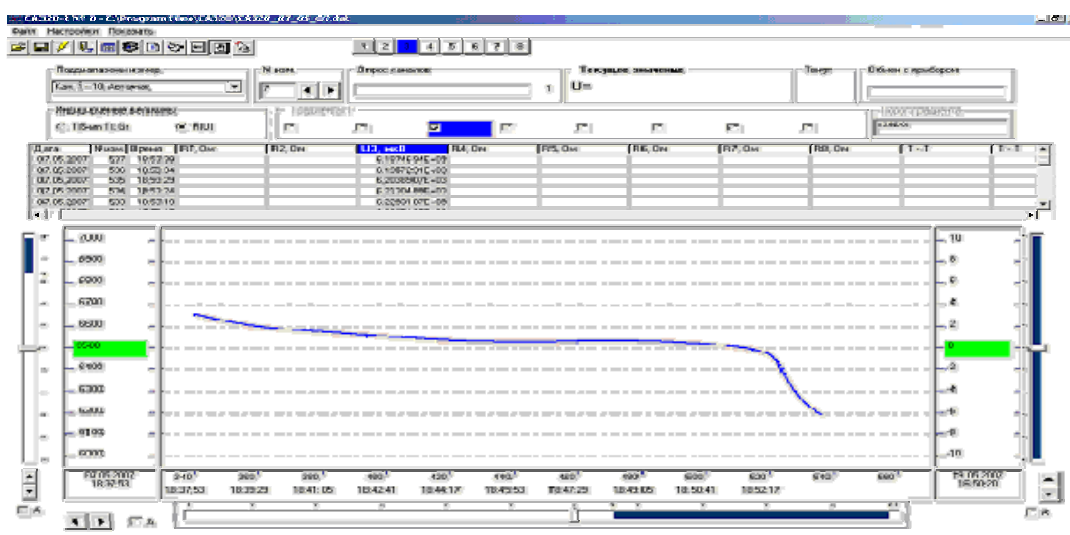


Рис. 3 – Плато затвердевания олова, регистрируемое ТНН-1107М

Исследование плато показало, что нестабильность плато затвердевания олова составила  $1,32\text{ мкВ}$ , что в температурном эквиваленте составляет  $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; длительность плато –  $7\text{ мин}$ ; наклон плато –  $1,57\text{ мкВ/мин}$  ( $0,047\text{ }^{\circ}\text{C/мин}$ ), что достаточно для проведения градуировки первичного датчика.

Анализ полученных результатов показал:

– длительность плато зависит от нескольких факторов – скорости нагрева реперного металла, температуры перегрева, выдержки в расплавленном состоянии и скорости охлаждения (для плато затвердевания);

– оптимальным температурным режимом для самокалибровки ПИП является: скорость нагрева – 1 °С/мин; температура перегрева – от 8 °С до 10 °С; выдержка в расплавленном состоянии – 10 мин; скорость охлаждения – 0,35 °С; – нестабильность воспроизведения плато определяется скоростью нагрева и охлаждения, примесями в реперном металле и дрейфом термо-э.д.с. первичного преобразователя;

– использование термоэлектрического преобразователя ТНН является предпочтительным в СДТ ввиду более высокой стабильности термо-э.д.с., которая обусловлена повышенным содержанием хрома и кремния, которые уменьшают скорость окисления никрсила и нисила по сравнению с алюмелем и хромелем; у ТНН отсутствует обратимая нестабильность.

**Выводы.** Таким образом, практическая реализация СДТ показала стабильность малогабаритной реперной точки при температурах и температурных циклах, значительно превышающих температуры фазовых переходов, что позволит использовать данные датчики для повышения точности и достоверности температурных измерений в АСУ ТП энергоблоков АЭС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Саченко А.А. Совершенствование методов измерения температуры / А.А. Саченко, Е.Я. Твердый - Киев: «Техника», 1983. – 104 с.
2. Туз Ю.М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств / Туз Ю.М. – Киев: Вища школа, 1976. – 255 с.
3. Методы повышения точности измерения температуры термоэлектрическими преобразователями: материалы V Всесоюз. научно-техн. конференции: Состояние и перспективы развития средств измерения температуры – Львов, 1984. т.2. - С.205-206.
4. Long term and high temperature behaviour of miniature fixed point thermocouples // XIII IMESCO World Congress, Torino: 1994. – P. 1402-1407.
5. А.с. 1126821 СССР, 3(51) G 01 K 15/00. Устройство для калибровки термопреобразователей / В.Ю. Мильченко, А.А. Саченко, В.В. Кочан (СССР); - опубл. 30.11.1984, Бюл. № 44.

6. Пат. 84346 Україна, МПК (2006) G 01 K 15/00, G 05 D 23/00. Спосіб самокалібрування датчиків температури та пристрій для його здійснення / Іванова К.П., Курська Т.М., Сидоренко Г.С.; заявник і патентовласник Національний науковий центр «Інститут метрології». - № а 2006 13674; заявл. 25.12.2006; опубл. 10.10.08, Бюл. № 19.

## УДК 641.8

*Метелев А.В., канд. техн. наук, декан, УГЗУ,  
Халыпа В.М., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Вамболь С.А., канд. техн. наук, зав. каф., УГЗУ*

### **ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ И ОСТОЙЧИВОСТЬ ПОНТОННОГО ПАРОМА**

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

Предложена методика расчета основных параметров понтонного парома: осадки, грузоподъемности и остойчивости

**Ключевые слова:** остойчивость, грузоподъемность, эвакуация, понтонный паром

**Постановка проблемы.** Понтонные паромы при наводнении применяются как спасательные плавающие средства для эвакуации пострадавших и перевозке различных грузов и оборудования. В связи с этим при конструировании и постройке таких паромов необходимо рассчитывать грузоподъемность и остойчивость – восстановление равновесного состояния при крене. Кроме этого, паром должен иметь относительно небольшую осадку, чтобы плавать на мелководе. Для этого в качестве несущего элемента конструкции используются тонкостенные цилиндрические оболочки трубы с закрытыми днищами.

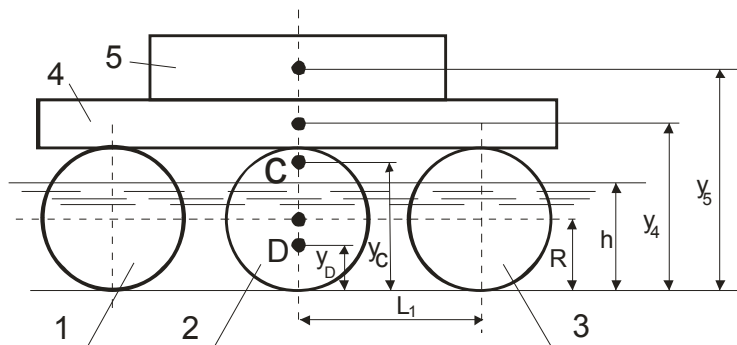
Преимущество понтонных паромов и наплавных мостов такого типа состоит в том, что они обладают значительно более высоким коэффициентом грузоподъемности (отношение веса груза к весу самого парома) по сравнению с паромами других конструкций.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Определение грузоподъемности и остойчивости плавательных средств изложено в работах [1-5] и др. В данной работе предлагается методика расчета основных параметров парома: осадки, грузоподъемности и остойчивости понтонного парома, подводная часть которого состоит из цилиндрических труб симметрично расположенных относительно оси плавания. Труба 1 может смещаться перпендикулярно оси плавания (рис. 1), что позволяет увеличивать момент инерции плоскости плавания и повысить остойчивость как при неожиданном смещении центра тяжести перевозимого груза, так и при транспортировке грузов с заранее смещенным центром тяжести относительно оси плавания.

**Постановка задачи и ее решение.** Предположим, что паром состоит из одинаковых труб, которые с одной и той же осадкой  $h$  плавают в воде под действием сил  $G$  – собственного веса и веса  $G_{II}$  – палубного оборудования, приходящегося на одну трубу (рис. 2).

$$G = \pi \rho g ((2R\delta - \delta^2)L + 2\pi R^2\delta), \quad (1)$$

где  $R$  - радиус трубы,  $L$  - ее длина,  $\delta$  - толщина стенки,  $\rho$  - плотность материала трубы.

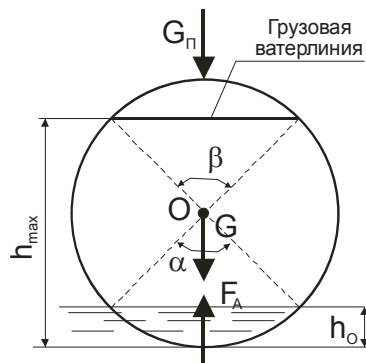


**Рис. 1 – Расчетная схема остойчивости понтонного парома. 1,2,3 –цилиндрические трубы, 4 – палуба, 5 – груз**

Выталкивающая сила Архимеда

$$F_A = \rho_s g \frac{1}{2} R^2 L (\alpha - \sin \alpha), \quad (2)$$

где  $\rho_v$  - плотность воды,  $\alpha$  - центральный угол, соответствующий затопленному сегменту круга при осадке  $h$ .



**Рис. 2 – Расчетная схема определения осадки парома от собственного веса**

Условие равновесия плавающей трубы  $F_A = G + G_{II}$  приводит к трансцендентному уравнению относительно угла  $\alpha$

$$\alpha - \sin \alpha = a, \quad (3)$$

где 
$$a = \frac{2\pi\rho g\delta((2R - \delta)L + 2R^2) + 2G_{II}}{\rho_B g R^2 L}.$$

Уравнение (3) является трансцендентным. Определить его единственный положительный корень  $\alpha_1$  можно графически или численными методами, например методом Ньютона или итераций в принципе с любой степенью точности. После вычисления  $\alpha_1$  находим величину  $h_0$  осадку парома под действием собственного веса.

$$h_0 = R(1 - \cos \frac{\alpha_1}{\alpha}), \quad (4)$$

Предельно допустимая осадка  $h_{\max}$ , которая определяет грузовую ватерлинию (рис. 2) обычно величина известная, позволяет найти  $P$  – грузоподъемность парома, которая равна выталкивающей силе при заглублении парома на величину  $h_{\max} - h_0$



$$P = n\rho_B gL \left[ \pi R^2 - \frac{1}{2} R^2 (\alpha - \sin \alpha) - \frac{1}{2} R^2 (\beta - \sin \beta) \right] = \quad (5)$$

$$= \frac{n}{2} \rho_B gLR^2 [2\pi - \alpha - \beta + \sin \beta],$$

где  $n$  – число труб,  $\alpha = \alpha - \sin \alpha$ ,  $\beta = 2 \arccos \frac{h_{\max} - h_0}{R}$ .

Важнейшей характеристикой мореходных качеств любого надводного плавающего средства является остойчивость. Случай остойчивости равновесия парома характеризуется соблюдением равенства

$$\rho_m = \frac{J}{W} > e, \quad (6)$$

где  $\rho_m$  – метацентрическая высота или радиус,  $e$  – эксцентриситет, расстояние между центром тяжести (точка  $C$ ) парома и центром давления (точка  $D$ ), в которой приложена выталкивающая сила Архимеда (рис. 1). В выражении (6)  $J$  – момент инерции всей площади плоскости плавания парома относительно его продольной оси;  $W$  – обычное водоизмещение (объем затопленных частей труб).

Эксцентриситет  $e = y_C + y_D$  (рис. 1), вертикальные координаты точек  $C$  и  $D$  определяются известными методами теоретической механики, по известным вертикальным координатам центров тяжести груза  $y_5$ , палубы  $y_4$ ,  $R$  – труб и  $y_D$  – центра давления, которые отсчитываются от горизонтальной оси  $OX$ , отстоящей от свободной поверхности воды на глубине осадки  $h$  парома.

При перевозке грузов со смещенным положением центра тяжести в горизонтальном направлении для выравнивания крена предлагается перемещать в том же направлении центральную трубу с помощью специального механизма. Для определения величины смещения центра тяжести груза, при котором еще можно устранить крен поступим следующим образом. Согласно размерам, указанным на рис. 1 трубу 2 можно переместить вплоты к трубе 3 на расстояние  $L_1 - 2R$ . При этом центр давления (точка  $D$ ) также переместится вправо на величину  $x_D = (L_1 - 2R)/3$ . Предположим, что центр тяжести груза весом  $G_r$  смещен вправо на величину “ $b$ ”.

В таком случае центр тяжести паромов с грузом (точка  $C$ ) переместится на величину  $x_C = \frac{G_G \cdot b}{G_G + G_{II} + 3G}$ .

Крен вправо будет ликвидирован только в том случае, если точки  $D$  и  $C$  будут лежать на одной и той же вертикальной прямой, тогда опрокидывающий момент вызванный смещением центра тяжести груза уравнивается восстанавливающим моментом выталкивающей силы Архимеда. Приравнявая  $x_D$  и  $x_C$  определяем величину "b" наибольшего смещения центра тяжести груза, который можно перевозить на понтонном пароме данной конструкции  $b = \frac{(G_G + G_{II} + 3G)(L_1 - 2R)}{3G_G}$ .

Отметим так же, что в новом равновесном положении расчет остойчивости ничем принципиально не отличается от рассмотренного выше.

**Выводы.** В предлагаемой работе изложена методика расчета основных мореходных качеств: осадки, грузоподъемности и остойчивости паромов с затопленными элементами в виде цилиндрических труб. С практической точки зрения такие понтоны обладают рядом преимуществ: высоким коэффициентом грузоподъемности, сравнительно небольшой осадкой плавания. При наличии центральной трубы ось, которой может смещаться в горизонтальном направлении дает возможность перевозить грузы со смещенным центром тяжести. Результаты работы могут использоваться при проектировании и конструировании паромов для эвакуации при чрезвычайных ситуациях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. П.Аппель. Руководство теоретической (рациональной) механики. Т. 3, М. 1911 457 с.
2. А.Н. Крылов. Качка корабля. Изд-во АН СССР 1951 г. 386 с.
3. А.М. Латышенков, В.Г. Лобачев. Гидравлика. Гос.изд.лит. по строительству и архитектуре. М. 1956 г. 408 с.
4. Р.Р. Чугаев. Гидравлика (Техническая механика жидкости). Л. Энергия, 1970 г. 551 с.
5. Материалы международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы проектирования и эксплуатации судов". 9-10 апреля 2008. г. Морское Инженерное Бюро. г. Одесса

*Мищенко И.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Трубаев А.И., канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
Чернобай Г.А., канд. техн. наук, доц., УГЗУ*

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ**

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

Рассматривается задача определения показателей надежности (вероятности безотказной работы, плотности отказов и среднего времени до разрушения) трубопроводных систем с учетом внешнего случайного кинематического воздействия с целью предотвращения аварийных ситуаций на объектах повышенной опасности

**Ключевые слова:** надежность, случайное воздействие, вероятность, отказ, трубопроводная система

**Постановка проблемы.** При внешнем кинематическом воздействии в различных элементах конструкции происходит накопление усталостных повреждений, что приводит к возникновению трещин, дальнейшему их развитию и последующему разрушению или отказу. Случайный характер внешнего кинематического воздействия приводит к необходимости решения задач статистической динамики и надежности в вероятностной постановке. Анализ накопленных повреждений в трубопроводной системе важен для определения ее работоспособности и предотвращения аварий на объектах повышенной опасности (летательные аппараты, металлургические предприятия и др.).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Расчет конструкций при вибрационной нагрузке рассмотрен в работе [1], решение задачи надежности для элементов конструкций при циклическом нагружении и различных физических моделях отказов на основе двумерных марковских моделей рассмотрено в работе [2], общая постановка задачи надежности с учетом внешнего случайного кинематического воздействия приводится в работе [3].

**Постановка задачи и ее решение.** Рассматривается задача определения показателей надежности – вероятности безотказной работы, плотности отказов и среднего времени до разрушения – трубопроводной системы, представленной на Рис. 1. Пред-

Решение задачи надежности трубопроводных систем объектов повышенной опасности

полагается, что внешнее кинематическое воздействие представляет стационарный нормальный случайный процесс с известными спектральной плотностью (Рис. 2).

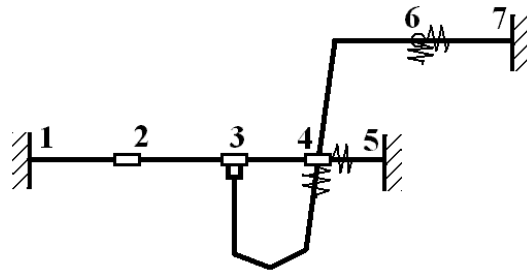


Рис. 1 –Трубопроводная система

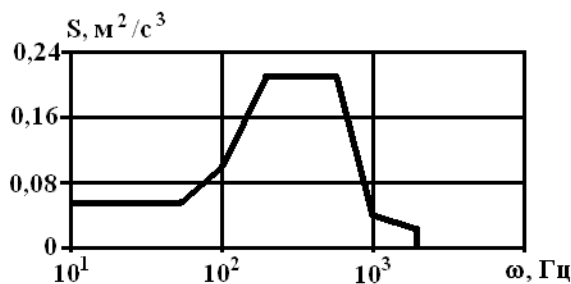


Рис. 2 – Спектральная плотность

На первом этапе в рамках корреляционной теории с использованием метода конечных элементов решается задача случайных колебаний анализируемой конструкции. Используя соотношения теории упругости и метода конечных элементов, получаем вероятностные характеристики напряжений в отдельных элементах конструкции. Определив наиболее опасные из них, переходим ко второму этапу, который состоит в прогнозировании надежности этих элементов [2,3]. Как правило, для данного класса конструкций параметры напряженно-деформированного состояния представляются в виде суперпозиции квазигармонических случайных процессов, более того, одна из форм колебаний является доминирующей, что позволяет для решения задачи надежности сразу использовать узкополосный случайный процесс  $y(t) = \lambda(t) \cos[\omega t + \varphi(t)]$  (в общем случае необходимо по выбранному методу схематизации осуществить приведение исходного процесса к эквивалентному по повреждающему действию узкополосному).

На этом этапе использую следующие вероятностные характеристики, полученные ранее: одномерную плотность вероятности

Мищенко И.В., Трубаев А.И., Чернобай Г.А.

$f(\lambda)$  огибающей  $\lambda(t)$  (амплитуды напряжений), несущую частоту  $\omega$ , корреляционную функцию  $K_y(\tau)$ . Задача надежности решается с учетом различных факторов, в том числе вероятностном задании кривых усталости материала. Последнее позволяет учесть микроструктурную неоднородность материала и получить более точные по сравнению с использованием детерминированной кривой усталости показатели надежности конструкций.

Расчеты проводились для системы, которая после конечно-элементной дискретизации насчитывала 14 элементов, 15 узлов. В системе имеется тройник 3, приваренный к трубкам, а также два соединения – 2, 4. Внешний диаметр трубок слева от тройника  $d=0,022$  м, справа  $d=0,02$  м, для остальных  $d=0,01$  м, толщина трубок  $h=0,001$  м, модуль упругости  $E=7 \cdot 10^4$  МПа, плотность  $\rho=2,8 \cdot 10^4$  кг/м<sup>3</sup>. Закрепление трубопровода имитируется с помощью линейных и угловых пружин конечной жесткости.

Анализируя поведение конструкции, оценивая вклад каждой из форм колебаний, нами рассчитаны среднеквадратические отклонения напряжений (СКО) в элементах конструкции и определены наиболее опасные с точки зрения напряженно-деформированного состояния (НДС) точки. При указанном внешнем воздействии наиболее опасными является 3-я и 4-я форма колебаний системы, вклад остальных форм в НДС значительно (на один-два порядка) меньше.

Расчеты проводились для различных значений дисперсии напряжений  $\sigma_\lambda^2$  (МПа)<sup>2</sup>, что обусловлено введением масштабного коэффициента для спектральной плотности. Для расчета вероятностных характеристик меры повреждения использовалось кинетическое уравнение, соответствующее линейной гипотезе суммирования повреждений. Кривая усталости (кусочно-постоянная), полученная экспериментально на образцах конструкции, представлена на Рисунке 3 (сплошная линия) в координатах  $\lg \lambda - \lg N$  (здесь  $N$  - число циклов) и имеет характеристики ( $m$  - показатель кривой усталости)

$$m = \begin{cases} 6, & N < 2,5 \cdot 10^5, \quad \lambda > 161,9 \text{ МПа} \\ 10, & 2,5 \cdot 10^5 \leq N < 5 \cdot 10^6, \quad 120 < \lambda \leq 161,9 \text{ МПа} \end{cases}$$

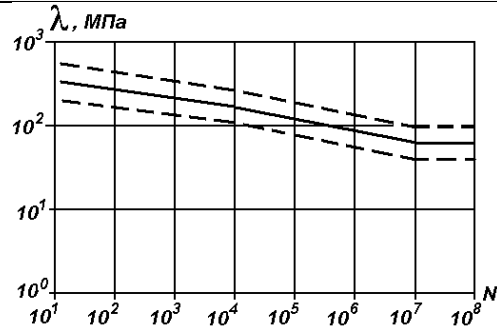


Рис. 3 – Кривая усталости

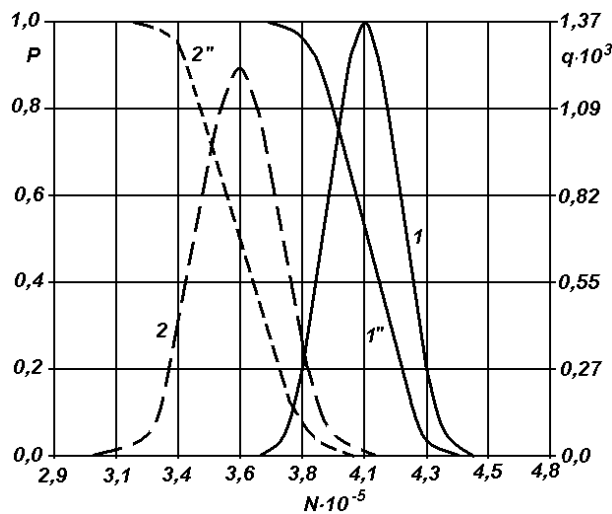


Рис. 4 – Вероятность безотказной работы и плотность вероятности отказов

В расчетах применялись: 1) детерминированная кривая усталости при  $\sigma_{lg\sigma_{-1}} = 0,0$  (Рисунок 3, сплошная линия); 2) вероятностная кривая усталости при  $\sigma_{lg\sigma_{-1}} = 0,05$  (Рис. 3, пунктирная линия). Получены вероятности безотказной работы  $P$  и плотности вероятности отказов  $q$  для соответственно первого и второго вариантов задания кривой усталости (Рис. 4).

**Выводы.** В элементах трубопроводной системы происходит накопление усталостных повреждений, что может привести к его разрушению и отказу. В работе приводятся численные исследования по определению показателей надежности указанных конструкций при случайном кинематическом воздействии. Вероятностное задание кривой усталости дает заниженное по сравнению с детерминированной значение среднего ресурса, что является важным при оценке работоспособности объектов повышенной опасности.

## ЛИТЕРАТУРА

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

### УДК 355.58

*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*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ НАСЕЛЕНИЯ ВСЛЕДСТВИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ С УЧЕТОМ СЕЗОННО-ВРЕМЕННЫХ ФАКТОРОВ**

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

Рассмотрены вопросы прогнозирования безвозвратных и санитарных потерь населения в зонах катастрофического затопления при возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с авариями на гидротехнических сооружениях

**Ключевые слова:** гидродинамическая авария, зоны катастрофического затопления, потери населения

**Постановка проблемы.** Статистика свидетельствует, что опасность возникновения чрезвычайных ситуаций класса 11100 (Гидродинамические аварии) остается достаточно высокой [1-3]. Аварийное состояние многих гидротехнических сооружений (ГТС) приводит к недостаточным размерам водосбросов и невозможности обеспечить пропуск высоких половодий и паводков редкой повторяемости, что влечет за собой переполнение водохранилищ, пере-

---

Особенности прогнозної оцінки втрат населення внаслідок гідродинамічної аварії з урахуванням сезонно-часових факторів

лив воды через гребень ГТС, их повреждение и разрушение. В таких случаях в нижний бьеф обрушивается волна прорыва, разрушая хозяйственные объекты, населенные пункты, пастбища и т.д., образуются зоны катастрофического затопления.

В результате работы Межведомственной комиссии, созданной в соответствии с [4] было выявлено, что не обеспечивает гарантированной защиты населения и требует немедленной реконструкции значительная часть комплекса ГТС на территории рек Днепр, Дунай, Днестр, Тиса. Особую обеспокоенность вызывает состояние Никопольской защитной плотины Каховского водохранилища, в результате прорыва которой в зонах катастрофического затопления оказывается 15 000 человек [2].

Вышеизложенное делает актуальной задачу оценки потерь населения в зонах катастрофического затопления для принятия научно обоснованных предупредительных мер гражданской защиты, а также для выполнения отдельных пунктов нормативных документов Украины и России (пункта 1 раздела III [5]; пункта 2 раздела 10 [6]; пункта 13, абзацев 7,8 [7]; пункта 4.2.7 [8]; пункта 5.4 [9]), пункта 6.4.1 [10]; пункта П.3.5 [11].

**Анализ последних исследований и публикаций.** В большинстве методик (8,9,11) прогнозирование потерь предлагается вести для усредненных фиксированных коэффициентов, которые не учитывают сезонно-временные факторы, в особенности наличие льда на водном объекте на момент возникновения гидродинамической аварии. Авторы предлагают более общий подход, позволяющий производить расчеты для любого времени года, суток и зоны катастрофического затопления.

**Постановка задачи и ее решение.** Формулу расчета потерь с учетом рекомендаций, изложенных в [12,13] запишем в следующем виде

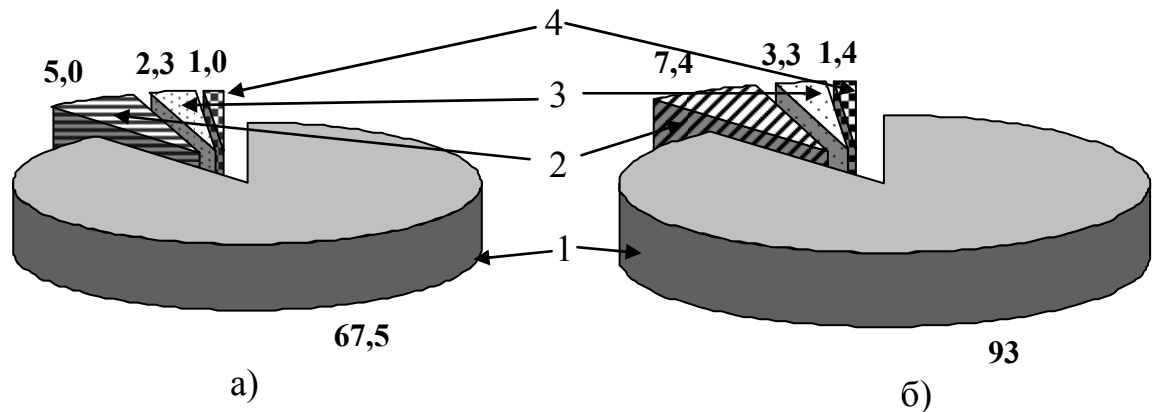
$$G_i = \sum_{p=1}^4 g_{ip} = k_{ip}^{(vt)} \cdot N_p \cdot w(t), \quad (1)$$

$g_{ip}$  - количество потерь  $i$ -го вида в  $p$ -ой зоне катастрофического затопления, причем  $i=1$  для обозначения безвозвратных потерь (летальные исходы);  $i=2$  для обозначения санитарных потерь (ранения и травмы различной степени тяжести);  $p=1$  для обозначения зоны бурного течения;  $p=2$  для обозначения зоны сильного



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

С использованием данной формулы авторами были осуществлены прогнозные оценки потерь с учетом сезонно-временных факторов и распределения людей по зонам катастрофического затопления. При этом принималось допущение о том, что  $w(t)=1$ , что соответствует условию близкого к ГТС расположения населенного пункта, попадающего в зону катастрофического затопления, когда действия населения и сил ГЗ не являются эффективными, а также учитывались данные по проценту потерь в каждой из зон (рис.1).



**Рис. 1 – Диаграмма, показывающая процент безвозвратных потерь: а) в дневное время; б) в ночное время; 1 – в зоне бурного течения; 2 – в зоне сильного течения; 3 – в зоне среднего течения; 4 – в зоне слабого течения**

Результаты исследований проиллюстрированы графиками на рис 2,3.

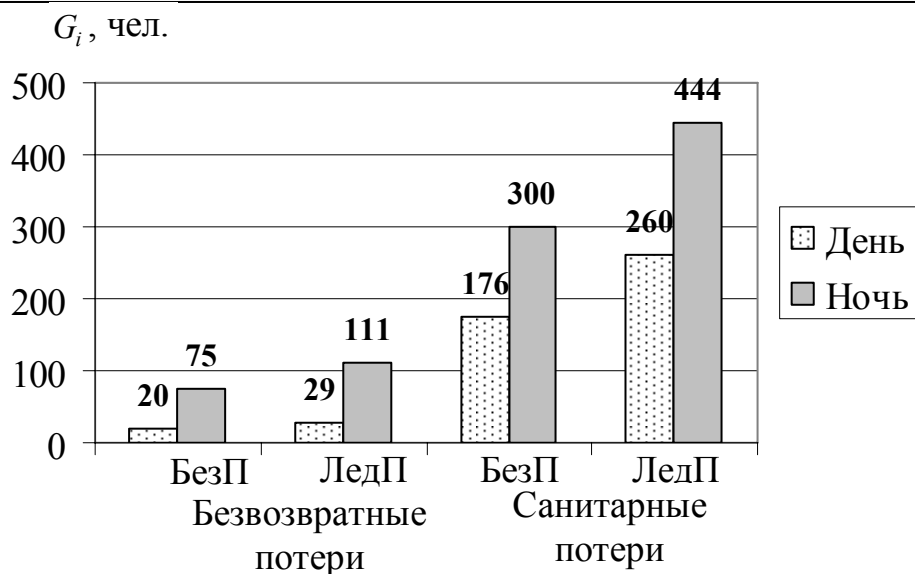


Рис. 2 – График зависимости безвозвратных и санитарных потерь в зоне сильного течения в дневное и ночное время ледоставного и безледоставного периода года для случая, если в данной зоне находится 1500 человек

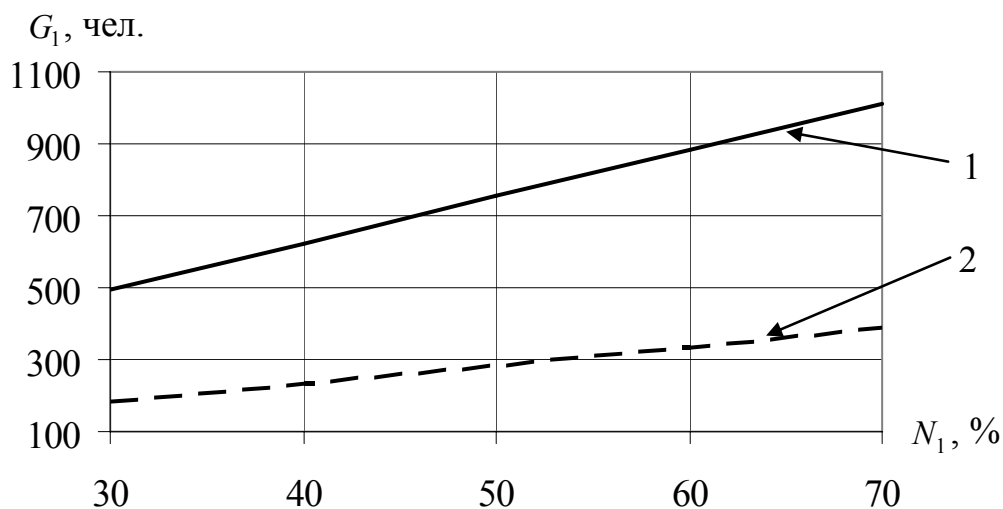


Рис. 3 – График зависимости безвозвратных потерь в ледоставный период года от процента населения в зоне бурного течения при нахождении оставшейся его части в зоне сильного течения и общем числе населения в двух зонах, равном 1500 человек: 1- в ночное время; 2 – в дневное время

Анализ данных графиков позволяет выявить следующие сезонно-временные особенности потерь населения:

в зоне сильного течения безвозвратные и санитарные потери (как в ледоставный, так и в безледоставный период), ночью соответственно в 3,7 и 1,7 раза больше, чем днем;

в зоне сильного течения в ледоставный период (как в дневное, так и в ночное время) безвозвратные и санитарные потери больше, чем в ледоставный в среднем в 1,5 раза;

увеличение процента населения, проживающего в зоне бурного течения с 30% до 70%, приводит к двукратному увеличению безвозвратных потерь в ледоставный период.

**Выводы.** Представлены подходы к прогнозированию потерь в зонах катастрофического затопления с учетом сезонно-временных факторов. Показано, что в любое время года наибольшие потери имеют место в ночное время, а к увеличению потерь ведет наличие льда на водных объектах и концентрация людей в зоне бурного течения. Результаты исследований целесообразно использовать при отработке документов в соответствии с [5-11]. Направлением дальнейших исследований является учет степени неадекватности действий сил ГЗ и населения при катастрофическом затоплении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калустян Э.С. Статистика и причины аварий плотин //Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - 1997. - Вып. 3. - С. 40-50.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році. - [http://www.mns.gov.ua/annual\\_report/2008](http://www.mns.gov.ua/annual_report/2008).
3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році. - [http://www.mns.gov.ua/annual\\_report/2009](http://www.mns.gov.ua/annual_report/2009).
4. Про обстеження гідротехнічних споруд гідроелектростанцій. Наказ Міністерства палива і енергетики України від 12.03.2007 р., № 136. - <http://www.lawua.info/jurdata/dir125/dk125875.htm>.
5. Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру (затверджена ПКМУ від 15.02.2002 р., № 175). - <http://uazakon.com/document/spart17/inx17601.htm>.

6. Регламент моніторингу потенційно небезпечних об'єктів (затверджений наказом МНС України від 11.10.2004 р., № 110). Додаток 3.3. Форма 3 НС. Паспорт потенційно небезпечного об'єкта (гідротехнічний об'єкт). - <http://www.mns.gov.ua/UserFiles>.
7. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів (затверджена наказом МНС України від 23.02.2006 р., № 98). - <http://www.mns.gov.ua/UserFiles>.
8. РД 153-34.2-002-01. Временная методика оценки ущерба, возможного вследствие аварии гидротехнического сооружения (утверждена приказом Минэнерго РФ от 26.04.2001 г., № 130). – М.: Минэнерго РФ, 2002.- 39 с.
9. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (утверждена приказом МЧС и Росгортехнадзора РФ от 15.08.2003, № 482). - М.: МЧС РФ, 2003. – 24 с.
10. ГОСТ Р 22.1.11-2002. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования (введен в действие Постановлением Госстандарта РФ от 24.10.2002 г. № 389-ст). – М.: Госстандарт РФ, 2003. – 16 с.
11. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходных гидротехнических сооружений (утверждена приказом МЧС и Министерства транспорта и связи РФ от 02.10.2007 г. № 528/143). – М.: МЧС РФ, 2008. – 49 с.
12. Организация экстренной медицинской помощи населению при стихийных бедствиях и других чрезвычайных ситуациях/ Под. ред. В.В. Мешкова - М.:МП «Медикас», 1992. – 194 с.
13. Мальцев В.А. Методика оценки обстановки на промышленном предприятии при чрезвычайных ситуациях: Учебно-методическое пособие. - М.: ИПК госслужбы, 1993. - 125 с.

*Прохач Э.Е., д-р техн. наук, зам. директора, ХНЦВЭ,  
Попов Н.П., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ХНЦВЭ*

## **МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАССЕЙНИЯ ПАРА ПРОЛИТОЙ НА ГРУНТ ЖИДКОСТИ**

Предложен метод расчета плотности потока пара и параметров его рассеяния в атмосфере при испарении жидкостей, пролитых на поверхность открытого грунта.

**Ключевые слова:** пар, жидкость, концентрация вредных веществ

**Постановка проблемы.** На территории Украины существует значительное количество предприятий, где производятся, хранятся или используются опасные химические вещества. К сожалению, изношенность оборудования и состояние систем контроля технологических средств защиты в настоящее время не позволяют обеспечить безаварийное функционирование таких предприятий, в частности целостность резервуаров хранилищ. Известны аварийные ситуации на автомобильном и железнодорожном транспорте, приводившие к разливу перевозимых токсичных жидкостей. Падение и разрушение первых ступеней баллистических ракет даже при удачных пусках также приводит к выливу на грунт гарантийных остатков ракетного топлива.

Пролитая токсичная жидкость частично проникает в грунт с последующей миграцией в грунтовые горизонты, другая часть испаряется, образуя облако ядовитого пара.

В связи с изложенным, разработка методов расчета характеристик процесса рассеяния в атмосфере паров, образующихся при испарении с открытой поверхности жидкости, является, на наш взгляд, важной научно-технической задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Теория рассеяния вредных примесей, содержащихся в факелах дымовых труб, радиоактивных выбросах и т. п., в достаточной степени разработана и на ее основе созданы нормативные документы. Одной из моделей процесса рассеяния примесей в атмосфере является гауссова статистическая модель, которая широко применяется на практике. Существуют несколько методов расчета, использующих

эту модель, но отличающихся способом задания исходных данных [1-4].

Основным уравнением гауссовой модели [1] является выражение вида

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

Для расчета концентрации  $q(x, y, z, h)$  примеси в точке с координатами  $x, y, z$  в атмосферном воздухе должны быть известны массовый расход  $M$  примеси из источника, высота  $h$  подъема факела примеси над уровнем земли, скорость ветра  $u$ , дисперсии координат примесей  $\sigma_y^2$  и  $\sigma_z^2$ . Однако методы расчета рассеяния пара, образующегося над зеркалом испаряющейся жидкости, практически отсутствуют.

При использовании известных методов расчета концентрации примесей в выбросах примесь считается невесомой, что в ряде случаев является недостаточно корректным, кроме того не учитываются структура и особенности распространения шлейфа пара, исходящего из зоны испарения.

Для случая испарения пролитой на грунт жидкости неопределенными являются массовый расход пара и высота его подъема. В этой связи важной задачей является определение интенсивности испарения жидкостей в условиях свободной атмосферы.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью настоящей работы является разработка метода расчета рассеяния паров, образующихся при испарении жидкостей в атмосферных условиях, с учетом характера испарения и конфигурации шлейфа пара.

Картину движения пара над зеркалом жидкости с характерным размером  $l_{np}$  и за его пределами представим в виде, показанном на рис. 1. Пар движется в вертикальном направлении со скоростью, равной некоторой эффективной скорости  $u_{эф}$ . В горизонтальном направлении скорость пара определяется скоростью ветра  $u(z)$ . В результате высота подъема пара испаряющейся жидкости в атмосферном воздухе в направлении ветра (ось  $x$ ) минимальна над передней кромкой пролива и максимальна над ее задней кромкой. Поскольку скорость ветра увеличивается с высотой, верхняя граница потока пара будет иметь вид, показанный на

рис. 1. Высота верхней кромки пара определяет градиент удельной влажности.

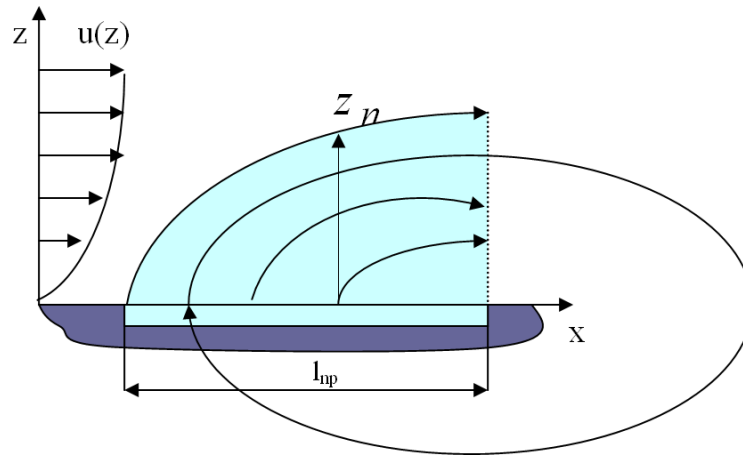


Рис. 1 – Схема течения пара над пролитой жидкостью

Процесс испарения жидкостей и рассеяния пара в атмосфере подчиняется закономерностям турбулентной диффузии. Движущей силой турбулентного обмена являются пульсации скорости и температуры [1,2]. Установлено, что скорость ветра  $u(z)$ , температура воздуха  $T(z)$ , и его удельная влажность изменяются с высотой по логарифмическому закону. Процессы тепло- и массопереноса в атмосфере характеризуются потоком импульса  $\tau_0$ , динамической скоростью  $u$ , масштабом температуры  $T$  и масштабом турбулентности  $L$ , а также безразмерными комплексами  $\bar{z}/L$  (параметр устойчивости атмосферы [1]) и  $ut/L$  (критерий подобия переноса импульса и теплоты), где  $\bar{z}$  – высота центра тяжести облака примеси. Важной особенностью параметров  $u, \tau_0$  является их неизменность по высоте  $z$ . Параметры  $u$  и  $L$  связаны с разностью скоростей  $\Delta u = u_2 - u_1$  и температур  $\Delta T = T_2 - T_1$  известными соотношениями

$$u = \frac{\chi}{\varphi_u} \cdot \frac{\Delta u}{\ln(z_2/z_1)}, \quad L = \frac{\varphi_T}{g} \frac{\bar{T}}{\Delta T} \frac{u^2}{\ln(z_2/z_1)}, \quad (2)$$

где  $\chi=0,4$  - постоянная Кармана;  $\varphi_u, \varphi_T$  - универсальные функции;  $\bar{T} = (T_2 + T_1)/2$  - средняя температура воздуха;  $g$  – ускорение свободного падения.

При расчете вертикальной скорости пара будем считать, что пар является самостоятельной субстанцией. Его движение связано не только с пульсациями скорости и температуры воздуха, но и с силами плавучести  $F_{nl}$ , обусловленными разностью плотности пара  $\rho_n$  и воздуха  $\rho_b$ . В результате пар движется относительно воздуха с некоторой скоростью  $u_n$ . Величина эффективной скорости  $u_{эф}$  равна сумме динамической составляющей скорости  $u_\partial = b_1 \cdot u$  и скорости  $u_n$ .

Скорость пара может быть найдена из условия равенства силы плавучести силе сопротивления. При нейтральном состоянии атмосферы ( $T_2 = T_1$ ) сила плавучести определяется по формуле  $F_{nl} = g(\rho_b - \rho_n)V_{ni}$ , где  $V_{ni}$  - приведенный объем пара в его смеси с воздухом. В условиях турбулентной атмосферы коэффициент турбулентной диффузии значительно превышает коэффициент молекулярной диффузии даже при малых значениях скорости ветра. В этих условиях для расчета силы сопротивления  $F_c$  рекомендуется выражение вида  $F_c = A\rho_b u_n^2 r_{ni}^2$ , где  $A$  - постоянный множитель;  $r_{ni}$  - радиус сферы, определяющий приведенный объем пара  $V_{ni} = 4\pi r_{ni}^3 / 3$ . При равенстве сил  $F_{nl} = F_c$  учитывая, что  $pV_{ni} = p_n V$ , где  $p, p_n$  - соответственно атмосферное давление и парциальное давление пара,  $V$  - объем смеси. При условии:  $V = 1$  м<sup>3</sup> радиус  $r_{ni}$  приведенного объема пара равен

$$r_{ni} = \left( \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{p_n}{p} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Из равенства сил  $F_{nl} = F_c$  после некоторых преобразований получим выражение для вертикальной скорости пара, обусловленной силами плавучести

$$u_n = \left[ \frac{4}{3} \pi \frac{g}{A} \left( 1 - \frac{p_n \mu_n}{p \mu_b} \right) r_{ni} \right]^{1/2}, \quad (4)$$

где  $\mu_n, \mu_b$  - соответственно относительная молярная масса пара и сухого воздуха.



Высоту подъема пара примем равной  $z_n = u_{эф} \cdot t$ . Используя полученные соотношения, запишем выражение для отношения  $z_n / z_0$  в виде

$$\frac{z_n}{z_0} = \frac{B}{\varphi_u \ln(z_n / z_0)} \frac{x}{z_0} x' \quad (5)$$

где  $z_0$  - параметр шероховатости местности;  $B = b_1 + u_n / u$ ;  $x'$  - координата в направлении ветра в пределах зеркала пролива.

Для условий рассеяния пара испаряющейся жидкости устойчивость атмосферы можно считать в большинстве случаев близкой к нейтральной ( $-0.2 \leq \bar{z} / L \leq 0.1$ ).

Для разрешения выражения (5) относительно  $z_n / z_0$  обозначим  $y = z_n / z_0$ . Из (5) имеем

$$y \cdot \ln y = B \frac{x}{\varphi_u z_0} x' \quad (6)$$

Представляя  $\ln y \cong y^{0,33}$ , после преобразования получим

$$z_n = z_0 \left( B \frac{x}{\varphi_u \cdot z_0} \cdot x' \right)^{0.75} \quad (7)$$

Максимальная высота верхней границы пара будет иметь место при значении  $x' = l_{np}$ , т.е.

$$z_{n\max} = z_0 \left( B \frac{x}{\varphi_u \cdot z_0} \cdot l_{np} \right)^{0.75} \quad (8)$$

Среднее по длине пролива значение  $z_n$  равно

$$z_{n\text{cp}} = z_0 \left( \frac{B}{1.75} \cdot \frac{x}{\varphi_u z_0} \cdot l_{np} \right)^{0.75} \quad (9)$$

За пределами пролива конфигурация пара представляет собой шлейф, границы которого определяются вертикальным его

движением с одновременным рассеянием при движении по оси  $x$  (рис. 1). При отсутствии рассеяния высоту верхней границы шлейфа  $z_{u1}$  на всем диапазоне изменения  $x$  можно принять равной

$$z_{u1} = z_0 \left( B \cdot \frac{x}{\varphi_u z_0} \cdot x \right)^{0.75}. \quad (10)$$

Выражение для нижней границы  $z_{u2}$  шлейфа (при  $x > l_{np}$ ) можно представить в виде

$$z_{u2} = z_0 \left( B \cdot \frac{x}{\varphi_u z_0} \cdot (x - l_{np}) \right)^{0.75}. \quad (11)$$

Высоту центра тяжести шлейфа определим как полусумму

$$\bar{z} = 0.5 \cdot (z_{u1} + z_{u2}). \quad (12)$$

При решении задачи рассеяния будем полагать, что геометрия слоя пара над зеркалом пролива не изменяется, а рассеивается только шлейф пара. В качестве высоты источника пара для определенности можно принять  $h_{ист} = z_{nmax}$ . Высоту подъема пара можно принять равной  $h = h_{ист} + z_{u2}$ .

Из полученных выражений следует, что высота подъема пара над уровнем жидкости переменна по оси  $x$ , что необходимо учитывать при расчете по формуле (1).

Для расчета массы пара испаряющейся жидкости воспользуемся формулой, полученной в [5],

$$M = 0.395 \cdot 10^{-2} \cdot \rho_g \cdot \left( 1 + 0.2 \cdot \frac{\Delta T}{u_1^2} \right) \cdot u_1 \cdot \frac{d_{нж}}{\ln(z_3 / z_0)}. \quad (13)$$

где  $\rho_g$  - плотность воздуха;  $d_{нж}$  - удельное содержание пара технической жидкости в воздухе у поверхности испарения (паросодержание);  $z_3 = z_{ncp}$  - средневзвешенная высота подъема пара испаряющейся жидкости над зеркалом пролива. Индекс 1 указывает

на высоту измерения скорости ветра. Разность температур определяется по данным их измерений на высоте 2м и 1м.

При наличии в воздухе третьего компонента (кроме сухого воздуха и водяного пара) величина  $d_{нж}$  рассчитывается по формуле [5]

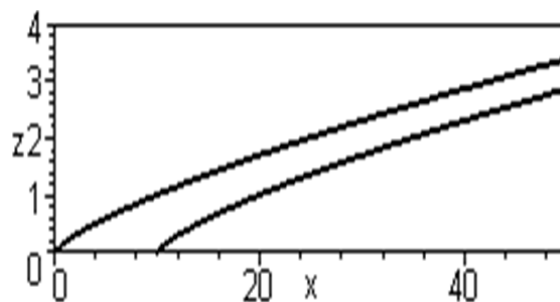
$$d_{нж} = \frac{\mu_{нж}}{\mu_{св}} \cdot \frac{p_{нж}}{p - \left(1 - \frac{\mu_{вп}}{\mu_{св}}\right) \cdot p_{вп} - \left(1 - \frac{\mu_{нж}}{\mu_{св}}\right) \cdot p_{нж}}, \quad (14)$$

где  $p_{нж}$  - давление насыщенного пара жидкости при температуре жидкости;  $p_{вп}$  - парциальное давление водяного пара в воздухе;  $\mu_{нж}, \mu_{вп}, \mu_{св}$  - относительная молекулярная масса соответственно пара пролитой жидкости, водяного пара и сухого воздуха.

Для расчета дисперсий координат можно воспользоваться известными выражениями, приведенными, например, в работе [6].

Уравнения (1)...(14) совместно с выражениями для  $\sigma_y^2, \sigma_z^2$  представляют замкнутую систему, которая может быть использована при разработке программы расчета на ЭВМ.

Использование формул предполагает знание метеорологических параметров атмосферы, получаемых либо путем непосредственных измерений, либо путем использования данных ближайшей метеостанции.



**Рис. 2 – Верхняя и нижняя границы шлейфа пара при испарении жидкости в условиях нейтральной атмосферы (фрагмент)**

На рис. 2 приведен характер изменения высоты подъема пара над поверхностью пролива и вне его (в метрах).

**Выводы.** Предложен метод расчета распространения в атмосфере пара, образующегося над поверхностью пролитой жидкости.

Метод позволяет учесть свойства жидкости, скорость парообразования, параметры пара и состояние устойчивости атмосферы и дает возможность определять концентрацию вредных веществ у поверхности грунта при различных метеоусловиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примесей. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 278 с.
2. Орленко Л.Р. Строение планетарного пограничного слоя атмосферы. – Л.: Госкомгидромет, 1979. – 272 с.
3. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
4. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха / Под ред. М.Е. Берлянда. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 163 с.
5. Попов Н.П., Попов Ю.Н. Метод расчета скорости испарения жидкости, пролитой на грунт. Моделювання та інформаційні технології. Збірник наук. праць. – К.: ХУПС. – 2005. – Вип.3.
6. Прохач Э.Е., Михальская Л.Л., Попов Н.П. Метод расчета концентрации вредных веществ в факеле выбросов при обработке установок по нейтрализации высокотоксичных химических веществ / Проблемы надзвичайних ситуацій. – Вип.6 – Харків, 2007

*Рогозін А.С., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ*

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ФУНКЦІЇ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ В ДІЯЛЬНОСТІ НАГЛЯДОВИХ ОРГАНІВ МНС**

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

Розроблені рекомендації по визначенню періодичності здійснення поточного контролю за виконанням планових завдань наглядовими органами МНС

**Ключові слова:** контроль, планове завдання, періодичність контролю, прогноз

**Постановка проблеми.** Контроль є одним з основних складових елементів управління [1]. Жодну функцію управління не можна розглядати окремо від контролю. Для здійснення контролю, як і для будь якої діяльності, треба мати та використовувати певні ресурси (час, трудові ресурси, технічні засоби, зв'язок, тощо). Виходячи з принципу постійності й оперативності здійснення контролю [2], останній має здійснюватися постійно, у визначені інтервали часу.

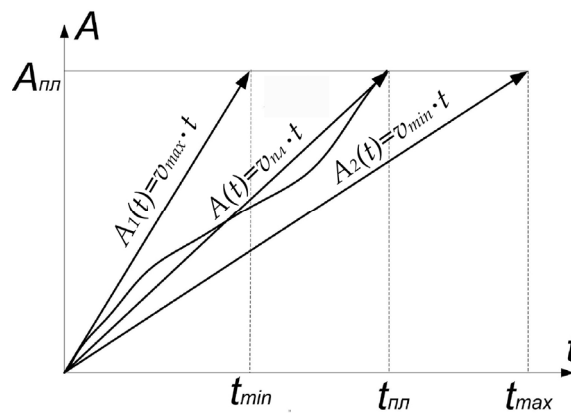
Ефективність здійснення контролю за виконанням планових завдань певним чином залежить у обґрунтованості вибору моментів здійснення поточного контролю. Правильний вибір періодичності контролю дозволяє своєчасно здійснювати коригуючий вплив на об'єкт управління і відповідно забезпечувати досягнення поставлених цілей. Обґрунтоване виключення зайвих моментів контролю буде сприяти зниженню витрат на систему управління при незмінних показниках якості управління. Таким чином розробка рекомендацій, щодо визначення оптимальної періодичності поточного контролю за виконанням планових завдань наглядовими органами МНС є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Контролю як загальній функції управління присвячено достатньо велика кількість публікацій [1–3]. В [2, 4, 5] викладені загальні принципи та методологія здійснення контролю, як функції управління.

Питанням підвищення ефективності контролю присвячені публікації [5–8]. У [5] розглянуто організаційні питання вдосконалення функції поточного контролю та досліджено динамічні ха-

рактеристики складових коригування та регулювання. У [6, 7] розглянуто детермінований підхід дослідження процесу контролю. Питання визначення періодичності здійснення поточного контролю на кінцевій стадії виконання завдань з врахуванням стохастичної природи чинників збурення не розглядались.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є розроблення рекомендацій по визначенню періодичності здійснення поточного контролю з врахуванням стохастичної природи чинників збурення. Завданням системи управління, є забезпечення відповідності виходу  $\varphi$  плановому завданню  $\pi$ , при наявності збурень  $f$ , що діють на систему.



**Рис. – Графічне зображення процесу виконання планового обсягу робіт об'єктом управління**

Під плановим завданням  $\pi$  розуміється сукупність двох величин  $\pi=(A_{пл}, t_{пл})$  де  $A_{пл}$  – обсяг завдання, який необхідно виконати системі, до моменту часу  $t \in (0 \leq t \leq t_{пл})$ , а  $t_{пл}$  – тривалість планового періоду для системи. Швидкість виконання запланованих робіт може коливатись в певних межах і відповідно існують, як мінімальна так і максимальна швидкості виконання запланованих завдань  $v_{min}(t)$  та  $v_{max}(t)$ . Визначення максимальної та мінімальної швидкості для кожного випадку визначаються у відповідності з характеристиками та наявними ресурсами об'єкту управління. Процес виконання завдання системою представлено на рисунку, де прямі  $A_1(t)$ ,  $A_2(t)$ ,  $A(t)$  відображають хід виконання планового обсягу робіт з максимальною, мінімальною, та плановою швидкістю виконання завдань відповідно. Виходячи з цього, запланований обсяг робіт може бути виконаний за мінімальний час  $t_{min}$  що відповідає  $v_{max}(t)$ ,  $t_{max}$  при  $v_{min}(t)$  та  $t_{пл}$  при підтримці планової

швидкості виконання робіт. Реальна швидкість виконання завдань об'єктом управління не є постійною, що обумовлюється факторами збурення різної природи. Щоб забезпечити виконання планового завдання в строк, необхідно контролювати хід робіт в системі, а також у разі потреби здійснювати регулювання.

Контроль за ходом виконання завдань системою може здійснюватися або безперервно, або дискретно. Безперервний контроль, а також опитування з достатньо високою частотою, для розглядаемого випадку, обумовлює надмірне навантаження на елементи обробки інформації і призводить до зниження ефективності управління. Необґрунтоване зменшення частоти поточного контролю може привести до невиконання планового завдання, за причиною несвоечасного здійснення управляючого впливу. У зв'язку з цим існує необхідність мати обґрунтовані рекомендації, щодо періодичності здійснення поточного контролю [3]. Алгоритм здійснення поточного контролю може бути пояснений наступним чином. Перший момент опитування системи може бути визначений зі співвідношення

$$t_1 = t_{nl} - (A_{nl} / v_{\max}), \quad (1)$$

Ця точка є межею, за якою при незмінній кількості ресурсів об'єкту управління, стає неможливим виконання планового завдання у запланований термін часу. Прийняв  $t_1$  за точку першого опитування об'єкту управління, ми отримуємо відомості про фактичний обсяг виконаних робіт  $A(t_1)$ . Подальші точки контролю визначаються таким чином

$$t_{i+1} = t_{nl} - \frac{A_{nl} - A(t_i)}{v_{\max}}, \quad (2)$$

З співвідношення (2) можна побачити, що при зменшенні різниці між плановим об'ємом робіт та фактично виконаним об'ємом, частота опитувань буде необмежено збільшуватись на кінцевій стадії процесу виконання планового завдання. Для недопущення цього пропонується значення обсягу виконання планових робіт, що отримується в ході поточного контролю, розглядати як статистичні дані, для яких можна визначити основні та додаткові показники з послідуною апроксимацією рівнів фактично виконаних робіт об'єктом управління. На заключному етапі виконання

Вдосконалення функції поточного контролю в діяльності наглядових органів МНС

планового завдання за умови відсутності істотного впливу чинників збурення, в якості тренда може бути прийнято функціональну залежність виду  $A = at + b$ . Оцінка стандартної помилки, з врахуванням зробленого припущення, може бути виконана таким чином

$$S_{1.f(t)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [A(t_i) - (at_i + b)]^2}{n - m}}, \quad (3)$$

де  $n$  – кількість точок поточного контролю;  $m$  – кількість параметрів функції, що використана в якості тренда.

Загальна помилка може бути знайдена з наступного співвідношення [9]

$$S = \sqrt{S_{1.f(t)}^2 + \frac{S_{1.f(t)}^2}{n} + \frac{S_{1.f(t)}^2}{\sum_{i=1}^n (t_i - \sum_{i=1}^n t_i)^2} \left( t_k - \sum_{i=1}^n t_i \right)^2}, \quad (4)$$

де  $t_k$  - точка для якої визначається загальна помилка.

Визначення наступної точки поточного контролю потрібно здійснювати, враховуючи довірчий інтервал знаходження прогнозного значення обсягу виконання планового завдання. Момент здійснення чергового опитування об'єкту управління вибирається таким чином, щоб границя довірчого інтервалу прогнозного значення обсягів виконання планових робіт, не перекривала області в якій при незмінній кількості ресурсів об'єкту управління, стає неможливим виконання планового завдання у запланований термін часу. Довірчий інтервал прогнозного значення для розглянутого випадку визначається наступним чином

$$A(t_i) - t_\alpha S \leq A(t_i) \leq A(t_i) + t_\alpha S, \quad (5)$$

де  $t_\alpha$  - значення  $t$  - статистики Стьюдента;  $A(t_i)$  - оцінка об'єму виконаного планового завдання на лінії регресії.

Величину  $t_\alpha$  вибирають з таблиць в залежності від  $P$  – заданої довірчої ймовірності та  $\mathcal{G}$  ( $\mathcal{G} = n - m$ , де  $n$  – кількість рівнів ряду динаміки).



**Висновки.** Запропонований підхід визначення моментів часу здійснення поточного контролю щодо виконання планових завдань наглядовими органами, дозволяє оптимізувати діяльність суб'єкту управління за функціями: регулювання, планування та контролю.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кабушкин Н. И. Основы менеджмента. – Минск.: «Новое знание», 2002. – 419 с.
2. Альбоцій О.В., Кулешов М.М., Калашніков О.О., Рашкевич С.А., Труш О.О. Основы управління в органах і підрозділах МНС України. – Харків, 2007. – 310 с.
3. Санталайнен Т., Воутилайнен Э., Поренне П. Управление по результатам. Перевод с финского. – М., «ПРОГРЕСС», 1993. – 524 с.
4. Драккер П. Управление, нацеленное на результаты. перевод с английского. – М.: 1994. – 314 с.
5. Ананькина Е.А., Данилочкин Н.Г. Контролинг как инструмент управления. - М.: Аудит, ЮНИТИ, 1998. – 279 с.
6. Бабунашвили М.К., Бермант М.А., Руссман І.Б. Контроль и управление в организационных системах / Экономика и математические методы. – М.: Наука, 1969. Т. 5, вып. 2. – С. 212-227.
7. Гайдай А.А., Руссман І.Б. Непрерывный контроль процесса достижения цели . – М.: РАН, 2004. В. 7. – С. 106-113.
8. Каплинский А.І., Руссман І.Б., Умывкин В.М. Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов систем. Воронеж.: Изд-во ВГУ, 1991. – 168 с.
9. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Дело, 1998. – 816 с.

*Садковой В.П., ректор, УГЗУ,  
Абрамов Ю.А., гл. науч. сотр., УГЗУ*

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТА ЗАПУСКА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Получены в аналитическом виде математические модели пиропатрона как элемента запуска исполнительных устройств системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций

**Ключевые слова:** элемент запуска, пиропатрон, лучистый теплообмен, конвективный теплообмен

**Постановка проблемы.** Среди чрезвычайных ситуаций техногенного характера большое место занимают пожары [1], в связи с чем можно выделить две проблемы: снижение риска возникновения такой чрезвычайной ситуации до минимума и минимизация ущерба при ее возникновении. Для разрешения второй проблемы используются быстродействующие системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций, синтез которых обуславливает наличие математических моделей ее элементов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Применительно к системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций разработаны модели датчиков первичной информации [2], объекта управления [3], исполнительных [4] и др. устройств. Однако существует необходимость в построении математических моделей быстродействующих элементов запуска исполнительных устройств таких систем, в частности, элементов пиротехнического типа.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является построение математических моделей пиропатрона как элемента запуска исполнительных устройств системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций.

В первом приближении можно записать следующее уравнение теплового баланса

$$dQ = dQ_1 + dQ_2, \quad (1)$$

где  $Q$ ,  $Q_1$  и  $Q_2$  – количество тепла, выделяемого при протекании электрического тока  $I$  через термоэлемент, количество тепла, расходуемого на нагрев термоэлемента, и количество тепла, затрачиваемого на теплоотдачу через корпус пиропатрона, соответственно.

Согласно закону Джоуля-Ленца имеет место

$$dQ = IUdt, \quad (2)$$

где  $U$  – падение напряжения на термоэлементе.

Для количества тепла, расходуемого на нагрев термоэлемента, можно записать

$$Q_1 = mc_*\theta, \quad (3)$$

где  $m$  – масса термоэлемента;  $c_*$  – удельная теплоемкость материала ЭГЭ;  $\theta = T - T_0$ ,  $T_0$  – начальное значение температуры.

Тогда из (3) следует, что

$$dQ_1 = mc_*d\theta. \quad (4)$$

В общем случае для количества тепла  $Q_2$  будет иметь место

$$Q_2 = \sum_{i=1}^3 Q_{2i}, \quad (5)$$

где  $i = 1$  – соответствует тепловым потерям, обусловленным лучистым излучением;  $i = 2$  – соответствует тепловым потерям, которые обусловлены конвективным теплообменом;  $i = 3$  – соответствует тепловым потерям, обусловленным теплопроводностью.

Следует отметить, что для пиропатрона характерной особенностью является то, что

$$Q_{21} \cong Q_{22} \cong 0, \text{ т.е. } Q_2 = Q_{23}. \quad (6)$$

Тогда согласно [5] можно записать следующее соотношение

$$dQ_{23} = dQ_2 = Pdt, \quad (7)$$

где  $P$  – тепловой поток через корпус пиропатрона, причем

$$P = \pi h_1 \left[ (\alpha_{BH} d_1)^{-1} + (2\lambda_1)^{-1} \ln d_2 d_1^{-1} + (2\lambda_2)^{-1} \ln d_3 d_2^{-1} + (\alpha_H \alpha_3)^{-1} \right]^{-1} \theta. \quad (8)$$

В этом выражении:  $h_1$  – высота пиропатрона;  $d_1$  – диаметр нити накаливания термоэлемента;  $d_2$  – внутренний диаметр корпуса пиропатрона;  $d_3$  – наружный диаметр пиропатрона;  $\lambda_1$  – теплопроводность порохового заряда;  $\lambda_2$  – теплопроводность материала корпуса пиропатрона;  $\alpha_{BH}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности пиропатрона;  $\alpha_H$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности пиропатрона.

Объединение (1), (2), (4), (7) и (8) приводит к следующему дифференциальному уравнению

$$\tau_n \frac{d\theta}{dt} + \theta = K_n IU, \quad (9)$$

где  $\tau_n = mc_* K_n$  – постоянная времени электрического термоэлемента;

$$K_n = \left[ (\alpha_{BH} d_1)^{-1} + (2\lambda_1)^{-1} \ln d_2 d_1^{-1} + (2\lambda_2)^{-1} \ln d_3 d_2^{-1} + (\alpha_H \alpha_3)^{-1} \right] \times (\pi h_1)^{-1}. \quad (10)$$

Если  $r_T$  – результирующее сопротивление источника напряжения и нити накаливания термоэлемента, то уравнение (9) трансформируется к виду

$$\tau_n \frac{d\theta}{dt} + \theta = \frac{K_n}{r_T} U^2 = K_{n1} U^2. \quad (11)$$

Для пиропатронов типа ПЭ-3, ПЭ-21  $K_n \cong 5 \cdot 10^3 \text{ K} \cdot \text{Vm}^{-1}$ ,  $\tau_n = 200 \text{ с}$ ,  $r_T = 70 \text{ Ом}$ ,  $U = 24 \text{ В}$  [5].

Тогда дифференциальное уравнение можно упростить и представить следующим образом

$$\frac{d\theta}{dt} \cong \frac{K_n}{r_T \tau_n} U^2, \quad (12)$$

откуда следует

$$\theta(t) \cong \frac{K_n}{r_T \tau_n} U^2 t = 1152t. \quad (13)$$

Пороховой заряд (ПЗ) пиропатрона описывается моделью вида

$$P_n = \begin{cases} P_0 \operatorname{sign} \theta, & \text{если } \theta \geq \theta_0; \\ 0, & \text{если } \theta < \theta_0, \end{cases} \quad (14)$$

где  $P_n$  – давление, развиваемое ПЗ;  $\theta_0$  – температура, при которой происходит воспламенение ПЗ.

Из (13) следует, что время срабатывания пиропатрона определяется соотношением

$$t_{nc} = \frac{\theta_0}{1152} = 8,68 \cdot 10^{-4} \theta_0. \quad (15)$$

В частности, для пиропатронов типа ПЭ-3, ПЭ-21  $\theta_0 = 300$  К, т.е.  $t_{nc} = 0,26$  с.

Если предположить, что входным воздействием термоэлемента является  $U^2$ , то дифференциальному уравнению (11) будет соответствовать передаточная функция

$$W(p) = K_{n1} (\tau_n p + 1)^{-1}. \quad (16)$$

Применительно к пиропатронам типа ПЭ-3 и ПЭ-21 в соответствии с (12) передаточная функция термоэлемента может быть записана следующим образом

$$W(p) = \frac{K_{n1}}{\tau_n p}. \quad (17)$$

На рис. 1 и рис. 2 приведены в качестве одного из вариантов соответственно функциональная и структурно-динамическая схема устройства запуска (УЗ) системы автоматического пожаротушения такого типа.

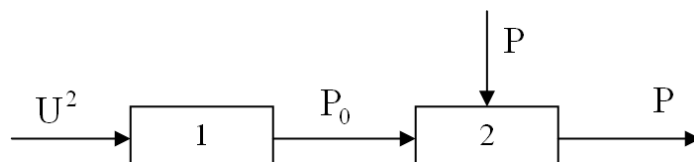


Рис. 1 – Функциональная схема УЗ САП: 1 – пиропатрон; 2 – мембрана

Пороховой заряд пиропатрона на структурно-динамической схеме УЗ САП представлен в виде статического нелинейного элемента типа «релейный элемент с зоной нечувствительности».

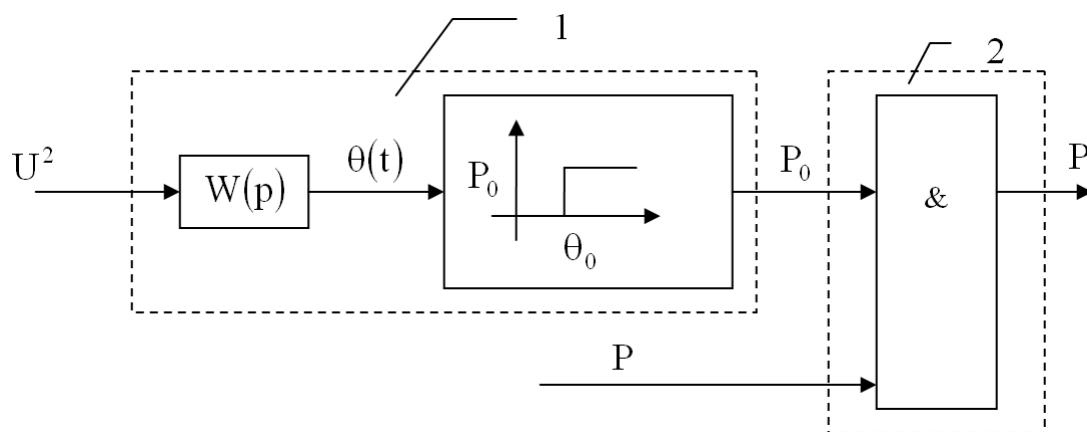


Рис. 2 – Структурно-динамическая схема УЗ САП: 1 – пиропатрон; 2 – мембрана

Мембрана представлена в виде безынерционного логического элемента И, функционирование которого описывается следующим образом

$$P = P \cap P_0, \quad (18)$$

где  $P$  – давление воды в гидромагистрали.

**Выводы.** Математические модели быстродействующего элемента запуска системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций, которым являются пиропатроны, представляют собой совокупность передаточной функции апериодического звена и ста-

тической характеристики типа «релейная характеристика с зоной нечувствительности».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Тютюник В.В. Основы мониторинга и управления в условиях чрезвычайных ситуаций. – Х.: АГЗУ, 2005. – 257 с.
2. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Способы формирования дифференциальных свойств датчиков первичной информации систем автоматического пожаротушения // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: АГЗУ, 2006. – Вып. 1 – С.132-142.
3. Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Математические модели объекта управления системы водяного автоматического пожаротушения // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2007. – Вып. 74. – С. 413-41
4. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Динамические характеристики распылителей воды // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2006. – Вип. 4. – С. 198-201.
5. Губарев А.П., Узунов А.В., Абрамов Ю.А. Управление в технических системах с газовым и жидким компонентами. – К.: ИСМО, 1997. – 288 с.

УДК 681.355

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

## **ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ "НЕБЕЗПЕЧНИЙ ОБ'ЄКТ"**

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

Проведено аналіз поняття "небезпечний об'єкт" та на його основі обґрунтовано визначення військового об'єкту підвищеної небезпеки і чинників небезпек стосовно артбаз, артскладів, арсеналів, складів і сховищ боєприпасів Збройних Сил України, а також розглянуті питання ідентифікації військових об'єктів підвищеної небезпеки та наведено приклад.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день в нормативно-правових документах і законодавчих актах України у понятті "небезпечний об'єкт" недостатньо відображено об'єкти Міністерства оборони [1]. Зокрема це стосується артбаз, артскладів, арсеналів, складів і сховищ боєприпасів Збройних Сил України (ЗСУ), хоча розв'язання проблем, що виникають у зв'язку з ними, є актуальними для нашої держави [2].

Питання щодо зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС) досить широко відображені в літературі. Ряд законодавчих актів, прийнятих останнім часом в Україні, а саме закони України "Про захист населення від надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру", "Про цивільну оборону", "Про аварійно-рятувальну службу" та ін., також свідчать про зацікавленість з боку державних структур у вирішенні цього питання.

Все вищенаведене ставить у зовсім новому ракурсі наукову задачу щодо забезпечення безаварійної роботи військових об'єктів підвищеної небезпеки (ВОПН).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема зниження ризику виникнення НС у зв'язку з екологічними катастрофами та аваріями, у тому числі і в сфері оборонної промисловості, військового комплексу тощо, які відбуваються все частіше, знаходять широке обговорення у вітчизняній та зарубіжній літературі [2-5]. Все це ставить проблему зниження ризику виникнення НС на комплексах і окремих військових об'єктах. Складовою цієї про-



блеми є наукове завдання створення системи ідентифікації військових об'єктів як потенційно небезпечних.

**Постановка завдання та його вирішення.** На даний час найбільший досвід роботи з потенційно небезпечними об'єктами має МНС, але НС у МНС та ЗСУ розглядаються по-різному. Подія, яка є надзвичайною з точки зору МНС, ЗСУ може трактуватися як звичайна оборонна ситуація.

Подальше розглядання зазначеної проблеми потребує визначення поняття потенційно "небезпечного об'єкта" щодо ВОПН. Для цього доцільно звернутися до досвіду МНС та розглянути ті визначення, які воно дає для ВОПН, ґрунтуючись на термінах та визначеннях з аварійно-рятувальної справи, що застосовуються в законодавчих та нормативно-правових актах [3, 4].

На основі аналізу визначень потенційно небезпечних об'єктів та його обґрунтуванні можна привести визначення ВОПН, а також ідентифікацію потенційно небезпечного об'єкта та чинників небезпек для об'єктів ЗСУ.

Як бачимо, навіть МНС, яке безпосередньо працює з об'єктами підвищеної безпеки, не має єдиного визначення і всі вони лише частково відповідають вимогам ЗСУ. Тому визначення поняття ВОПН стосовно потреб ЗСУ має такий вигляд: "ВОПН – об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються вибухонебезпечні речовини, що створюють реальну загрозу виникнення НС [5].

Беручи до уваги вищенаведене, можна навести визначення причин (чинників), які призводять до НС.

Чинники безпеки – внутрішні (наявність небезпечних речовин, застосування небезпечних технологічних процесів, незадовільний стан будівель і обладнання, порушення умов безпечної експлуатації тощо) та зовнішні (особливості місцезнаходження небезпечних об'єктів, несприятливі природні умови тощо) фактори, які можуть безпосередньо спричинити виникнення НС на об'єкті або негативно вплинути на її розвиток.

Це визначення обумовлює найбільш імовірні аварії, які можуть служити приводом для визначення як потенційно небезпечні:

- пожежа;
- вибух (усередині обладнання, у будівлях або навколишньому середовищі);
- розрив або руйнування обладнання;

- викид шкідливих речовин;
- сполучення перелічених видів небезпеки.

У табл. 1 наведені види небезпек, їх ознаки та регламентуючі документи для кожного з них за "Методикою ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів" [6], яку можна застосувати для ВОПН.

**Таблиця 1 – Види небезпек**

Вид небезпеки	Ознаки небезпеки	Регламентуючі документи
Вибухо-пожежна	Наявність газоподібних, рідких та твердих речовин, матеріалів або їх сумішей, а також окислювачів, які здатні вибухати і горіти за певних умов	ГОСТ 12.1.010-76, ГОСТ 12.1.011-78, ГОСТ 12.1.044-89
Пожежна	Наявність газоподібних, рідких та твердих речовин, матеріалів або сумішей, які здатні підтримувати горіння	СНП 2.01.05-85, ДСТУ 2272-93, ГОСТ 12.1. 004-91, ДБН В.1.1-7-2002 "Пожежна безпека об'єктів будівництва"
Екологічна	Можливість несприятливого впливу на довкілля техногенних і природних факторів, в результаті чого порушується пристосування живих систем до звичних умов існування	Державні санітарні правила і норми ДСанПіН 2.2.7.029-99 від 01.07.99 № 29

Із всього вищенаведеного можна вивести перелік основних джерел небезпеки, які притаманні об'єктам підвищеної небезпеки.

1. Вибухові матеріали, що застосовуються у виробничих процесах, засоби військового призначення, що містять вибухові матеріали, які виготовляються, знаходяться на зберіганні або утилізуються.

2. Стаціонарне обладнання для вантажно-розвантажувальних робіт, підіймальні споруди.

3. Обладнання для виготовлення вибухових матеріалів і виробів на їх основі, комплекси для їх переробки та зберігання.

У табл. 2 наведено коди НС [7], які можуть відноситися до ВОПН.

У табл. 3 наведена класифікація НС техногенного характеру за їх рівнями згідно [8], яку можна використати для ВОПН.

Розглянемо, як приклад, групу небезпечних ВОПН – арсенали, бази, склади і сховища боеприпасів і вибухових речовин.

Таблиця 2 – Класифікація НС

Код	Назва
10000	<b>НС техногенного характеру</b>
10100	Аварії (катастрофи) на транспорті
10182	Аварії на міському пасажирському транспорті іншому
10200	Пожежі, вибухи
12010	Пожежі, вибухи у будівлях та спорудах
10212	Пожежі, вибухи у будівлях та спорудах громадського призначення
10220	Пожежі, вибухи на об'єктах розвідки, видобування, переробки, транспортування та зберігання легкозаймистих, горючих, а також вибухових речовин
10230	Пожежі, вибухи на транспорті
10231	Пожежі, вибухи на залізницях
10233	Пожежі, вибухи на повітряному транспорті
10234	Пожежі, вибухи на інших видах транспорту
10400	Наявність у навколишньому середовищі шкідливих (забруднювальних) речовин понад ГДК
10410	Наявність в ґрунті шкідливих (забруднювальних) речовин понад ГДК
10420	Наявність у повітрі шкідливих (забруднювальних) речовин понад ГДК
10421	Наявність в атмосферному повітрі шкідливих (забруднювальних) речовин понад ГДК
10430	Наявність у воді шкідливих (забруднювальних) речовин понад ГДК
10432	Наявність у питній воді шкідливих (забруднювальних) речовин понад ГДК
10600	Раптове руйнування споруд
10630	Руйнування будівель та споруд громадського призначення
10640	Руйнування будівель та споруд житлового призначення
30000	<b>НС соціально-політичного характеру</b>
30500	Зникнення або викрадення озброєння та небезпечних речовин з об'єктів зберігання, використання, переробки та під час транспортування
30510	Зникнення або викрадення вогнепальної зброї з об'єктів зберігання, використання, переробки та під час транспортування
30520	Зникнення або викрадення боеприпасів з об'єктів зберігання, використання, переробки та під час транспортування
30530	Зникнення або викрадення бронетехніки з об'єктів зберігання, використання, переробки та під час транспортування
30540	Зникнення або викрадення артозброєння з об'єктів зберігання, використання, переробки та під час транспортування

## Продовження таблиці 2

Код	Назва
30550	Зникнення або викрадення вибухових матеріалів з об'єктів зберігання, використання, переробки та під час транспортування
30600	Виявлення застарілих боеприпасів
30700	Аварії на арсеналах, складах боеприпасів та інших об'єктах військового призначення з викидом уламків, реактивних та звичайних снарядів
<b>40000</b>	<b>НС воєнного характеру</b>

Бази зберігання боеприпасів дислокуються по всій території країни в різних кліматичних і природних зонах, які характеризуються різним температурним режимом, рослинністю, інтенсивністю грозової діяльності, що впливає на їх пожежну небезпеку. Крім цього, бази боеприпасів розміщуються, як правило, на відстані від населених пунктів, доріг, ЛЕП. Це, у свою чергу, створює певні труднощі з інженерним забезпеченням протипожежних заходів. Характерним для пожеж на об'єктах з боеприпасами є те, що горіння супроводжується одиничними і груповими вибухами боеприпасів, а за певних умов і вибухами в масштабі штабелів, сховищ і т.п. Пожежі на об'єктах з боеприпасами здатні до самопоширення як у межах даного об'єкта, так і на інші об'єкти. Пожежа при цьому може поширюватися на інші об'єкти.

Причини, що викликають виникнення пожеж і вибухів, можна поділити на дві групи: об'єктивні і суб'єктивні [9].

До об'єктивних відносяться:

- вплив супротивника, у тому числі ЗМУ, диверсії;
- вплив блискавок під час гроз;
- стихійні лиха (землетруси, лісові пожежі, повені, урагани тощо);
- катастрофи повітряних і космічних об'єктів над територією баз боеприпасів.

До суб'єктивних відносяться:

- порушення правил техніки безпеки та експлуатації боеприпасів;
- порушення правил пожежної безпеки;
- наявність серед придатних боеприпасів вчасно не виявлених небезпечних у використанні;
- попадання кулею в штабель боеприпасів.

Таблиця 3 – Класифікація НС техногенного характеру за їх рівнями

Рівень НС	Територіальне поширення НС	Обсяг необхідних технічних і матеріальних ресурсів від обсягу видатків відповідних місцевих бюджетів	Кількість загиблих, осіб	Кількість постраждалих, осіб	Порушено умови життєдіяльності, кількість осіб	Збитки, тис. мінімальних розмірів зарплати
Державний	На територію інших держав	—	—	—	—	—
	На територію двох чи більше регіонів	не менш як 1%	—	—	—	—
	—	—	>10	>300	>50 тис.	—
	—	—	>5	>100	>10 тис.	>25 тис.*
Регіональний	На територію двох чи більше районів (міст обласного значення)	не менш як 1%	—	—	—	—
	—	—	3÷5	50÷100	1÷10 тис.	>5 тис.*
	—	—	—	—	—	>15 тис.
Місцевий	НС вийшла за межі територій ВОПН	перевищують власні можливості ВОПН	—	—	—	—
	—	—	1÷2	20÷50	100÷1000	>500*
	—	—	—	—	—	>2 тис.
Об'єктового рівня визнається НС, яка не відповідає приведеним вище критеріям						

\* У разі, якщо внаслідок НС для відповідних порогових значень рівнів людських втрат або кількості осіб, які постраждали чи зазнали порушень нормальних умов життєдіяльності, обсяг збитків не досягає визначеного, рівень НС визнається на ступінь менше (для дорожньо-транспортних пригод – на два ступеня менше).

Вплив зазначених причин у місцях зосередження великої кількості боеприпасів нерідко призводить до виникнення пожеж, що потім викликають вибух (детонацію) боеприпасів.

За результатами ідентифікації ВОПН пропонується скласти Повідомлення про результати ідентифікації щодо визначення потенційної небезпеки.

Повідомлення про результати ідентифікації щодо визначення потенційної безпеки мають містити дані, перелічені нижче.

1. Довідкові дані: місце знаходження об'єкта; місце знаходження юридичної особи (місце проживання фізичної особи), відповідальної за ВОПН; підпорядкованість; код діяльності (КВЕД).

2. Загальні дані: площа об'єкту, тис. кв. м; санітарно-захисна зона, м; кількість обслуги; види небезпечних речовин чи спорядження; строк їх виготовлення.

3. Відомості про внесення до державних (галузевих) реєстрів (кадастрів): найменування державного (галузевого) реєстру (кадастру); реєстраційний номер.

4. Виявлені джерела небезпеки: найменування джерела небезпеки; вид небезпеки; код можливих НС; рівень можливих НС; загальна кількість джерел небезпеки; максимально можливий рівень НС.

5. Висновок за результатами проведеної ідентифікації.

6. Особи, відповідальні за результати проведеної ідентифікації.

Як приклад наведемо ідентифікацію об'єкта військової діяльності – підрозділ служби ПММ.

1. На підставі документів об'єкта заповнюються розділи Повідомлення: довідкові дані; загальні дані; відомості про внесення до реєстрів (кадастрів).

2. Вибір кодів НС, виникнення яких можливе на об'єкті, згідно Державного класифікатора НС ДК 019-2001.

3. Аналіз показників ознак НС, вибраних на попередньому етапі, і визначення їх порогових значень з використанням класифікаційних ознак НС [10] (табл. 4).

4. Виявлення за результатами аналізу джерел небезпеки, які за певних умов (аварії, порушення режиму експлуатації, виникнення природних небезпечних явищ тощо) можуть стати причиною виникнення НС з перевищенням порогових значень показників ознак НС.

Таблиця 4 – Аналіз показників ознак НС

Номер ознаки	Опис ознаки	Порогові значення
2.1	Загибель або травмування людей внаслідок аварій, катастроф, отруень та нещасних випадків	Загинуло від 3 осіб, госпіталізовано від 10 осіб
2.10	Викид або безпосередня загроза викиду НХР з технологічного обладнання, які можуть створити або створюють фактори ураження для персоналу об'єкта, населення або інших об'єктів навколишнього середовища для НХР 4-го класу небезпеки	Від 0,5 т

5. Визначення видів небезпеки для кожного з виявлених джерел небезпеки.

6. Оцінка на підставі отриманих даних зони поширення НС, які можуть ініціювати кожен з виявлених джерел небезпеки, оцінка можливих наслідків НС для кожного з джерел небезпеки (кількість загиблих, постраждалих, тих, яким порушено умови життєдіяльності, матеріальні збитки) та встановлення максимально можливих рівнів НС для кожного з джерел небезпеки.

7. Визначення державних (галузевих) реєстрів (кадастрів), в яких зареєстровано або необхідно зареєструвати об'єкт.

8. Визначення відповідності об'єкта діючим нормативно-правовим актам.

Максимальний рівень можливої НС визначено як об'єктовий. На підставі того, що зазначений об'єкт підпадає під дію постанов Кабінету Міністрів України від 27 липня 1995 року № 554, від 15 жовтня 2003 року № 1631, від 11 липня 2002 року № 956 підрозділ служби ПММ визнано ВОПН.

За результатами проведення ідентифікації об'єкта заповнюються розділи Повідомлення про результати ідентифікації щодо визначення потенційної небезпеки.

**Висновки.** Існування у ЗСУ небезпечних об'єктів (арсенали, бази, склади і сховища боеприпасів і вибухових речовин) потребує перегляду класифікації ВОПН. Для цього виникає необхідність у розробці реєстру ВОПН щодо визначення безпечних або небезпечних об'єктів на базі їх ідентифікації.

Напрямами подальших досліджень можуть бути пропозиції щодо розробки паспортизації ВОПН та розроблення програмного забезпечення щодо ідентифікації і державної класифікації НС.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України "Про об'єкти підвищеної небезпеки" від 18.01.2001 р. № 2245-III.
2. Запаси боєприпасів стрілецької зброї і легких озброєнь в Україні: ризики та виклики / Національна безпека і оборона. – 2005. – С. 2-19.
3. Наказ МНС України "Про затвердження Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів" від 18.12.2000 р. № 338.
4. Наказ МНС України "Про затвердження Положення про моніторинг потенційно небезпечних об'єктів" від 06.11.2003 р. № 425.
5. Сидоренко В.Л., Азаров С.І., Єременко С.А. До питання визначення поняття «небезпечний об'єкт» // Право і безпека: наук. жур. Харківського національного університету внутрішніх справ. – Харків: 2006. – Т. 5. – № 5. – С. 151-155.
6. Наказ МНС України "Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів" від 23.02.2006 р. № 98.
7. Державний класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019-2001. – Видання офіційне. – Київ: Держстандарт України, 2001.
8. Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями" від 24.03.2004 р. № 368.
9. Токаревский В.В., Азаров С.И., Сорокин Г.А., Сидоренко В.Л. Аварии на взрывопожароопасных объектах и моделирование их экологических последствий // Екологія і ресурси. – К.: 2005. – Вип. 11. – С. 59-72.
10. Наказ МНС України "Про затвердження Класифікаційних ознак надзвичайних ситуацій" від 22.04.2003 р. № 119.



*Тарадуда Д.В., ад'юнкт, УЦЗУ,  
Шевченко Р.І., канд. тех. наук, нач. лаб., УЦЗУ*

## **ФОРМУВАННЯ АЛГОРИТМУ ОЦІНКИ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ, ДО СКЛАДУ ЯКИХ ВХОДЯТЬ АМІАЧНІ ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ**

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

Запропоновано алгоритм оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки (АХУ). Представлено принципову та структурно-логічну схеми аміачної холодильної установки та описано технологічний процес, який має місце. Побудовано логіко-імовірнісну модель причинно-наслідкових зв'язків аварійності АХУ. Визначено основні причини аварійних ситуацій та сумарний ризик виникнення небезпечної ситуації на АХУ.

**Ключові слова:** аміак, холодильна установка, оцінка ризику, потенційно небезпечний об'єкт, «дерево відмов», холодильний агент, принципова схема

**Постановка проблеми.** Відповідно до статистичних даних [11] питання забезпечення безпеки потенційно небезпечних об'єктів, до складу яких входять аміачні холодильні установки (ПНОАХУ) у зв'язку із критичною зношеністю виробничих фондів має актуальний характер на рівні державної безпеки країни. Існуюча складна економічна ситуація, натомість, не дозволяє принципово змінити стан справ (модернізувати аміаковмісні установки на установки з іншими хладогенами). Саме тому доцільним є вирішення даної проблеми шляхом підвищення ефективності профілактичних заходів з прогнозування можливих аварійних ситуацій, що в свою чергу, не можливо без створення дієвого прогностичного апарату.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз сучасних світових тенденцій довів, що дана проблематика є актуальною для країн, що перебувають у стані економічної кризи (авторство понад 90% розробок [2,3,5,6,8–10,12,13,15,16] належить спеціалістам України та країн СНД). Тому, не зважаючи на швидкий розвиток холодильних технологій без використання аміаку, в Україні

переважна більшість галузей промисловості використовує холодильні машини де аміак ( $\text{NH}_3$ ) і досі є основним холодильним агентом. За нормальних умов це горючий безкольоровий газ з різким дратуючим запахом. При збільшенні тиску або охолодженні (до  $-3,4^\circ\text{C}$  при атмосферному тиску) аміак легко стискується у безбарвну рідину [3]. При концентрації аміаку в повітрі від 11 до 28% утворюються вибухонебезпечні суміші, та навіть невелика загазованість територій аміаком приводить до пригнічення і загибелі рослинного покриву, травматичних ушкоджень людей, які потрапляють у зону ураження.

Офіційно оприлюднені статистичні дані [12] станом на 2004 рік свідчать, що існуючі (розгалужені до десятків кілометрів) конструкції аміачних систем холодильних машин, що обслуговуються згідно регламенту, мають імовірність прориву аміаку з втратою від 20 до 60% його кількості не нижче одного разу в 15 – 20 років. Та на сьогодні аналіз економічного стану [4] показав, що ці показники на один, два ступені вищі. Вплив таких викидів може бути настільки небезпечним, що може виникнути термінова необхідність евакуації населення в радіусі декілька кілометрів.

При експлуатації холодильних установок існує також небезпека виникнення вибуху. Причини різноманітні [5]: утрата механічної міцності холодильного обладнання, корозія, локальний перегрів, тріщини, перевищення максимально припустимого тиску і т.п.

Частково, з погляду на безпеку технологічного процесу, аналіз холодильних установок проведено у роботах [2,5,7], де пропонується особливу увагу приділяти конструкціям, які знаходяться під тиском і в зонах з високою температурою. Втім, єдиного алгоритму комплексної оцінки безпеки об'єктів даного класу не існує.

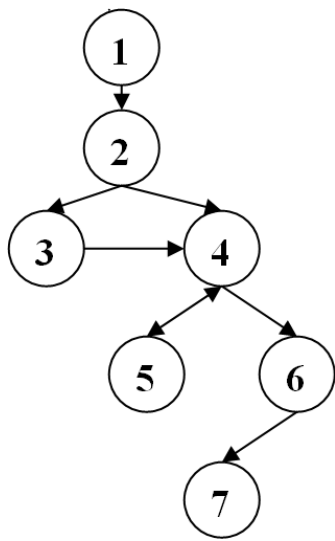
**Постановка завдання та його вирішення.** Для ефективно оцінки безпеки ПНОАХУ пропонується наступний алгоритм оцінки ризику виникнення аварії (рис.1.).

Переваги даного алгоритму наступні:

- величина прийнятного ризику не визначається, а задається;
- кількість параметрів, що контролюються є функцією заданої величини ризику, що дозволяє підвищити інформованість про стан об'єкта контролю;

- чітко зазначений діапазон зміни величини ризику виникнення аварії  $\Delta P$  від кількості та якості параметрів, що контролюються;
- високий рівень автоматизації алгоритму, що передбачається (зменшення загального часу на обробку контрольних точок в результаті виконання п.2).

Першим етапом розробки алгоритму оцінки ризику виникнення аварії є проведення аналізу небезпек, характерних для технологічного процесу на об'єкті в цілому та для кожного елементу установки зокрема.



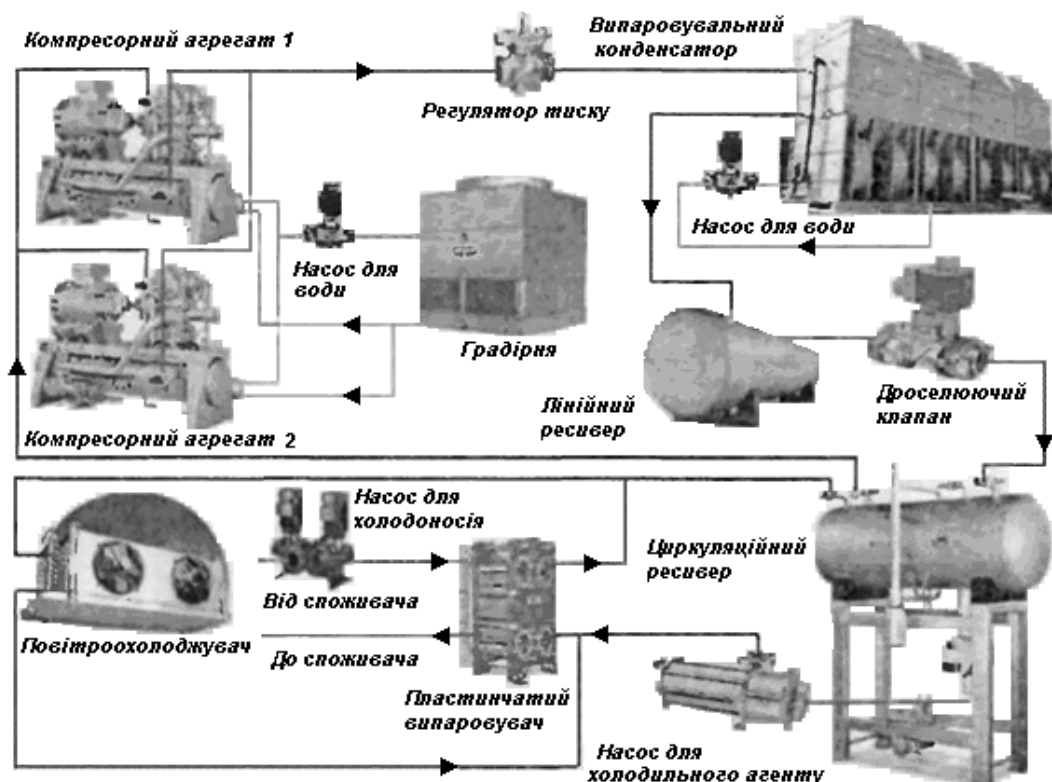
1. Визначення можливості прогнозу виникнення для типу аварій, що розглядається.
2. Визначення необхідного діапазону варіювання імовірності для забезпечення достатнього рівня безпеки.
3. Визначення показника довгостроковості прогнозу.
4. Визначення кількості необхідних параметрів для забезпечення ефективності прогнозу, яка закладена в п. 1 – 3.
5. Визначення фізики (природи) процесу виникнення аварії та її зв'язок з параметрами п. 4.
6. Визначення взаємозв'язків параметрів п. 4.
7. Визначення та обґрунтування ресурсної затратності для отримання заданої якості рівня прогнозу.

**Рис. 1 – Алгоритм оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки**

З цією метою розглянемо принципову схему типової аміачної холодильної установки (рис. 2) та технологічний процес, який має місце.

Компресорний агрегат (компресор, вбудований маслороздільник, маслоохолоджувач, насос для масла, економайзер, щит керування) стискає холодильний агент і нагнітає його в конденсатор. Контролер відображає дані від датчиків тиску, установлених на усмоктувальному й нагнітальному трубопроводі, виконує керування розвантажувальним і регулюючим продуктивність поршнями, управляє системою змащення. Компресорні агрегати обладнані запірними вентилями й зворотними клапанами на всмоктування й нагнітання та фільтром на усмоктування. На нагніталь-

ному трубопроводі вбудований пілотний регулятор тиску, що виконує функції регулювання тиску конденсації в зимовий період.



**Рис. 2 – Принципова схема типової аміачної холодильної установки**

Охолодження маслоохолоджувача здійснюється водою, яка, в свою чергу, охолоджується в градирні.

Сконденсований холодильний агент із конденсатора потрапляє у лінійний та циркуляційний ресивери.

Перед входом у циркуляційний ресивер холодильний агент дроселюється в регульовальному клапані до температури кипіння. Електронний дроселюючий клапан дублюється ручним регулюючим вентиляем. Із циркуляційного ресивера холодильний агент необхідної температури забирається насосом і подається у випаровувальну систему.

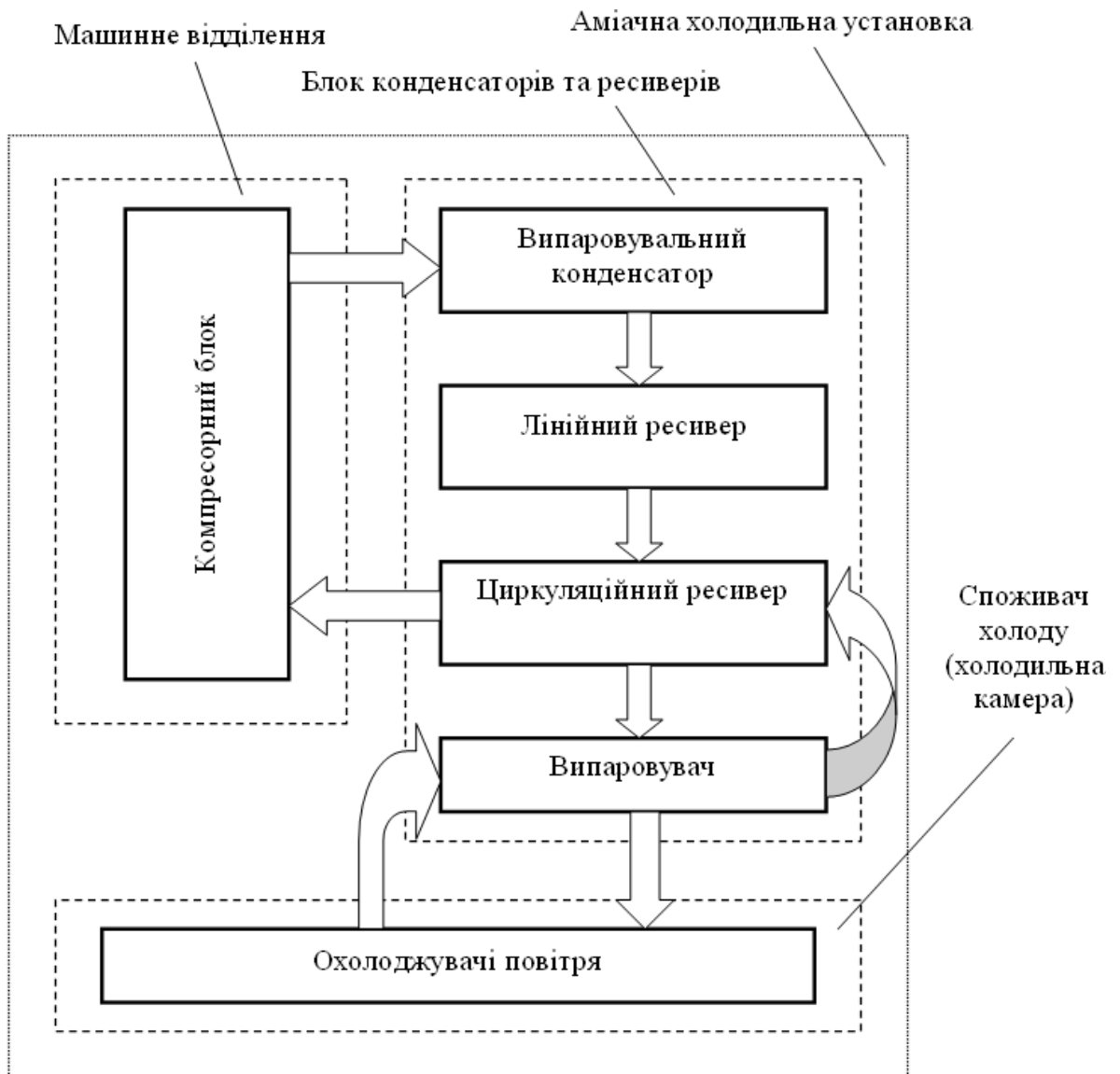
Для наочності наведено два типи випаровувачів, що працюють на одну температуру кипіння. Холодильний агент, що надійшов до повітроохолоджувача, випаровується й у вигляді пари або паро-рідинної суміші повертається в циркуляційний ресивер.

Холодильний агент, що надійшов до пластинчастого випаровувача, охолоджує проміжний холодоносієм. Холодильний агент

википає у випаровувачі, охолоджує холодоносій і надходить у вигляді пари в циркуляційний ресивер. Холодоносій прокачується насосом через випаровувач і подається до споживача (технологічний апарат або повітроохолоджувач).

Пари холодильного агента із циркуляційного ресивера всмоктуються компресорним агрегатом. Холодильний цикл повторюється.

На основі принципової схеми (рис. 2) розроблено структурно-логічну схему типової аміачної холодильної установки (рис. 3).



**Рис. 3 – Структурно-логічна схема типової аміачної холодильної установки**

Побудовані схеми дали можливість розробити «дерево відмов» (рис. 4) для аміачної компресорної установки найбільш поширеного типу.

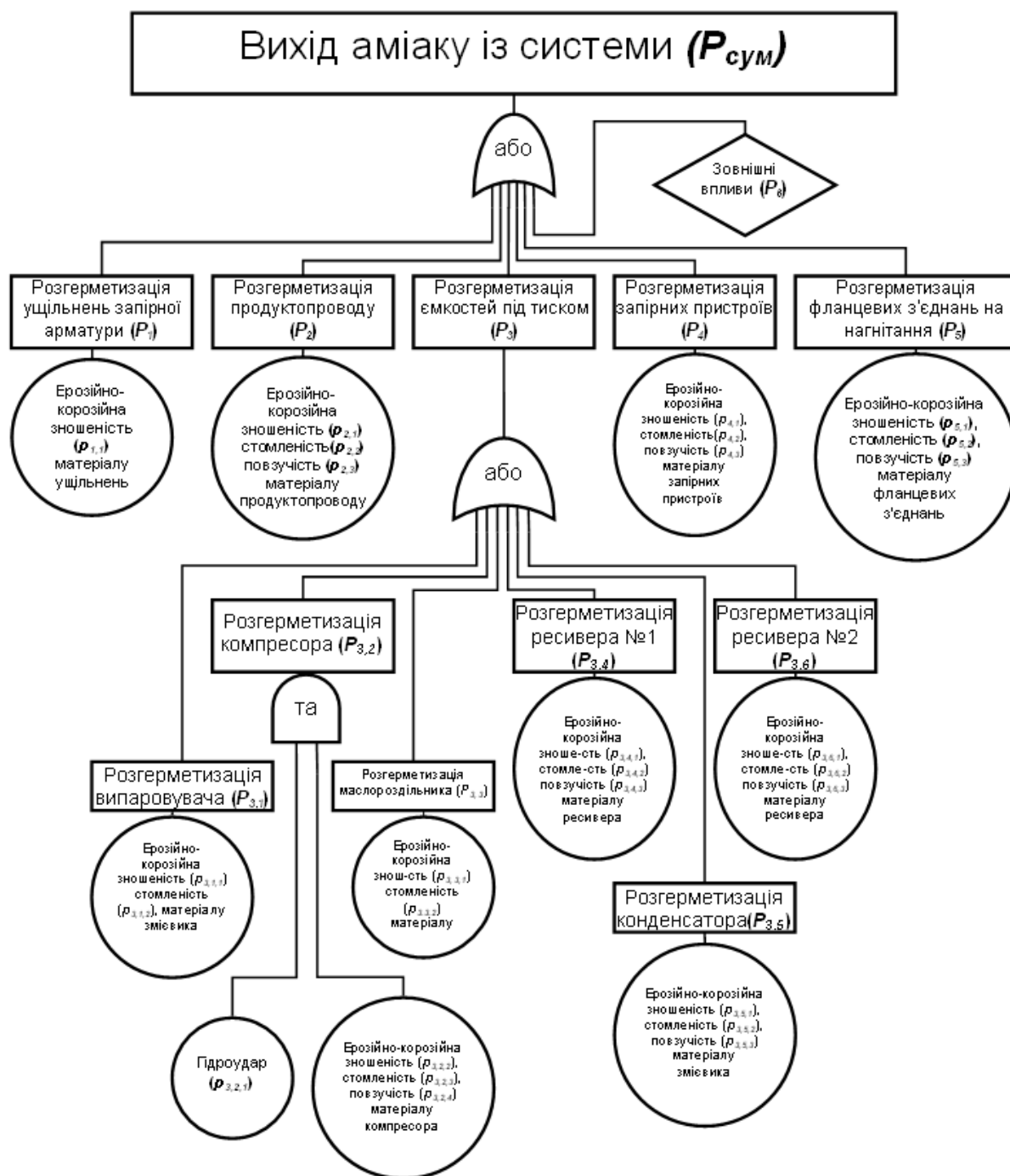


Рис. 4 – Граф «дерево відмов» аміачної холодильної установки

Відповідний граф являє собою логіко-імовірнісну модель причинно-наслідкових зв'язків аварійності досліджуваної системи

з відмовами її елементів та іншими впливами, що призводять до викиду технологічної вибухопожежонебезпечної речовини.

Методом «зворотної логіки» виділено шість найбільш істотних причин, що приводять до кінцевої події:

- розгерметизація ущільнень запірної арматури,  $P_1$ ;
- розгерметизація продуктопроводу,  $P_2$ ;
- розгерметизація емкостей під тиском,  $P_3$ ;
- розгерметизація запірних пристроїв,  $P_4$ ;
- розгерметизація фланцевих з'єднань на нагнітання,  $P_5$ ;
- зовнішні впливи,  $P_6$ ,

де  $P_n$  – ризики виникнення відповідної події ( $n=1,2,3\dots m$ ).

Проаналізувавши безпеки, які виникають при реалізації першого, другого, четвертого та п'ятого пунктів, можна зробити висновок, що їх основними причинами є ерозійно-корозійна зношеність, стомленість чи повзучість матеріалів відповідного елемента установки, ризик виникнення якої позначимо через  $p_{n,k}$ . Це підтверджують статистичні дані аналізу аварій на аміачних холодильних установках України, Росії та Білорусії за період 1992 – 2008 рр. [2]. Ризик  $P_n$  виникнення цих подій можна представити у вигляді функціоналу

$$P_n = f(p_{n,1}; p_{n,2}; p_{n,3}; \dots; p_{n,k}). \quad (1)$$

Реалізація безпеки третього пункту вимагає більшої уваги, адже при експлуатації холодильної установки під тиском знаходяться емкості різного характеру (розміру, форми, функціональності та ін.). До таких емкостей відносяться: випаровувач, маслороздільник, лінійний та циркуляційний ресивери, конденсатор та компресор. Стосовно перелічених перших п'яти елементів установки, то причинами їх розгерметизації є все ті ж ерозійно-корозійна зношеність, стомленість чи повзучість їх матеріалів з відповідними ризиками їх виникнення  $p_{n,k}$ . Що також підтверджується статистичними даними наведеними у роботі [2]. Однією ж з найнебезпечніших причин несправності компресора холодильної установки є його робота в режимі з «вологою парою». Це режим при якому на всмоктууючу сторону компресора подається не суха або перегріта пара, а пара у вигляді суміші пари з крапельками рідини. Оскільки рідина практично не стикається, то наявність її може привести до гідравлічного удару в циліндрі компресора (ризик виникнення

$p_{3,2,1}$ ). А при наявності ерозійно-корозійної зношеності чи стомленості матеріалів компресора – навіть до його розгерметизації та руйнування [8]. Ризик  $P_3$  розгерметизації емкостей під тиском можна також представити у вигляді функціоналу

$$P_3 = f \left( \begin{array}{l} P_{3,1} = f(p_{3,1,1}; p_{3,1,2}) \\ P_{3,2} = f(p_{3,2,1}; p_{3,2,2}; p_{3,2,3}; p_{3,2,4}) \\ P_{3,3} = f(p_{3,3,1}; p_{3,3,2}) \\ P_{3,4} = f(p_{3,4,1}; p_{3,4,2}; p_{3,4,3}) \\ P_{3,5} = f(p_{3,5,1}; p_{3,5,2}; p_{3,5,3}) \\ P_{3,6} = f(p_{3,6,1}; p_{3,6,2}; p_{3,6,3}) \end{array} \right). \quad (2)$$

$$P_{\text{сум}} = f \left( \begin{array}{l} P_1 \\ P_2 = f(p_{2,1}; p_{2,2}; p_{2,3}) \\ P_3 = f \left( \begin{array}{l} P_{3,1} = f(p_{3,1,1}; p_{3,1,2}) \\ P_{3,2} = f(p_{3,2,1}; p_{3,2,2}; p_{3,2,3}; p_{3,2,4}) \\ P_{3,3} = f(p_{3,3,1}; p_{3,3,2}) \\ P_{3,4} = f(p_{3,4,1}; p_{3,4,2}; p_{3,4,3}) \\ P_{3,5} = f(p_{3,5,1}; p_{3,5,2}; p_{3,5,3}) \\ P_{3,6} = f(p_{3,6,1}; p_{3,6,2}; p_{3,6,3}) \end{array} \right) \\ P_4 = f(p_{4,1}; p_{4,2}; p_{4,3}) \\ P_5 = f(p_{5,1}; p_{5,2}; p_{5,3}) \\ P_6 = 1 - \exp(-\lambda t) \end{array} \right) \quad (3)$$

Що стосується «зовнішніх впливів» (шостий пункт), які можуть порушити працездатність холодильної установки та призвести до виходу аміаку із системи, то до цього роду причин можна віднести впливи на установку від аварій на сусідніх об'єктах та «людський фактор» обслуговуючого персоналу холодильної установки. Ризик виникнення «зовнішніх впливів», як вже було вказано у роботі [14], найбільш доцільно представити у вигляді



$$P_6 = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (4)$$

де  $t$  – часовий інтервал;  $\lambda$  – середнє число подій в одиницю часу (частота виникнення негативних подій).

Таким чином, проаналізувавши технологічний процес на АХУ та небезпеки, що призводять до виходу аміаку із системи, сумарний ризик виникнення небезпечної ситуації  $P_{\text{сум}}$  на АХУ можна представити у вигляді функціоналу (3).

**Висновки.** Запропонований підхід до побудови алгоритму оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки дозволить надалі визначити рівень сумарного ризику  $P_{\text{сум}}$  аварії на ПНОАХУ, та фактори небезпеки, які безпосередньо впливають на його рівень, визначити їх вагові коефіцієнти та взаємовплив, а також встановити необхідність врахування цих коефіцієнтів (ресурсна затратність) для забезпечення заданого рівня прогнозу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. A quantitative risk assessment tool for the external safety of industrial plants with a dust explosion hazard, van der Voort M. M., Klein A. J. J., de Maaijer M., van den Berg A. C, van Deursen J. D., Versoot N. H. A. J. Loss Prev. Process Ind. 2007. 20, № 4–6, С. 375–386.
2. Аверин Г.В., Москалец В.М. Анализ опасностей аммиачных компрессорных установок // Вестник Донецкого университета. Серия А. Естественные науки. – 2008. – №3.
3. ГОСТ 6221–90. Аммиак жидкий технический. Технические условия. Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 36 с.
4. Дрозд І.П., Охота А.С. До обґрунтування прийнятних рівнів ризику життєдіяльності в Україні // Матеріали НПК «Проблеми прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій природного, природно-техногенного та техногенного походження». Ялта: – 2009. – С. 20 – 23.
5. Кунин П.П., Лапин В.Л. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. – Москва: Высшая школа, 2002. – 327 с.
6. Лифар В.О. Моделі надзвичайних ситуацій та метод оцінки техногенного ризику в автоматизованій системі забезпечення

- безпеки виробництва. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського. Харків – 2007.
7. Маршал В. Основные опасности химических производств. М.: Мир. – 1989. – 672 с.
  8. Міхно Ю.О., Кулаков О.В. Аналіз небезпечних режимів роботи холодильних машин // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. – №5. – С. 146-150.
  9. Наказ Міністерства праці та соціальної політики України №637 від 04.12.2002 «Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної безпеки».
  10. Наказ Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи № 98 від 23 лютого 2006 року «Про затвердження Методики ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів»
  11. Про надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру в Україні за період з 1997 по 2006 роки (державний рівень) // Інформаційний бюлетень. – 2008. – №2. – 212 с.
  12. Современные проблемы холодильной техники и технологии: Сб. научн. тр. – Одесса: ОГАХ. – 2005. – 380 с.
  13. Соловей В.В, Давидюк О.В., Буц Ю.В. Анализ и оценка риска аварий – основа принятия решений при управлении промышленной безопасностью // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. – №4. – С. 219 –231.
  14. Тарадуда Д.В., Шевченко Р.И. О проблеме определения риска возникновения аварий // Матеріали НПК «Проблеми прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій природного, природно-техногенного та техногенного походження». Ялта: – 2009. – С. 20 – 23.
  15. Шматко А.В., Малежик А.В. Применение вероятностно-детерминистической модели при прогнозировании техногенных аварий на объектах химической промышленности // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. – №7. – С. 160–166.
  16. Шматко О.В., Паніна О.О. Використання імовірнісних оцінок при аналізі безпеки // Проблеми пожежної безпеки. – 2005. №18. – С. 192 –196.

*Тарасенко А.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., УГЗУ*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПРИРОДНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

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

На основании моделей динамики области природной чрезвычайной ситуации (наземного ландшафтного пожара) под воздействием подразделений МЧС ранее предложена процедура отыскания оптимальных параметров тактики борьбы. В настоящей работе оценивается эффективность предлагаемых управленческих решений путем сравнения совокупного ущерба от ЧС, получаемого на их основании, с аналогичным показателем, получаемым на основании управленческих решений, предлагаемых экспертами.

**Ключевые слова:** природная чрезвычайная ситуация, эффективность, оптимальная тактика, борьба с пожарами, ландшафтные пожары

**Постановка проблемы.** Для части природных чрезвычайных ситуаций присущ динамический характер области. Примером таких ЧС является ландшафтный пожар. Разнообразие ландшафтно-метеорологических условий, влияющих на динамику области, скорость и интенсивность тепловыделения кромки приводит к широчайшему спектру возможных сценариев развития ландшафтного пожара. Поэтому до сих пор решающим фактором успешной борьбы с пожаром являлась профессиональная подготовка, опыт и интуиция РТП, принимающего такие тактические решения, которые с его точки зрения обеспечивают наиболее эффективное тушение. Таким образом, процедура принятия управленческих решений в большой мере носит субъективный характер, в связи с чем эффективность принимаемых РТП решений может также оказаться невысокой. Для таких случаев целесообразно минимизировать влияние человеческого фактора, автоматизировав процедуру принятия части управленческих решений, а именно – нахождения оптимальных параметров тактики локализации ландшафтного пожара.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Варианты оптимального начального размещения сил и средств пожа-



$$C_D = \sum_{i=1}^{M_m} S_{mi} c_{mi} k_{mi}, \quad (1)$$

$$C_I = \sum_{j=1}^{M_e} c_{ej} n_{ej} t_{ej} + \sum_{k=1}^{M_p} c_{pk} n_{pk} t_{pk} + \sum_{i=u}^{M_c} c_{cu} n_{cu} + \sum_{v=1}^{M_d} c_{dv}, \quad (2)$$

где:

- для каждого  $i$ -ого ( $i = 1..M_m$ ) типа насаждений:  $S_{mi}$  – площадь, пройденная огнем ( $S = \sum_{i=1}^{M_m} S_{mi}$ );  $c_{mi}$  – стоимость (с учетом степени повреждения) одной условной единицы площади;  $k_{mi}$  – коэффициент повреждения огнем [9];

- для каждой  $j$ -ой ( $j = 1..M_e$ ) категории работников:  $c_{ej}$  – оплата труда за один час работы при локализации и тушении лесного пожара;  $n_{ej}$  – количество человек, принимающих участие в тушении пожара ( $N = \sum_{j=1}^{M_e} n_{ej}$ );  $t_{ej}$  – время работы при борьбе с поджаром;

- для каждого  $k$ -ого ( $k = 1..M_p$ ) вида техники, используемой при локализации и тушении:  $c_{pk}$  – стоимость эксплуатации при тушении и локализации за один час работы;  $n_{pk}$  – количество техники ( $W = \sum_{k=1}^{M_p} n_{pk}$ );  $t_{pk}$  – время работы техники;

- для каждого  $u$ -ого ( $u = 1..M_c$ ) вида расходуемого при транспортировке, тушении и локализации средства:  $c_{cu}$  – стоимость одной условной единицы средства;  $n_{cu}$  – число условных единиц израсходованных средств;

- для каждого  $v$ -ого ( $v = 1..M_d$ ) типа техники и оборудования, вышедшего из строя при локализации и тушении:  $c_{dv}$  – стоимость ремонта или восстановления.

Согласно нормативным документам [1-2] предписывается осуществлять тактику, целью которой является минимизация времени борьбы с пожаром либо минимизация выгоревшей площади. При этом из (1)-(2) видно, что минимизация данных параметров не обеспечивает минимума совокупного ущерба от пожара,

в связи с чем в [10] предложено в основу планирования тактики борьбы с пожаром положить минимум величины  $S$ . Очевидно, что минимизация совокупного ущерба возможна лишь при наличии прогноза развития ландшафтного пожара при воздействии на него сил пожаротушения, получаемого на основании соответствующих моделей. Такие модели получены в [5-7].

Количественные значения управленческих решений являются входными параметрами данных моделей, которые на выходе определяют значение времени борьбы с пожаром, трудозатраты на его ликвидацию, площадь пожара, прямой ущерб (в т.ч. по видам насаждений), совокупный ущерб, что позволяет методом прямого поиска [11] осуществлять нахождение рациональных значений параметров тактики борьбы с пожаром в условиях ограничений на материальные и временные ресурсы. Данные рациональные решения являются приближением к оптимальным.

Для проверки эффективности управленческих решений, принимаемых на основании данных моделей, проведено сравнение величины совокупного ущерба, получаемого в результате использования оптимальной тактики борьбы с пожаром, с величинами ущерба, полученными на основании обработки вариантов борьбы с пожаром, представленными группой экспертов (в числе  $N_e = 22$ ) из числа практических работников ПО (стаж службы в пожарной охране 5-20 лет), имевших различный опыт руководства тушением ландшафтных пожаров (табл. 1).

**Таблица 1 – Опыт руководства тушением ландшафтных пожаров членами экспертной группы**

Эксперт, $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Количество ликвидированных пожаров, $n_i$	3	12	6	8	2	1	4	7	3	5	5
Эксперт, $i$	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Количество ликвидированных пожаров, $n_i$	8	11	6	6	2	7	5	9	4	5	8

Была сформулирована следующая легенда: в условиях пересеченной местности со смешанным типом лесонасаждений (преимущественно сосна 30 лет, лиственные породы, кустарник) возник наземный ландшафтный пожар средней интенсивности, очаг которого закартографирован, площадь и периметр известны. По-

жар не переходит в верховой, но может повредить стволы деревьев. Экспертам предоставлялся полный объем информации, который может быть получен в ходе разведки: снимок местности, топографическая карта (М 1:10000), информация о наличии противопожарных рубежей, типах насаждений с их характеристиками, наличии водоисточника, скорости и направлении ветра, скорости распространения тактических элементов контура пожара, возможном проценте повреждаемого древостоя и его стоимости. Задаана информация об имеющихся в наличии силах и средствах пожаротушения (один боевой расчет), времени их прибытия и развертывания. От экспертов, выступавших в качестве РТП, требовалось осуществить расстановку сил и средств пожаротушения, обеспечивающих оптимальную (по критериям, определяемыми самими экспертами) тактику борьбы с пожаром. Также от экспертов требовалось указать на необходимость запроса подкреплений, а также примерное время, необходимое для успешного завершения борьбы с пожаром.

Второй вариант заданий для экспертов повторял первый с той лишь разницей, что экспертам дополнительно предоставлялся картированный прогноз развития пожара – при безветрии, северо-западном ветре 3 м/с и 8 м/с.

Результаты, полученные при обработке данных, предоставленных экспертами, представлены в табл. 2.

Анализ данных продемонстрировал, что, по мнению ряда экспертов, некоторые из критериев эквивалентны между собой.

Все эксперты признали нецелесообразность проведения локализационных мероприятий, предпочтя им непосредственное тушение кромки пожара.

**Таблица 2 – Критерии оптимизации, которыми руководствовались эксперты**

Количество экспертов	5	4	1	3	2	1	2	1	1	2
Время тушения	+					+		+	+	+
Площадь пожара		+				+	+			
Прямой ущерб			+				+	+		
Косвенный ущерб				+					+	
Совокупный ущерб					+					+

В отсутствие прогноза динамики контура пожара девять экспертов высказались за тушение восточной кромки (поднимающейся вверх по склону с западной экспозицией) водой из автоцистерны (существует возможность подъезда по грунтовой дороге) в сочетании с захлестыванием остальной части кромки, что, по их мнению, обеспечит наискорейшую ликвидацию пожара. Остальные эксперты отказались от использования воды, распределив тушильщиков вдоль кромки очага пожара и определив прием тушения в виде захлестывания кромки. Скорость ветра, по мнению экспертов, не влияла на тактику тушения.

Иная картина имела место в случае предоставления экспертам прогноза динамики контура пожара – мнения экспертов носили большую вариабельность. При скорости ветра 8 м/с десять экспертов посчитали целесообразным тушить подветренную кромку водой, пять – запросить подкрепление.

На основании представленных данных рассчитывались значения совокупного ущерба  $C_i^{1,2,3}$  от пожара ( $22 \times 3$  вычислительных эксперимента).

Мнению экспертов приписывался вес  $p_i$ , пропорциональный количеству ландшафтных пожаров (см. табл. 1), в тушении которых он участвовал

$$p_i = n_i / \sum_{i=1}^{N_e} n_i. \quad (3)$$

Правильность присвоения оценкам экспертов весовых коэффициентов  $p_i$  подтверждает вычисленный коэффициент линейной корреляции  $r_{Sn}$  между величиной ущерба  $C$ , полученного на основании данных каждого из экспертов, и опытом экспертов (количеством потушенных им пожаров  $n$ )

$$r_{Cn} = \frac{M[(C - MC)(n - Mn)]}{\sigma_C \sigma_n}, \quad (4)$$

где  $M$  и  $\sigma$  - операторы усреднения и среднеквадратичного отклонения, соответственно.

Обработка данных корреляционной таблицы, построенной на основании экспертных заключений, по стандартной методике [12], дала значение  $r_{Cn} = 0,71$ .



Такое значение коэффициента корреляции указывает, с одной стороны, на влияние опыта РТП на эффективность тушения. С другой стороны, не очень большое его значение указывает на недостаточность влияния одного этого фактора на эффективность тушения.

Значения средневзвешенных по всем экспертам совокупных ущербов находились на основании формулы

$$\bar{C}^{1,2,3} = \sum_{i=1}^{N_e} C_i^{1,2,3} p_i . \quad (5)$$

Полученные значения сравнивались со значениями  $C_{\min}^{1,2,3}$ , соответствующим оптимальным тактикам борьбы с пожаром.

Средневзвешенные результаты отличались от оптимальных в 2.54, 3.79 и 5.61 раза.

Наилучший из предложенных экспертами вариантов по величине совокупного ущерба превышал оптимальный результат в 1.89 раза (для безветрия, вес данного результата 8/127). Наихудший результат – 7.11 (при скорости ветра 8 м/с, вес – 2/127).

Полученные данные можно рассматривать как оценки эффективности управленческих решений по борьбе с наземными ландшафтными пожарами, принимаемых на основе использования программных продуктов и моделей [5-7].

**Выводы.** Предлагаемые в [5-7] модели динамики области природной чрезвычайной ситуации на примере наземного ландшафтного пожара, развивающегося под влиянием сил пожаротушения, и оптимальные параметры тактики борьбы с пожаром, получаемые на их основе, способствуют снижению совокупного ущерба от данного вида ЧС минимум в 1.89 раза. Данные модели и программные продукты могут быть рекомендованы для использования в практической деятельности МЧС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. – М.: Госкомлес СССР, 1976. – 110 с.
2. Подрезов Ю.В. Методологические основы прогнозирования динамики чрезвычайных лесопожарных ситуаций / Подрезов Ю.В., Шахраманьян М.А. – М.: ВНИИ ГОИС, 2001. – 266 с.

3. Кривошлыков С.Ф. Алгоритм минимизации времени локализации простого ландшафтного пожара. Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: між нар. наук.-практ. конф., 12-13 трав. 2006 р.: тези доп. – Черкаси, 2006. – С. 32-33.
4. Вонский С.М. Интенсивность огня низовых лесных пожаров и ее практическое значение. – Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1957. – 27 с.
5. Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Расчет параметров локализации области природного пожара// Науковий вісник будівництва. Вип. 53.– Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – С. 257-262
6. Абрамов Ю.О., Тарасенко О.А. Модель динаміки контуру ландшафтної пожежі з урахуванням метеорологічних даних. Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції (Черкаси, 2008). – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2008. – С. 5-7
7. Абрамов Ю.О., Тарасенко О.А. Моделі динаміки контуру ландшафтної пожежі з урахуванням топографічних даних. Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції (Черкаси, 2008). – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2008. – С. 7-10
8. Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. Постанова КМ України від 15 лютого 2002 р. N 175
9. Валендик Э., Гевель Н. О полноте сгорания некоторых лесных горючих материалов. Проблемы лесной пирологии. Красноярск, 1975, с. 127-137.
10. Тарасенко А.А., Абрамов Ю.А. Формулировка задачи оптимизации параметров управленческих решений для ликвидации ландшафтного пожара // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2006. Выпуск 20. – С. 207-209 .
11. Хэмди А. Таха. Введение в исследование операций. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
12. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / Гмурман В.Е. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

*Тарахно О.В., канд. техн. наук., нач. каф., УЦЗУ,  
Сирих В.М., канд. техн. наук., доц., УЦЗУ,  
Тарахно Р.В., експерт НДЕКЦ ЛУ УМВСУ на транспорті*

## **ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНОГО НАТІКАННЯ ГАЗУ В ПРИМІЩЕННЯ**

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

У роботі враховано вплив газообміну приміщення з навколишнім середовищем на можливість утворення вибухонебезпечних сумішей та час досягнення небезпечних концентрацій як в об'ємі всього приміщення, так і в локальних зонах загазованості

**Ключові слова:** Аварійний вибух, газопароповітряна суміш, газообмін, концентраційна межа поширення полум'я, зона загазованості

**Постановка проблеми.** За останні роки на території України у будинках різного призначення відбулася ціла серія катастрофічних вибухів газоповітряних сумішей, які за своїми наслідками набули ознак надзвичайних ситуацій. Так, у 2007 році в м. Дніпропетровську внаслідок витоків та вибуху побутового газу, обрушився один із під'їздів багатоповерхового житлового будинку, загинуло 23 людини. У результаті руйнування газопроводу середнього тиску з побутовим газом виникла серія вибухів у будинках, розташованих у центрі м. Луганську, загинуло 8 чоловік, 17 було госпіталізовано. За період 2007-2009 р.р. подібні аварійні вибухи виникали у м. Євпаторії, Львові, Херсоні, Харкові та інших населених пунктах України.

Необхідно відмітити, що практично усі випадки вибухів, у тому числі і вибухи газопароповітряних сумішей, викликають нестабільність та напруження у суспільстві. Своєчасне інформування про природу і причини вибухів дозволяє заспокоїти громадян і оперативно реагувати на виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з витоків із технологічного обладнання горючих газів та рідин.

Під час прогнозування аварійних вибухів у будинках і приміщеннях актуальним питанням є визначення маси горючого газу для утворення вибухонебезпечної загазованості та часу, через

який середня концентрація горючого газу у вільному об'ємі приміщення досягне значення нижньої концентраційної межі поширення полум'я. При цьому повинно враховуватися те, що частина горючого газу через отвори приміщення витікає назовні і не приймає участі у формуванні вибухонебезпечної суміші.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У методиці визначення категорії приміщення за вибухопожежною та пожежною безпекою, наведеної у нормах [1], для визначення маси горючої речовини, що приймає участь у вибуху, застосовується детермінований підхід, який передбачає введення коефіцієнта негерметичності приміщення –  $K_n$ , що дорівнює 3. Тому, виконані за даною методикою розрахунки мають ймовірнісний характер в силу того, що маса горючої речовини, необхідної для утворення вибухонебезпечних сумішей у приміщенні, визначається без урахування дійсного газообміну з навколишнім середовищем. Дослідження, результати яких наведені у роботах [2] та [3], говорять про вплив на стан вибухонебезпеки газифікованих будинків вентиляції, яка сприяє видаленню газу із цих приміщень і перешкоджає формуванню в них вибухонебезпечної хмари. Разом з цим, наведені розрахунки не дозволяють визначити час, через який середня концентрація горючого газу у вільному об'ємі приміщення досягне вибухонебезпечної концентрації.

**Постановка завдання та його вирішення.** Як відомо, надзвичайна ситуація з загрозою виникнення вибуху та подальшої пожежі у приміщенні може створитися внаслідок аварійної розгерметизації технологічного обладнання або газової магістралі. Можливість вибуху при виході горючого газу в об'єм приміщення створюється за умови досягнення концентрації газу нижньої концентраційної межі поширення полум'я. Отже, для визначення можливості виникнення горіння необхідно порівняти фактичну середню концентрацію горючого газу з нижньою концентраційною межею поширення полум'я цього газу.

Середню фактичну концентрацію газу, що утворилася у приміщенні внаслідок аварійного натікання, можна розрахувати за формулою

$$\varphi'_{сер} = \frac{m_2}{V_{прим} (1 - \eta)} = \frac{m_2}{V_{вільн}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \text{ або } \varphi_{сер} = \frac{100m_2}{\rho_2 V_{вільн}}, \%, \quad (1)$$

де  $\varphi'_{сер}$ ,  $\varphi_{сер}$  – відповідно масова та об'ємна середня фактична концентрація газу у вільному об'ємі приміщення;  $m_g$  – маса газу, що надійшла до приміщення за час аварійної ситуації, кг;  $V_{прим}$  – загальний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $\eta$  – частка об'єму приміщення, що зайнята обладнанням або меблями;  $V_{вільн}$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>.

Для визначення середньої концентрації горючого газу необхідно знати масу газу, що надійшла під час аварійного натікання до приміщення з певною масовою витратою  $g_z^{надх}$  за певний час розвитку аварійної ситуації.

Як відомо із [4], масову витрату, з якою газ витікає через отвір і надходить у приміщення, можна розрахувати за формулами:

- якщо режим витікання є докритичним ( $\frac{P_{сис}}{P_{атм}} < 2$ ),

$$g_z^{надх} = K_{отв} S_{отв} P_{сис} \sqrt{\frac{1}{R_{num} T} \cdot \frac{2k}{k-1} \left[ \left( \frac{P_{атм}}{P_{сис}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P_{атм}}{P_{сис}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}; \quad (2a)$$

- якщо режим витікання є критичним ( $\frac{P_{сис}}{P_{атм}} > 2$ ),

$$g_z^{надх} = K_{отв} S_{отв} P_{сис} \sqrt{\frac{1}{R_{num} T} \cdot \frac{2k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}, \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}, \quad (2б)$$

де  $K_{отв}$  – коефіцієнт опору отвору, через який надходить газ (зазвичай  $K_{отв} = 0,64$ );  $k$  – коефіцієнт адиабати горючого газу;  $P_{сис}$  – тиск в системі подачі газу, який є більшим за тиск середовища, в яке відбувається витікання, Па;  $P_{атм}$  – тиск в середовищі, в яке відбувається витікання газу, Па;  $S_{отв}$  – площа отвору, через який витікає газ, м<sup>2</sup>;  $T$  – температура газу, К;  $R_{num}$  – питома газова стала, Дж кг<sup>-1</sup> К<sup>-1</sup>.

Отже, час, за який середня фактична концентрація газу, що утворилася у приміщенні внаслідок аварійного натікання і відсутності газообміну із навколишнім середовищем, досягне значення нижньої концентраційної межі поширення полум'я, можна визначити за формулою

$$\tau_{\text{нкмпл}} = \frac{m_z}{g_z^{\text{надх}}} = \frac{V_{\text{вільн}} \varphi'_n}{g_z^{\text{надх}}}, \text{ с}, \quad (3)$$

де  $\varphi'_n$  – масова нижня концентраційна межа поширення полум'я горючого газу, кг м<sup>-3</sup>.

За наявності отворів у приміщенні виникає газообмін внаслідок різниці температур газового середовища в приміщенні і назовні, через що частина горючого газу буде втрачатися разом із потоком повітря. Витрата горючого газу, що витікає з приміщення разом із повітрям, пропорційна поточному значенню масової частки горючого газу в суміші на даний момент часу.

Рівняння матеріального балансу горючого газу, що надходить у приміщення, з урахуванням витоку газу через отвори із потоком повітря можна виразити диференціальним рівнянням

$$\frac{dm_z}{d\tau} = V_{\text{вільн}} \frac{d\varphi'_z}{d\tau} = g_z^{\text{надх}} - g_{zc}^{\text{вум}} \frac{\varphi'_z}{\rho_{zc}}, \quad (4)$$

де  $\varphi'_z$  – середня масова концентрація газу в приміщенні на момент часу  $\tau$ , кг м<sup>-3</sup>;  $g_{zc}^{\text{вум}}$  – масова витрата, з якою суміш повітря і горючого газу витікає із приміщення через отвори (розраховують залежно від схеми газообміну), кг с<sup>-1</sup>;  $\rho_{zc}$  – густина газоповітряної суміші за даних умов, кг м<sup>-3</sup>.

Масову витрату, з якою газова суміш витікає через отвори приміщення, згідно [4] можна розрахувати за формулою

- якщо отвори розташовані на одному рівні,

$$g_{zc}^{\text{вум}} = \frac{2}{3} K_{\text{отв}} S_{\text{отв}} \sqrt{\frac{2gh_{\text{отв}} \rho_{\text{нов}} \rho_{\text{нз}} (\rho_{\text{нов}} - \rho_{\text{нз}})}{(\rho_{\text{нов}}^{0,33} + \rho_{\text{нз}}^{0,33})^3}}, \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1},$$

- якщо отвори розташовані на різному рівні,

$$g_{zc}^{\text{вум}} = K_{\text{отв}} S_{\text{прин}} S_{\text{вум}} \sqrt{\frac{2gH \rho_{\text{нов}} \rho_{\text{нз}} (\rho_{\text{нов}} - \rho_{\text{нз}})}{\rho_{\text{нов}} S_{\text{прин}}^2 + \rho_{\text{нз}} S_{\text{вум}}^2}}, \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1},$$

де  $K_{\text{отв}}$  – коефіцієнт витрати отвору, який враховує втрати кінетичної енергії газового потоку при проході його через отвори за рахунок тертя, завихрення тощо, і залежить від форми отвору і тов-

щини стінок (для віконних і дверних отворів приймається рівним  $0,6 \div 0,65$ );  $S_{прин}$  – площа отвору, що працює на приплив повітря;  $S_{вит}$  – площа витяжного отвору;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $H$  – відстань між центрами припливного і витяжного отворів;  $\rho_{пов}$  – густина повітря назовні приміщення;  $\rho_{гз}$  – густина газового середовища в приміщенні.

Вирішення рівняння матеріального балансу (4) дає можливість визначити масу газу, що накопичується в приміщенні за певний час розвитку аварійної ситуації з урахуванням газообміну із навколишнім середовищем

$$m_g = \frac{g_{надх} \rho_{гз} V_{вільн}}{g_{гз}^{вит}} \left( 1 - e^{-\frac{g_{гз}^{вит} \tau}{\rho_{гз} V_{вільн}}} \right), \text{ кг.} \quad (5)$$

Вирішення рівняння (4) у межах  $\tau = 0$ ,  $\varphi_g = 0$  та  $\tau = \tau_{нкмпн}$ ,  $\varphi_g = \varphi_n$  дає можливість розрахувати час, через який середня концентрація горючого газу в вільному об'ємі приміщення досягне значення нижньої концентраційної межі поширення полум'я, з урахуванням часткового витоку горючого газу через отвори приміщення в процесі його аварійного надходження

$$\tau_{нкмпн} = \frac{V_{вільн} \rho_{гз}}{g_{гз}^{вит}} \ln \frac{g_{гз}^{надх}}{g_{гз}^{надх} - \frac{g_{гз}^{вит} \varphi_n'}{\rho_{гз}}}, \text{ с.} \quad (6)$$

Із формули (6) випливає, що за певних умов газообміну час досягнення вибухонебезпечної концентрації горючої речовини у всьому об'ємі приміщення буде прямувати до нескінченності, тобто вибухонебезпечна загазованість у приміщенні не буде створюватися. Така ситуація виникне, якщо

$$g_{гз}^{надх} \leq \frac{g_{гз}^{вит} \varphi_n'}{\rho_{гз}}.$$

За певний час виходу горючого газу нижня концентраційна межа поширення полум'я може бути досягнута не в усьому приміщенні, а тільки в певній частині приміщення. Створюється, так

звана, зона вибухонебезпечної загазованості. Радіус зони вибухонебезпечної загазованості визначають згідно [1] за формулою

$$R_{газ} = 1,1314 \cdot L \sqrt{\ln \left( \frac{1,38\varphi_0}{\varphi_n} \right)}, \text{ м}, \quad (7)$$

де  $L$  – довжина приміщення, м;  $\varphi_n$  – об'ємна нижня концентраційна межа поширення полум'я горючого газу, %;  $\varphi_0$  – передекспоненціальний множник, який визначають за емпіричними формулами:

- у нерухомому середовищі

$$\varphi_0 = 3,77 \cdot 10^3 \frac{m_2}{\rho_2 V_{вільн}}, \text{ \%}, \quad (8a)$$

- у рухомому середовищі ( $v_{нов} > 0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ )

$$\varphi_0 = 300 \frac{m_2}{\rho_2 V_{вільн} v_{нов}}, \text{ \%}, \quad (8б)$$

де  $v_{нов}$  – швидкість руху повітря в приміщенні,  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ ;

Час, протягом якого за даних умов аварійного надходження горючого газу в приміщення зона вибухонебезпечних концентрацій пошириться до ймовірного джерела запалювання (наприклад, електричного вимикача, установки із наявністю відкритого полум'я тощо), можна розрахувати, вирішуючи систему рівнянь (3), (7), (8), за формулами:

- за умови відсутності руху повітряних потоків

$$\tau = 1,92 \cdot 10^{-4} \frac{\rho_2 V_{вільн} \varphi_n}{g_2^{надх}} e^{\left( \frac{R}{1,1314 \cdot L} \right)^2}, \text{ с}, \quad (9)$$

- у рухомому середовищі

$$\tau = 2,4 \cdot 10^{-3} \frac{\rho_2 V_{вільн} v_{нов} \varphi_n}{g_2^{надх}} e^{\left( \frac{R}{1,1314 \cdot L} \right)^2}, \text{ с}, \quad (10)$$



де  $R$  – відстань від джерела витікання газу до ймовірного джерела запалювання, м.

**Висновок.** Таким чином, у роботі враховано вплив газообміну приміщення з навколишнім середовищем на можливість утворення вибухонебезпечних сумішей та час досягнення небезпечних концентрацій як в об'ємі всього приміщення, так і в локальних зонах загазованості.

## ЛІТЕРАТУРА

1. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
2. Комаров А.А., Чиликина Г.В. Условия формирования взрывоопасных облаков в газифицированных жилых помещениях //Пожаровзрывобезопасность. 2002. №4. – С. 24-28.
3. Мишуев А.В., Комаров А.А., Хуснутдинов Д.З. Общие закономерности развития аварийных взрывов и методы снижения взрывных нагрузок до безопасного уровня //Пожаровзрывобезопасность. 2001. №6. – С. 8-19.
4. Рябова І.Б., Сайчук І.В., Шаршанов А.Я. Термодинаміка і теплопередача у пожежній справі. – Харків: АПБУ, 2002. - 352 с.

УДК 697.953:537.56

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМЫХ  
ГЕНЕРАТОРОВ АЭРОИОНОВ ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МЧС УКРАИНЫ**  
(представлено д-ром хим. наук Калугиным В.Д.)

Разработано и исследовано регулируемое устройство аэроионизации, которое обеспечивает гарантированную безопасность и высокую эффективность мероприятий по искусственной ионизации воздуха с одновременным сокращением расходов на их проведение

**Ключевые слова:** аэроионизация, нормативный аэроионный режим, искусственная ионизация воздуха, управляемый генератор аэроионов, помещение специального назначения МЧС Украины

**Постановка проблемы.** Анализ способов нормализации ионного состава воздушной среды показывает, что нормативный аэроионный режим в помещениях специального назначения МЧС Украины (ПСН) наиболее эффективным образом может быть реализован путем подачи в помещение искусственно ионизированного воздуха с помощью стационарных коронных аэроионизаторов, встроенных в систему кондиционирования воздуха (СКВ), как наиболее совершенного варианта в медико-техническом и экономическом отношении [1,2,3]. В этом случае аэроионный режим зависит от организации воздухообмена и в значительной степени определяется способом распределения воздуха в помещении, т.е. типом и производительностью воздухораспределительных устройств.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ схем распределения воздуха показывает, что для проведения мероприятий по нормализации аэроионного режима наиболее эффективной является схема организации воздухообмена «сверху-вниз», когда приточный воздух должен выпускаться в верхней зоне помещения по возможности ближе к рабочей зоне, а вытяжной удаляться через пол или стены в нижней части помещения. Поэтому в ПСН, оборудованных дополнительными фильтрами тон-

кой очистки приточного воздуха, генераторы аэроионов необходимо устанавливать на выходе воздухораспределительных устройств.

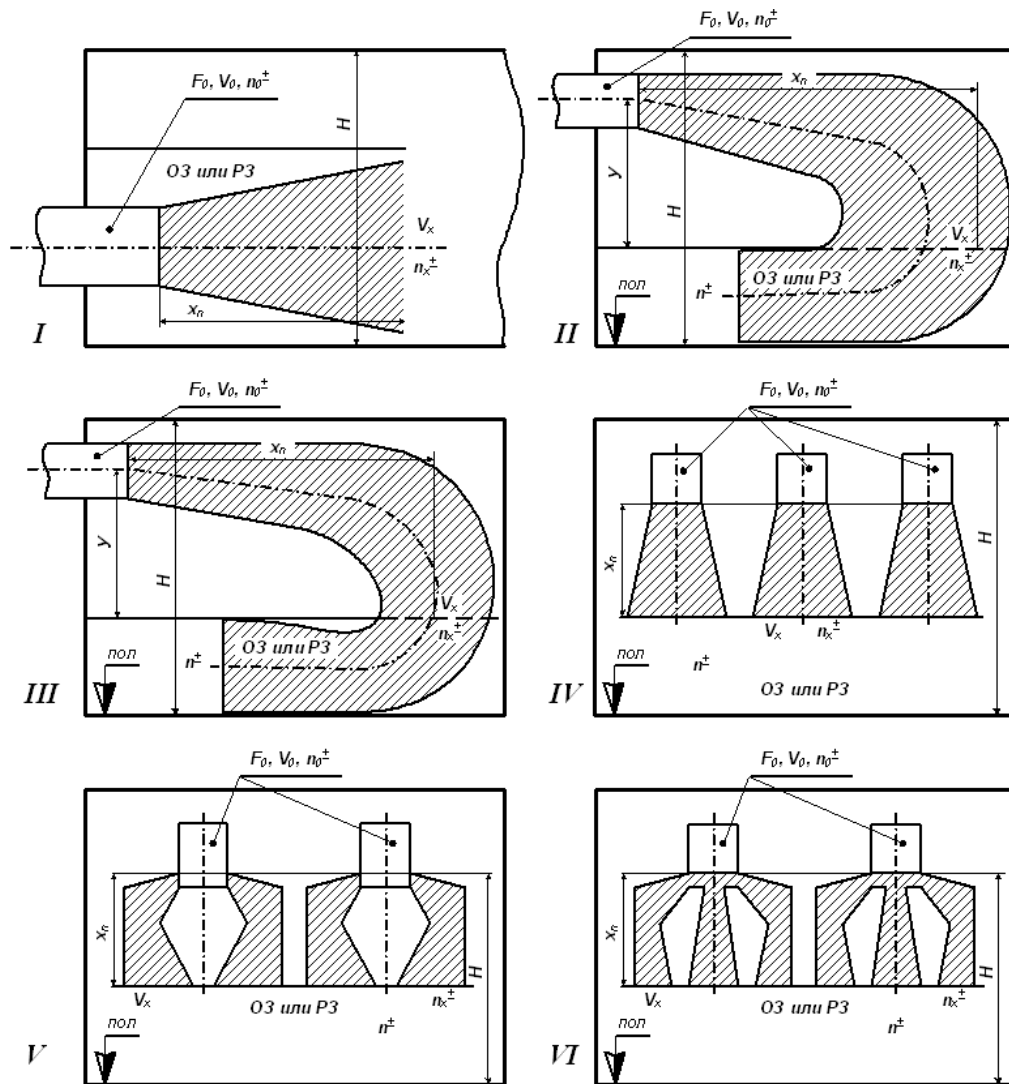


Рис. 1 – Основные схемы подачи ионизованного воздуха компактными, плоскими, веерными и коническими струями:  $x_n$  – расстояние от места выхода струи до постоянного рабочего места (схема I) или до обслуживаемой или рабочей зоны (ОЗ или РЗ) (схемы II-VI), м;  $F_0$  – расчетное сечение приточного отверстия, м<sup>2</sup>;  $H$  – высота помещения, м;  $Y$  – расстояние от оси приточного отверстия до обслуживаемой или рабочей зоны по высоте, м;  $V_0$  и  $V_x$  – скорость воздуха при выходе из воздухораспределителя и ее максимальное значение в обслуживаемой или рабочей зоне соответственно, м/с;  $n_0^\pm$ ,  $n_x^\pm$  и  $n^\pm$  – концентрация аэроионов на выходе из приточного отверстия воздухораспределителя, в обслуживаемой или рабочей зоне и их установившаяся концентрация в помещении соответственно, ион/м<sup>3</sup>

В практике кондиционирования подача приточного воздуха может осуществляться компактными, плоскими или веерными струями по схемам, приведенным на рис. 1 [4].

В основу реализации способа нормализации ионного состава воздушной среды обитания ПСН путем подачи искусственно ионизированного воздуха положены свойства и закономерности приточных струй [4,5]. Расчеты по определению концентрации аэроионов в рабочей зоне кондиционируемых помещений ведутся для условий прямого воздействия приточных струй с учетом характеристик воздухораспределительных устройств, в качестве которых в существующих системах кондиционирования воздуха применяются разработанные и утвержденные конструкции воздухораспределителей, обеспечивающие нормируемую скорость движения воздуха в рабочей зоне и нормируемую разность температур между температурой воздуха в струе и средней температурой воздуха рабочей зоны. Тип и число воздухораспределителей должны приниматься в зависимости от выбранной схемы организации воздухообмена и объемно-планировочного решения помещения.

**Постановка задачи и ее решение.** Таким образом, для определения концентрации легких аэроионов  $n_x^{\pm}$  отрицательной и положительной полярности в обслуживаемой или рабочей зоне (ОЗ или РЗ) ПСН необходимо учесть следующие параметры:

1. Характеристики используемого воздухораспределителя, которые зависят от конструктивных параметров помещения.
2. Принять по рис. 1 схему подачи воздуха в помещение и определить расстояние  $x_n$  от места выхода струи до постоянного рабочего места или до выхода струи в ОЗ или РЗ.
3. Определить начальную скорость воздуха  $V_0$  при выходе из воздухораспределителя в его расчетном сечении  $F_0$ , используя известные соотношения и основываясь на заданном расстоянии и максимальной скорости воздуха  $V_x$  в ОЗ или РЗ.
4. Провести расчет на обеспечение заданных концентраций аэроионов в ОЗ или РЗ. При этом расчетные концентрации отрицательных и положительных легких аэроионов не должны превышать нормативных значений.

Характеристики, определяемые в п.п. 1-3 относятся к конструктивным и режимным параметрам СКВ и могут быть определены по известным методикам [5]. Наибольший интерес представляют показатели устройства ионизации воздуха (генераторов аэроионов или аэроионизаторов), которые создают в указанных зо-

нах помещения требуемые концентрации аэроионов и обеспечивают нормативные параметры аэроионного режима.

Одним из основных требований, предъявляемых к генераторам аэроионов как к основным устройствам для нормализации ионного состава воздушной среды рабочей зоны, является возможность регулирования количества генерируемых аэроионов  $n_x^\pm$ , которое определяется полярностью, типом и формой напряжения на коронирующих электродах, геометрической конфигурацией коронирующей системы и др. [6].

$$n_x^\pm = \exp \left[ \int_0^{x_n} \alpha_u(x) dx \right], \quad (1)$$

где  $x_n$  – расстояние от места выхода струи до постоянного рабочего места или до выхода струи в рабочую зону, м;  $x$  – расстояние от коронирующего электрода, м;  $\alpha_u(x)$  – первый коэффициент ионизации Таунсенда.

В работе было проведено исследование коронирующих систем с игольчатыми (остриевыми) электродами [7]. Разрядный промежуток такого аэроионизатора можно рассматривать образованным гиперболическим острием с радиусом кривизны  $R_\circ$  и плоскостью, находящейся на расстоянии  $d$  от острия, в воздухе при атмосферном давлении  $P = 760$  мм рт.ст. Напряженность электрического поля  $E_p$  у острия равна

$$E_p = \frac{2U_\kappa}{R_\circ \cdot \lg \left( \frac{4d}{R_\circ} \right)}, \quad (2)$$

где  $U_\kappa$  – потенциал острия, В.

Напряженность поля  $E$  вблизи острия изменяется с расстоянием  $x$  по формуле

$$E = \frac{R_\circ}{R_\circ + x} E_p, \quad (3)$$

Согласно законам подобия, коэффициент ионизации  $\alpha_u$  в выражении (1) может быть определен из соотношения

$$\frac{\alpha_u}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right) = A \exp\left(-\frac{B \cdot P}{E}\right), \quad (4)$$

где  $A$  и  $B$  – постоянные коэффициенты, которые для воздуха при  $\left(\frac{E}{P}\right) = 100 \dots 800 \text{ В м}^{-1} \text{ мм рт.ст}^{-1}$  соответственно равны 15 и  $365 \text{ см}^{-1} \text{ мм рт.ст}^{-1}$ .

Используя соотношения (2)...(4), выражение (1) можно представить в виде

$$n_x^\pm = \exp\left\{ \int_0^{x_n} A \cdot P \exp\left[-\frac{B \cdot P(R_s + x) \lg\left(\frac{4d}{R_s}\right)}{2U_k}\right] dx \right\}. \quad (5)$$

Анализ соотношения (5) показывает, что обеспечение требуемого уровня аэроионизации может быть достигнуто изменением величины напряжения на коронирующих электродах, изменением расстояния между коронирующим и заземленным металлическими электродами, экранированием и изменением расстояния между рабочей зоной и аэроионизатором, а также различной комбинацией этих способов [8].

В условиях изолированных малых объемов обеспечение требуемых уровней аэроионизации путем экранирования или изменения расстояния между аэроионизатором и рабочей зоной малоэффективно и не всегда может быть реализовано вследствие ограниченных размеров помещения. Поэтому в помещениях специального назначения основной метод регулирования концентрации аэроионов, генерируемых коронным аэроионизатором, должен заключаться в изменении величины постоянного напряжения на коронирующих электродах.

В качестве управляемых генераторов аэроионов используются также устройства, в которых на аэроионы, образовавшиеся у коронирующего электрода (или другого источника), воздействуют электрическим полем, создаваемым с помощью дополнительного управляющего электрода, установленного на выходе аэроионизатора.

Реализация такого метода регулирования концентрации аэроионов требует высокостабильного источника напряжения и сложных электронных схем управления. Это усложняет конструкцию подобных устройств, повышает их стоимость, снижает надежность, безопасность и удобство эксплуатации.

В данной работе было разработано устройство для ионизации воздуха, выполненное в виде камеры 1 из диэлектрического материала, в которой установлен коронирующий электрод 2 в виде острия, соединенный с источником постоянного напряжения отрицательной или положительной полярности (рис. 2). После коронирующего электрода по ходу воздуха, который подается через предварительный фильтр тонкой очистки 4, установлен управляющий заземленный электрод 3, выполненный в виде металлического стержня с резьбой, имеющего регулируемую глубину погружения в поперечной плоскости диэлектрической камеры, что позволяет регулировать количество образующихся в процессе коронного разряда аэроионов и, следовательно, их концентрацию в потоке воздуха.

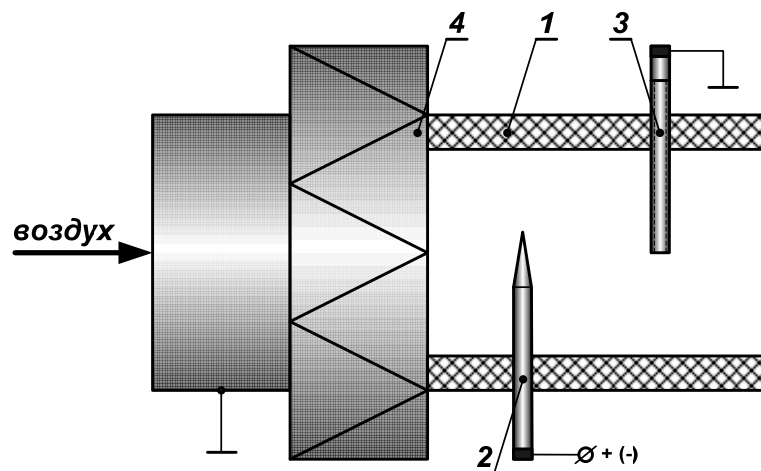


Рис. 2 – Устройство для ионизации воздуха: 1 – камера из диэлектрического материала; 2 – коронирующий электрод в виде острия; 3 – управляющий заземленный электрод; 4 – предварительный фильтр тонкой очистки

При начальной напряженности  $E$  электрического поля в разрядном промежутке коронного аэроионизатора перемещение заземленного управляющего электрода создает некоторое положительное или отрицательное приращение  $E + \Delta E$ . При этом раз-

ность потенциалов, приложенных к разрядному промежутку длиной  $d$ , изменится от значения  $U_\kappa$  до  $U_\kappa + \Delta U_\kappa$ . Здесь

$$\Delta U_\kappa = \int_0^d \Delta E dx. \quad (6)$$

С учетом преобразования выражения (4) имеем

$$\frac{\alpha_u}{P} = A \exp\left(-\frac{BP}{E + \Delta E}\right) = \frac{\alpha_{u0}}{P} \left[1 + \frac{BP}{E^2} \Delta E + \frac{BP}{E^4} \left(\frac{BP}{2} - E\right) \Delta E^2\right], \quad (7)$$

где  $\alpha_u = \alpha_{u0}$  при  $\Delta E = 0$ .

Изменение количества генерируемых аэроионов получаем интегрированием выражения (1) с учетом (7)

$$\int_0^d (\alpha_u - \alpha_{u0}) dx = \alpha_{u0} \frac{BP}{E^2} \left[ \Delta U_\kappa + \frac{1}{E^2} \left(\frac{BP}{2} - E\right) \int_0^d \Delta E^2 dx \right]. \quad (8)$$

Минимальное изменение разности потенциалов на разрядном промежутке, которое приводит к изменению количества образующихся аэроионов, определяем из выражения (8), приравнивая левую часть к нулю

$$\Delta U_\kappa = \frac{1}{E^2} \left(E - \frac{BP}{2}\right) \int_0^d \Delta E^2 dx. \quad (9)$$

Знак приращения разности потенциалов  $\Delta U_\kappa$  в этом случае будет определяться знаком множителя  $\left(E - \frac{BP}{2}\right)$ . Соотношение (9)

позволяет определить в первом приближении пространственные границы зоны регулирования при определенных конструктивных и режимных параметрах исследуемых коронных аэроионизаторов.

На рис. 3 приведены зависимости концентрации отрицательных  $n_0^-$  и положительных  $n_0^+$  легких аэроионов на выходе разработанного устройства для ионизации воздуха от величины перемещения управляющего электрода, полученные экспериментальным путем.



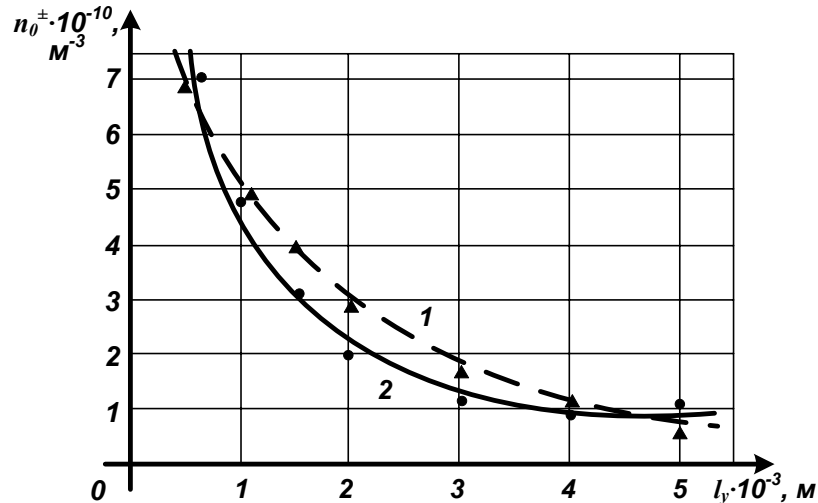


Рис. 3 – Зависимость концентрации  $n_0^\pm$  лёгких аэроионов на выходе устройства для ионизации воздуха от перемещения  $l_y$  управляющего электрода: 1, ▲ – отрицательные аэроионы; 2, ● – положительные аэроионы

Зависимости получены для устройства, выполненного в виде цилиндрической камеры из гетинакса с внутренним диаметром  $2,5 \cdot 10^{-2}$  м. При этом диаметр управляющего электрода равен  $3 \cdot 10^{-3}$  м, а его удаление от коронирующего электрода по ходу воздуха –  $1 \cdot 10^{-2}$  м. Начальное положение управляющего электрода в поперечной плоскости камеры определялось пространственными границами зоны регулирования. Погружение управляющего электрода вглубь камеры приводит к уменьшению концентрации как положительных, так и отрицательных аэроионов. Коронирующий электрод изготовлен в виде стальной иглы диаметром  $2 \cdot 10^{-3}$  м и длиной  $1,5 \cdot 10^{-2}$  м с углом заточки острия  $20^\circ$ .

Установка в ПСН разработанного устройства, с учетом дальнейшего его совершенствования, обеспечивает гарантированную безопасность и высокую эффективность мероприятий по искусственной ионизации воздуха с одновременным сокращением расходов на их проведение, что обусловлено возможностью применения инженерных методов расчета при разработке, изготовлении и эксплуатации устройств аэроионизации, которые будут разработаны и предложены в дальнейшем.

**Выводы.** Нормализация аэроионного режима в ПСН МЧС Украины должна быть реализована путем подачи в помещение искусственно ионизированного воздуха с помощью стационарных

Исследование и разработка управляемых генераторов аэроионов для помещений специального назначения МЧС Украины

регулируемых коронных аэроионизаторов. Однако у подобных аэроионизаторов в следствие физической природы коронного разряда наблюдается сложность создания нормативных уровней концентрации аэроионов в зоне дыхания личного состава, поэтому существующие методы регулирования и технические средства реализующие эти методы требуют дальнейшего совершенствования. Разработано и исследовано устройство для ионизации воздуха для нормализации аэроионного режима в рабочей зоне ПСН, которое обеспечивает гарантируемую безопасность и высокую эффективность мероприятий по искусственной аэроионизации воздуха, являясь наиболее совершенным вариантом в медико-техническом и экономическом отношении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України. – введені в дію наказом МНС України від 07.05.2007 р. № 312.
2. Толкунов І.О., Попов І.І., Барбашин В.В. Исследование процессов генерирования аэроионов в электрических ионизаторах воздуха // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2009. – №9. – С.129-138.
3. ГНАОТ 0.03-3.06.80 Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений № 2152-80.
4. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. – М.: Стройиздат, 1978, 144 с.
5. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха (Справочник проектировщика). – М.: Стройиздат, 1978, 509 с.
6. Chapman S. Corona point current in wind. J. of Geophysical Research. Vol. 75, №12, 1970. P.2165-2169.
7. Салата Н.П. Обоснование оптимальных параметров остриевых коронирующих электродов для аэроионификации животноводческих помещений. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Вып. №35, 1976. – С.85-89.
8. Монтик П.Н., Коновалов С.А. Исследование управляемого генератора ионов. // Электронная обработка материалов. – М.: 1979. –№4. – С.64-67.

*Третьяков О.В., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,  
Малютин М.М., ад'юнкт, УЦЗУ*

**ПІДВИЩЕННЯ ПОВНОТИ ТА ОБ'ЄКТИВНОСТІ ВРАХУВАННЯ  
НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ  
ТА ПАСПОРТИЗАЦІЇ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**  
(представлено д-ром техн. наук Туркінім І.Б.)

Експериментальними дослідженнями доведено, що конверторний шлак при контакті з бензолом в атмосфері повітря з підвищеним вмістом забруднюючих речовин з джерел коксохімічного та металургійного виробництва здатний виконувати функцію каталізатора і забезпечувати утворення шкідливих і небезпечних речовин, які можуть бути причиною НС техногенного походження

**Ключові слова:** ідентифікація, паспортизація, небезпечні чинники

**Постановка проблеми.** Відповідно до „Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів” [1], потенційно небезпечний об'єкт (ПНО) – об'єкт, на якому можуть використовуватися або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, біологічні препарати, а також інші об'єкти, що за певних обставин можуть створити реальну загрозу виникнення аварії. У п. 7 Методичі ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів [2] передбачається, що у процесі ідентифікації розглядаються і враховуються внутрішні і зовнішні чинники безпеки. При сумісному розгляді визначення ПНО та вимог до його ідентифікації виявляється деяке протиріччя. З визначення ПНО зовсім випадає можливість утворення небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникати у наслідок поєднання внутрішніх та зовнішніх аналогічних факторів об'єкту чи об'єктів, а не бути наслідками реалізації технологічних процесів виробництва. Ці, виникаючі внаслідок синергізму інших небезпечних факторів, чинники у свою чергу можуть бути причиною виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного походження і не можуть не враховуватися при ідентифікації та паспортизації ПНО. Тим більше, що Методика ідентифікації ПНО [2] передбачає врахування

зовнішніх чинників небезпеки, які безпосередньо не пов'язані з функціонуванням об'єкта господарської діяльності, але можуть ініціювати виникнення НС на ньому та негативно впливати на її розвиток (природні явища та аварії на об'єктах, які розташовані поблизу).

Так, наприклад, в силу технологічних потреб коксохімічні і металургійні виробництва розташовані в нашій країні у безпосередній близькості. Підприємства коксохімічного і металургійного виробництв являють собою складні комплекси технологічних процесів і відносяться не тільки до ПНО, а і до екологічно небезпечних внаслідок значних викидів у атмосферу широкого спектру шкідливих та небезпечних речовин та скидів їх у водоймища, що обумовлює екологічну ситуацію регіонів розташування. Однотериторіальне розташування цих підприємств у безпосередній близькості потребує відповідного врахування при оцінці впливу їх виробництв як на довкілля (Проект гранично допустимих викидів (ГДВ), Проект гранично допустимих скидів (ГДС), План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС)), так і при визначенні небезпек виникнення техногенних надзвичайних ситуацій.

Для підвищення надійності і достовірності виявлення усіх шкідливих і небезпечних факторів при проведенні ідентифікації та паспортизації ПНО необхідно обов'язково враховувати можливість утворення факторів, що виникають внаслідок поєднаної дії існуючих хімічних і фізичних небезпечних внутрішніх та зовнішніх факторів, як наслідок синергетичного ефекту і можуть бути причиною виникнення НС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Раніше на прикладі однотериторіального розташування Закритого акціонерного товариства "Єнакієвський коксохімпром" та групи металургійних підприємств "Єнакієвський металургійний завод", до якої входять відкрите акціонерне товариство "Єнакієвський металургійний завод" та Українсько-швейцарське спільне підприємство "Метален", теоретично було доведено [3, 4], що внаслідок викидів у атмосферне повітря через виробничі організовані та неорганізовані джерела одних і тих же речовин: пил неорганічного та органічного походження, оксиду карбону, оксидів нітрогену, оксидів сульфуру, аміаку, сульфідів гідрогену та інших, в зоні шлаковідвалів спостерігається суттєве перебільшення концентрацій цих речовин у приземному шарі – 20 – 100 ГДК. Наявність відкритих складів конверторного шлаку на великій площині, що мають високу температуру

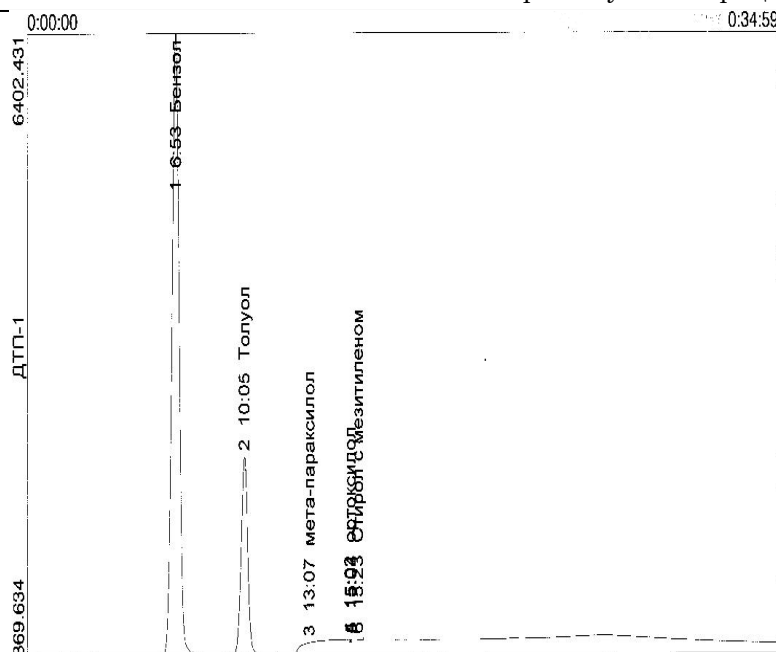
на момент скиду – 1250 – 1350<sup>0</sup>С, та ймовірність виходу великої кількості бензолу біля 650 т з резервуарів його зберігання коксохімічного виробництва [5], розташованого на відстані 300 м, може призвести не тільки до спалаху бензолу, а і до утворення на поверхні шлаку нових небезпечних речовин, які у свою чергу можуть бути причиною виникнення НС.

**Постановка завдання та його вирішення.** Задля підвищення об'єктивності та повноти врахування усіх шкідливих і небезпечних факторів при ідентифікації і паспортизації коксохімічних і металургійних виробництв як ПНО із забезпеченням врахування синергетичної дії хімічних і фізичних небезпечних факторів обох виробництв, експериментально визначити, які шкідливі та небезпечні речовини можуть утворюватися на поверхні часток конверторного шлаку в період його охолодження та в умовах підвищеної концентрації основних забруднюючих речовин в зоні контакту. Перш за все необхідно виявити, чи має конвертоний шлак в цих умовах каталітичні властивості по відношенню до синтезу нових ароматичних органічних сполук і які саме сполуки утворюються, з якими токсикологічними властивостями по відношенню до людей.

Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах центрально заводської лабораторії ЗАТ “Єнакієвський коксохімпром”. В кожному дослідженні забезпечувався безпосередній контакт бензолу з частками конверторного шлаку в умовах його охолодження у атмосфері повітря та зі збільшеним вмістом у повітрі оксидів нітрогену, оксидів сульфуру, сульфїду гїдрогену при температурі 30 – 50<sup>0</sup>С. Хімічний склад конверторного шлаку наведено у табл. Результати хімічної взаємодії визначали за допомогою хроматографа „Кристалл-2000М” з колонкою – Дїнохром-Н, 0,3-0,25 мм + 15% ПЕГА, 3м. Хроматограми оброблялися за допомогою комп'ютерної програми „Хроматэк аналитик”.

**Таблиця – Хімічний склад конверторного шлаку ВАТ “Єнакієвський металургійний завод” у відсотках**

Fe	S	P	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO
16,97	0,18	0,31	14,06	1,19	7,46	15,10	38,01	4,16	2,56



КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ РАСЧЕТ - Процентная нормализация

Название	Группа	Детектор	Время	Площадь, мВ·с	Высота, мВ	Площадь, %	Высота, %
Бензол		ДТП-1	0:06:53	139935	6028.32	73.0429	74.472
Толуол		ДТП-1	0:10:05	41554.6	1919.54	21.6906	23.7134
мета-пара-ксилол		ДТП-1	0:13:07	9597.7	83.9568	5.0098	1.03718
ортоксилол		ДТП-1	0:15:02	61.8394	26.6116	0.0322789	0.328752
стирол с мезитиленом		ДТП-1	0:15:04	338.805	24.8297	0.176849	0.306738
[Сумма по детектору]		ДТП-1		191579	8094.75	100	100

Рис. 1 – Хроматограма продуктів взаємодії бензолу з конверторним шлаком в атмосфері повітря з підвищеним вмістом  $N_2O_3$  при температурі  $50^\circ C$

Результати експериментальних досліджень показали, що контакт бензолу з конверторним шлаком навіть при температурі  $30^\circ C$  призводить до утворення толуолу та індену

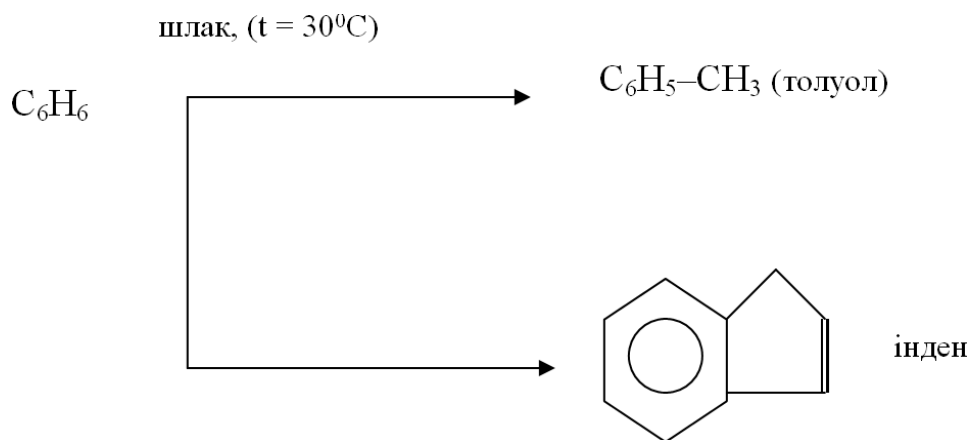
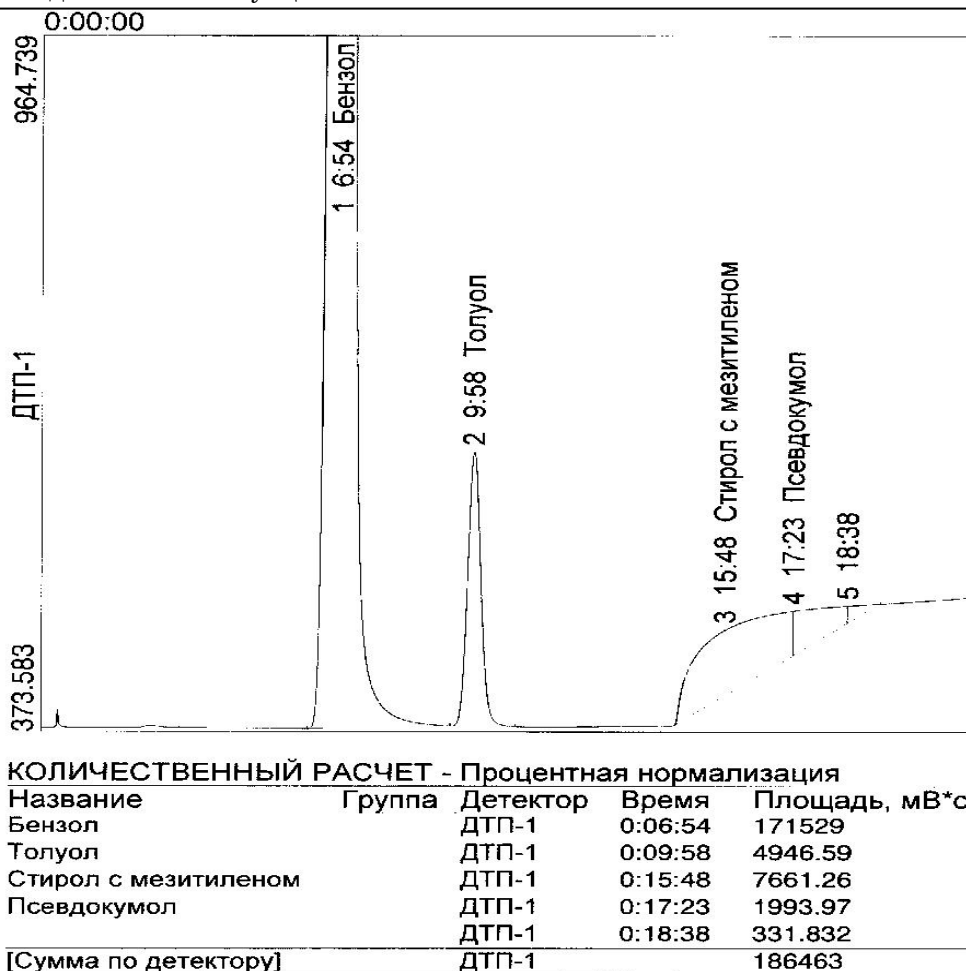


Рис. 2



**Рис. 3 – Хроматограма продуктів взаємодії бензолу з конверторним шлаком в атмосфері повітря з підвищеним вмістом N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> при температурі 50°C**

Контакт бензолу з конверторним шлаком в атмосфері з підвищеним вмістом діоксиду сульфуру при температурі 50°C призводить до утворення тільки толуолу.

Найбільший спектр утворення похідних бензолу спостерігається при його контакті з конверторним шлаком в атмосфері з підвищеним вмістом N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> при температурі 50°C (рис.1, 3, 4).

Усі сполуки, які виявлені в експериментальних дослідженнях відносяться до токсичних речовин. Так толуол, о-, м-, п-ксилоли, стирол, псевдокумол, мезитилен адсорбуються непошкодженою шкірою людини, здійснюють загально токсичну, подразнювальну, наркотичну, канцерогенну та мутагенну дію [6]. Токсикологічні властивості тіотолу мають прояв у погіршенні умовно-рефлекторної діяльності, збільшені кількості лейкоцитів у крові та збільшені маси і об'єми щитоподібної залози та печінки [7].

Підвищення повноти та об'єктивності врахування небезпечних факторів при ідентифікації та паспортизації потенційно небезпечних об'єктів

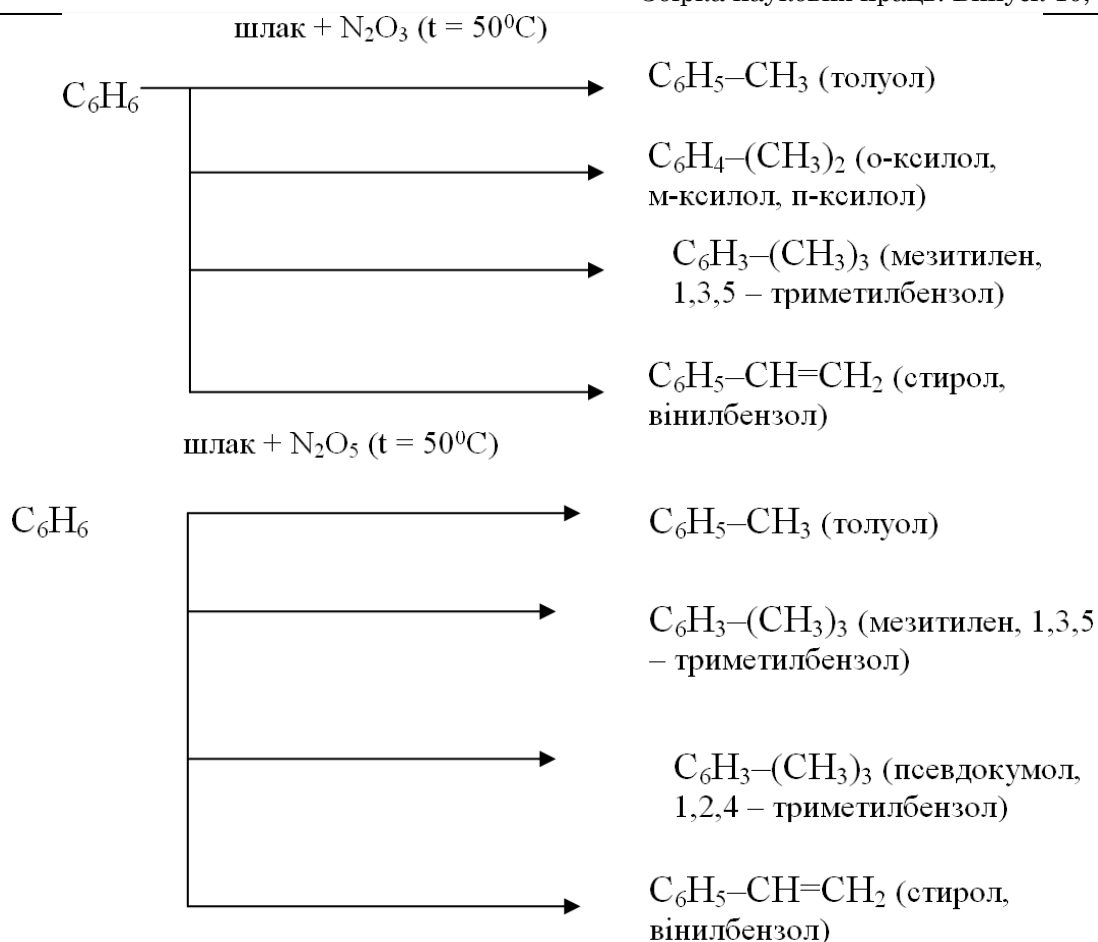


Рис. 4

При контакті бензолу з конверторним шлаком в атмосфері з підвищеним вмістом сульфиду гідрогену при температурі 50°C утворюється така небезпечна сполука як 2-метилтіофен:

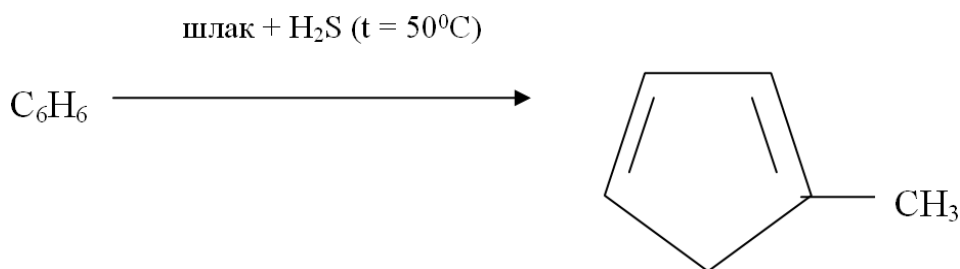


Рис. 5

Таким чином, в результаті експериментальних досліджень доведено, що конверторний шлак при контакті з бензолом в атмосфері повітря з підвищеним вмістом забруднюючих речовин з джерел коксо-хімічного та металургійного виробництва здатний вико-



нувати функцію каталізатора і забезпечувати утворення шкідливих і небезпечних речовин, які можуть бути причиною НС техногенного походження.

**Висновок.** При проведенні ідентифікації та паспортизації ПНО різних галузей господарства при їх одно територіальному розташуванні для отримання повних і об'єктивних даних про джерела шкідливих і небезпечних чинників, необхідно приймати до уваги можливість синергетичного поєднання цих факторів, внаслідок якого можуть утворюватися нові раніше невраховані небезпечні фактори – ініціатори НС.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів, Наказ МНС України від 16.08.2005 № 140.
2. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів, Наказ МНС України від 23.02.2006 № 98.
3. Третьяков О.В., Андронов В.А., Малютин М.М. Напрями підвищення надійності прогнозування небезпек виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах коксо-хімічного і металургійного виробництв при їх одно територіальному розташуванні // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. Наук. Пр. УЦЗ України. Вип.. 6. – Харків, 2007, с. 148-153.
4. Третьяков О.В., Андронов В.А., Малютин М.М. Підвищення рівня прогнозування небезпек виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах коксохімічного і металургійного виробництв при їх одно територіальному розташуванні // УглеХимический журнал, № 6, 2007, с. 68-72.
5. План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій цеху уловлювання ЗАО «ЕКХП». – Єнакієво 2004.
6. Kirk – Othmer, 3 ed., v. 24, N.Y., 1984, p. 829.
7. Уждавии Э.Р. Токсические свойства 2-метилтиофена // Химия сераорганических соединений, содержащихся в нефтях и нефтепродуктах, т. IX, 1971, с. 570-573.

УДК [556.114:574.63] (285.33)

*Третьяков О.В., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,  
Пономаренко Р.В., ад'юнкт, УЦЗУ*

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСЕЛЕННЯ ПИТНОЮ ВОДОЮ ВИСОКОЇ ЯКОСТІ ПРИ ЇЇ ВИРОБНИЦТВІ З ПОВЕРХНЕВОГО ДЖЕРЕЛА В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ**

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

Розроблено технологію виробництва питної води, при її виготовленні з поверхневого джерела, для забезпечення населення якісною питною водою умовах надзвичайної ситуації техногенного характеру

**Ключеві слова:** питна вода, сухий залишок, іонний обмін, катіонування, аніонування, мобільні станції

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день, в Україні, існує постійний ризик захворювання населення, пов'язаний з вживанням питної води з вмістом домішок понад рівень установлений санітарно-гігієнічними нормативами [1]. Внаслідок споживання недоброякісної питної води щорічно реєструються спалахи вірусу гепатиту А (ВГА). Так у 2008 році було зареєстровано один спалах ВГА пов'язаний із вживанням недоброякісної питної води.

Карачунівське водосховище створене на злитті річок Інгулець, Бічна і Боковенька, які протікають по території Кіровоградської та Дніпропетровської областей, має об'єм понад 300 млн. м<sup>3</sup>. Виготовлення питної води з цього водосховища та її споживання відбувається в м. Кривий Ріг. Виходячи з високого вмісту, у воді водосховища, солей жорсткості, сульфат іонів та загального солемісту, а також неспроможності існуючої технології підготовки питної води досягти встановлених норм за цими показниками, рішенням Держспоживстандарту України, було надано дозвіл Карачунівському водопровідному комплексу на використання водопровідної води господарсько-питного призначення з відхиленням від вимог стандарту за цим показниками до кінця 2009 р. Тому вирішення питання щодо виробництва питної води необхідної якості на цьому комплексі є стратегічно важливим завданням, як для керівництва підприємства так і для регіональних органів ци-

вільного захисту, які призначені співвиконавцями Загальнодержавної програми «Питна вода України на 2006 – 2020 роки» [2]. Згідно наказу МНС №882/715, підрозділи МНС та МОЗ України у режимі діяльності в умовах надзвичайних ситуацій організовують санітарно протиепідемічне забезпечення постраждалих при надзвичайній ситуації, а МНС безпосередньо здійснює матеріально – технічне забезпечення мобільних госпіталів, які належать до сфери управління МНС. При виникненні надзвичайної ситуації техногенного характеру, пов'язаної з перевищенням концентрації небезпечних хімічних речовин понад ГДК в питній воді, першочерговим завданням підрозділів МНС є забезпечення населення, що перебуває в зоні ураження НС, якісною питною водою в якомога коротші строки і в необхідному об'ємі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Подібна ситуація погіршення якості води спостерігаються у Київському та Канівському водосховищах Дніпровського каскаду [3]. На цей момент в Україні більшість існуючих станцій підготовки питної води працюють за наступною технологією обробки води поверхневого джерела: – коагуляція, – відстоювання, - фільтрування, – обеззараження (частіше за все хлорування).

Як відомо, зниження вмісту у воді солей жорсткості, сульфат іонів та загального вмісту солей до рівня нормативних значень, може здійснюватися термічним, реагентним або іонообмінним способами [4].

Реагентні методи обробки води, частіше за все, забезпечує перехід іонів кальцію і магнію у вихідній воді в тверду фазу у вигляді важкорозчинних сполук  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{Mg(OH)}_2$ , які в подальшому легко затримуються на механічних фільтрах. Для цього вихідну воду обробляють реагентами-осаджувачами, які містять у своєму складі карбонат- або гідроксил-іони. До таких реагентів, що використовуються у водопідготовці, відносяться  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  і  $\text{Ca(OH)}_2$  [4].

Все більше практичне застосування для пом'якшення води та видалення з неї аніонів одержує іонообмінний метод [4], заснований на здатності іонообмінного матеріалу заміщувати у воді позитивні або негативні іони в обмін на еквівалентну кількість іонів гідрогену чи гідроксил іонів.

Видалення з води розчинених газів зокрема  $\text{CO}_2$  є важливою складовою частиною технологічних процесів підготовки добавочної води живлення парових котлів та систем теплопостачання [5]. В

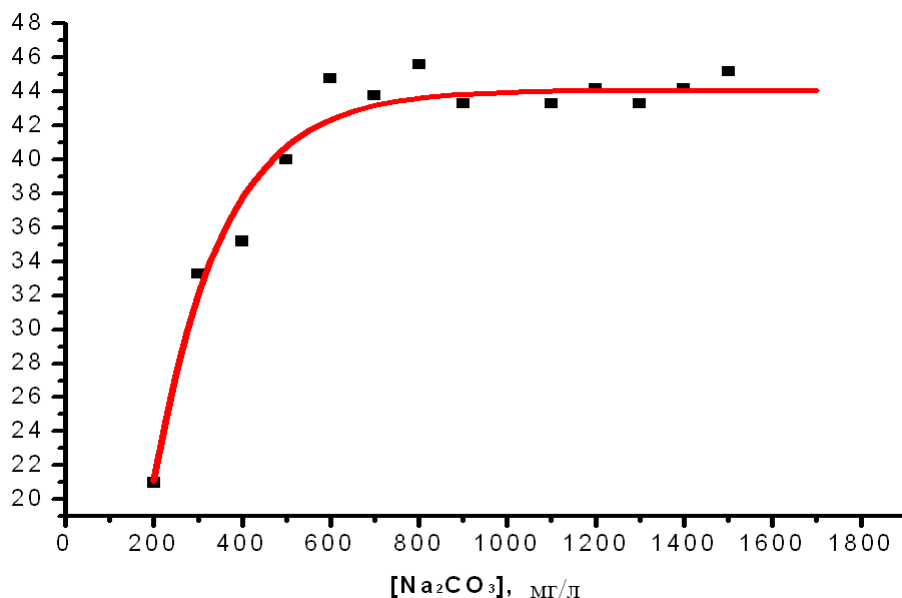
---

Забезпечення населення питною водою високої якості при її виробництві з поверхневого джерела в умовах надзвичайної ситуації техногенного характеру

якості основного метода видалення розчинених газів з води використовують фізичну десорбцію. Для десорбції  $\text{CO}_2$  здійснюється при контакті диспергированої води, що обробляється з атмосферним повітрям. Останні роки усе більше застосування набувають прямооточні щільні декарбонізатори струменевого типу (ДКС), призначені для видалення з води вільної вуглекислоти і розчиненого  $\text{CO}_2$ . ДКС застосовуються як проміжна ступінь водопідготовки для видалення  $\text{CO}_2$  після Н-катионування.

**Постановка завдання та його вирішення.** Розробка технології виробництва питної води при її виготовленні з поверхневого джерела, для забезпечення населення в умовах надзвичайної ситуації техногенного характеру.

Для зниження вмісту солей жорсткості у воді водосховища були випробувані на стадії коагуляції різноманітні реагенти: карбонат натрію –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , гідрокарбонат натрію –  $\text{NaHCO}_3$ , фосфат натрію –  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , фторид натрію –  $\text{NaF}$ , сульфат заліза (II) –  $\text{FeSO}_4$  та їх різноманітні композиції. Тільки застосування  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  разом зі штатним коагулянтном дозволяло знизити вміст солей жорсткості до нормативного рівня ( $<7,0$  мг-екв/л). Проведені дослідження дозволили визначити, що при концентрації карбонату натрію більше 600 мг/л, досягається максимально стабільна ефективність виведення іонів кальцію у тверду фазу на рівні 45% (рис. 1), і загальний вміст солей жорсткості досягає нормативного рівню.



**Рис. 1 – Ефективність виведення з вихідної води солей жорсткості в залежності від концентрації карбонату натрію**

Для виведення сульфат іонів та зниження рівня сухого залишку до нормативного рівня було використано метод іонного обміну [6]. Найкращі результати було досягнуто при використанні сильно-кислотного катіоніту вітчизняного виробництва КУ-2-8 та сильно-основного аніоніту АВ-17-8 (табл. 1).

Найменші значення концентрацій речовин, що контролювалися, досягалися при реалізації наступної послідовності стадій обробки води: 1) коагуляція ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ); 2) катіонування (КУ-2-8); 3) декарбонізація; 4) аніонування (АВ-17-8). Але при цьому кінцеве значення рН води (рН=10,46) перебільшує допустиме для питної води значення (рН=6,5-8,5) [1]. Уникнути цього недоліку можливо за рахунок поєднання відповідних об'ємів води з різних стадій обробки у визначеному співвідношенні. Так, при змішуванні води після всіх стадій обробки з водою після катіонування та після коагуляції у об'ємному співвідношенні (2: 1 :2), можна отримати воду з показниками: рН = 7,94; жорсткість = 5,2 г-екв./дм<sup>3</sup>; сульфати = 382 г-екв./дм<sup>3</sup>; сухий залишок = 940 г-екв./дм<sup>3</sup>, що повністю відповідають нормативним вимогам до питної води [1].

При проведенні експериментальних досліджень було зафіксовано газоутворення на стадії аніонування після попереднього катіонування, що умовах виробництва не припустимо. Для уникнення газоутворення  $\text{CO}_2$  до стадії аніонування проводили дегазацію води з використанням струменевого декарбонізатора (табл. 2).

Найменші значення концентрацій речовин, що контролювалися, досягалися при реалізації наступної послідовності стадій обробки води: 1) коагуляція ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ); 2) катіонування (КУ-2-8); 3) декарбонізація; 4) аніонування (суміш АВ-17-8 + АН-31). Кінцеве значення рН води (рН=6,58) відповідає допустимому для питної води значенню (рН=6,5-8,5) [1].

При застосуванні послідовної обробки води на сильно-кислотному катіоніті КУ-2-8 та сильно-основному аніоніті АВ-17-8, або суміші сильно-основного аніоніту АВ-17-8 з слабо-основним аніонітом АН-31 у співвідношенні 1 : 1, забезпечується отримання води високої якості з мінімальним вмістом іонних домішок.

Запропонована схема виробництва питної води, може бути взята за основу для створення пересувного комплексу виробництва питної води для забезпечення населення якісною питною водою в умовах надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, навіть в умовах його високого забруднення.

Таблиця 1 – Основні показники води обробленої методом іонного обміну з використанням катіоніту КУ-2-8 та аніоніту АВ-17-8

Стадії обробки	Вихідна вода				Вода після обробки				
	pH <sub>0</sub>	Ж <sub>к0</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>0</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Сухий за-лишок вих., мг/дм <sup>3</sup>	pH <sub>к</sub>	pH <sub>а</sub>	Ж <sub>к</sub> кін., ммоль/дм <sup>3</sup>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] кін., мг/дм <sup>3</sup>	Сухий за-лишок кін., мг/дм <sup>3</sup>
1. Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>									
2. КУ-2-8	8,25	11,4	556	1246	2,03	10,4 6	0,45	27	312
3. АВ-17-8									
1. Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>									
2. АВ-17-8	8,25	11,4	556	1246	2,19	11,2 9	0,2	21	299
3. КУ-2-8									
Вода після коагуляції Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )									
Стадії обробки	pH <sub>0</sub>	Ж <sub>к0</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>0</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Сухий за-лишок вих., мг/дм <sup>3</sup>	pH <sub>к</sub>	pH <sub>а</sub>	Ж <sub>к</sub> кін., ммоль/дм <sup>3</sup>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] кін., мг/дм <sup>3</sup>	Сухий за-лишок кін., мг/дм <sup>3</sup>
1. Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>									
2. КУ-2-8	8,25	11,4	556	1246	2,08	9,15	0,4	22	306
3. АВ-17-8									
1. Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>									
2. АВ-17-8	8,25	11,4	556	1246	10,01	2,11	0,15	79	357
3. КУ-2-8									

Таблиця 2 - Основні показники води обробленої методом іонного обміну з використанням катіонітів КУ-2-8, АН-17-8 та аніоніту АВ-17-8

Режим обробки	pH <sub>0</sub>	Ж <sub>0</sub> , ММОЛЬ/Л	[SO <sub>4</sub> ] <sub>0</sub> , МГ/Л	Сух. за- ЛИШ. ВИХ, МГ/Л	pH <sub>ф</sub>	Ж <sub>ф</sub> , ММОЛЬ/Л	pH <sub>к</sub>	pH <sub>а</sub>	Ж <sub>кін</sub> , ММОЛЬ/Л	[SO <sub>4</sub> ] <sub>кін</sub> , МГ/Л	Сух. за- ЛИШ. КІН, МГ/Л
1)700мг/л Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2)КУ-2-8											
3)Декарбонизація 4)АВ-17-8 5)АН-31	7,97	11,9	601	1437	9,43	7,7	2,68	7,6	0,8	21	343
1)700мг/л Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2)КУ-2-8											
3)Декарбонизація 4)АН-31	7,97	11,9	601	1437	9,39	7,6	2,15	6,58	0,4	19	472
1)700мг/л Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2)КУ-2-8											
3)Декарбонизація 4)АВ-17-8+АН-31	7,97	11,9	601	1437	9,4	7,6	2,49	11,05	0,3	32	404

Забезпечення населення питною водою високої якості при її виробництві з поверхневого джерела в умовах надзвичайної ситуації техногенного характеру

**Висновки.** Розроблено технологію виробництва питної води, при її виготовленні з поверхневого джерела, для забезпечення населення якісною питною водою умовах надзвичайної ситуації техногенного характеру.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ГосСанПиН "Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения". № 383 от 23.12.96.
2. Закон України Про загальнодержавну програму "Питна вода України" на 2006-2020 рр. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2005, N 15, ст.243.
3. Линник П.Н. Причины ухудшения качества воды в Киевском и Каневском водохранилищах // Химия и технология воды, 2003, т. 25, № 3, с. 384–403.
4. Белан Ф.И. Водоподготовка. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.
5. Слепцов Г.В., Ибрагимов Р.Б. Экотехнологии умягчения воды // Збірка доповідей Міжнародного конгресу „ЕВТЕВК – 2007”, Україна, Крим, м. Ялта 22-26 травня 2007 р., с. 100 – 103.
6. Розробка технології виробництва питної води високої якості для Карачунівського водопровідного комплексу. // Звіт з НДР (заключний). УЦЗУ, керівник О.В. Третьяков. – Держ. реєстр. 0109U003067. – Харків. 2009. – 80 с.
7. Шарапов В.И., Сивухина М.А. Декарбонизаторы водоподготовительных установок систем теплоснабжения. – М.: Изд. АСВ, 2000. – 200 с.



*Удянський М.М., канд. техн. наук, нач. каф., УЦЗУ,  
Алфьоров О.В., ад'юнкт, УЦЗУ*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРОТИПОЖЕЖНИХ РОЗРИВІВ ЗА КУТОВИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ**

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

Розглянуто застосування методу сфери одиничного радіусу при визначенні величини протипожежних розривів між об'єктами

**Ключові слова:** протипожежний розрив, теплообмін, локальний кутовий коефіцієнт випромінювання

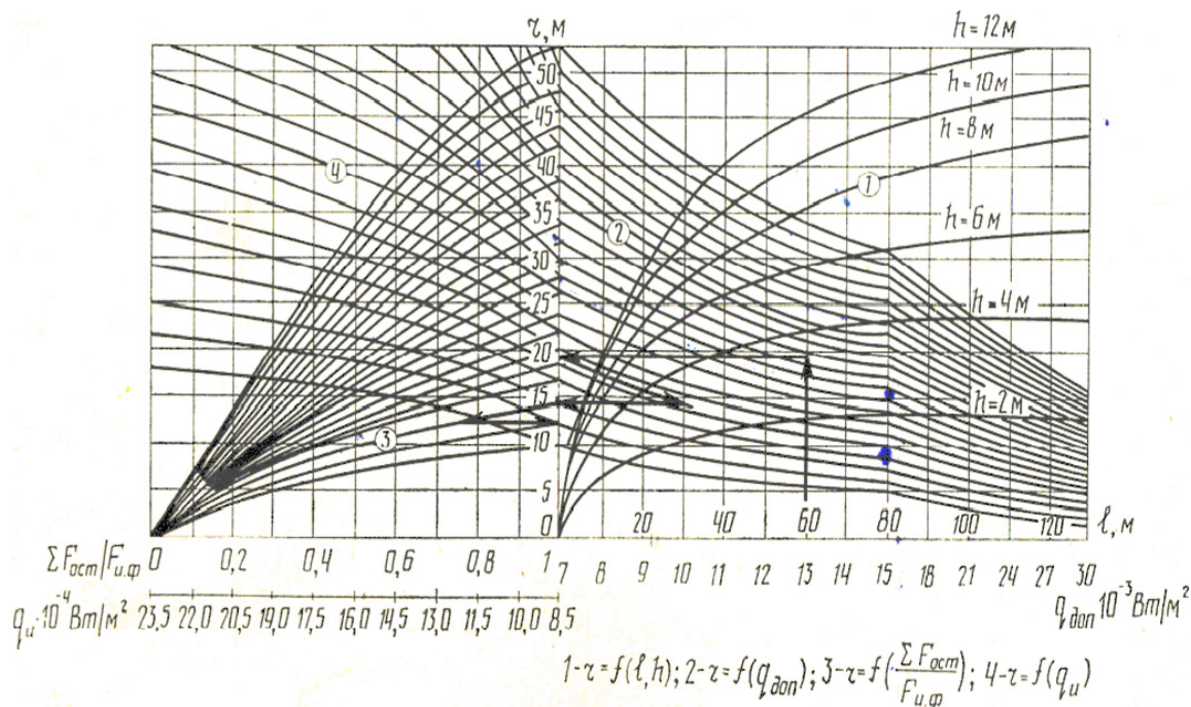
**Постановка проблеми.** Одним з основних та найважливіших профілактичних заходів, що попереджують розповсюдження вогню під час пожежі, є дотримання безпечних відстаней – тобто протипожежних розривів між будівлями та спорудами. Протипожежний розрив – це унормована відстань між будівлями та (або) спорудами, яку встановлюють для запобігання розвитку пожежі [1].

На сучасному етапі при забудові населених пунктів використовується табличний метод визначення величини протипожежних розривів. Таблиці для визначення величини протипожежного розриву, що наведені у відповідних будівельних нормах, враховують тільки ступінь вогнестійкості будівлі та її призначення, або об'єм небезпечної речовини що знаходиться на об'єкті, і зовсім не враховують геометричну форму об'єкту, динаміку розвитку подій при пожежі та інші процеси, що теж впливають на можливість поширення пожежі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Густина теплового потоку, що падає на об'єкт, визначається як добуток інтегральної густини випромінювання на коефіцієнт опромінення:  $q_{над} = q_u \varphi$ . Враховуючи умову безпеки ( $q_{над} \leq q_{дон}$ ), маємо:  $q_u \varphi \leq q_{дон}$ . Таким чином, для визначення величини протипожежного розриву між будівлями і спорудами необхідно мати надійні вихідні дані стосовно допустимої інтенсивності опромінення об'єктів різноманітного призначення, інтегральної інтенсивності випромінювання полум'я при горінні матеріалів в різноманітних умовах, а також

стосовно розмірів і форм випромінюючих поверхонь, що впливають на коефіцієнт опромінення.

Відома методика визначення величини протипожежних розривів за допомогою номограм (рис. 1) [2].



**Рис. 1 – Номограма для визначення величини протипожежних розривів**

Ця номограма дозволяє визначити величину протипожежного розриву в залежності від довжини ( $l_{пл}$ ) і висоти полум'я ( $h_{пл}$ ), значення допустимої інтенсивності опромінення ( $q_{дон}$ ), інтегральної інтенсивності випромінювання полум'я ( $q_u$ ), а також відношення площі віконних прорізів ( $\Sigma F_{окт}$ ) до площі випромінюючого фасаду ( $F_{u.ф.}$ ). Але номограму можна використовувати тільки якщо випромінююча поверхня приведена до форми прямокутника, а елементарну площадку, що опромінюється, має проекцію в геометричний центр випромінюючої поверхні. Недоліком використання номограми є складність користування нею та вірогідність помилки при визначенні протипожежного розриву.

Існують також і аналітичні методи визначення величини протипожежних розривів, але вони мають характер рекомендацій.

Окрім цього, недоліком відомих методів розрахунку величини протипожежних розривів є ще й те, що їх можливо застосовувати тільки для об'єктів простих геометричних форм.

**Постановка завдання та його вирішення.** Дослідження методів визначення променевої теплопередачі між об'єктами. Розробка методики застосування методу сфери одиничного радіусу при визначенні величини протипожежних розривів між об'єктами.

Якщо  $T_A$  – абсолютна температура джерела (факелу);  $T_B$  – абсолютна температура приймача тепла і  $\varepsilon$  – фізична константа теплообміну для даної системи поверхонь  $A$  і  $B$ , то величину теплового потоку, що випромінюється поверхнею  $A$  і досягає поверхні  $B$ , можна обчислити за формулою

$$Q = \varepsilon \left[ \left( \frac{T_A}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_B}{100} \right)^4 \right] H. \quad (1)$$

Величина  $H$  характеризує взаємну поверхню системи поверхонь “факел  $A$  – об'єкт  $B$ ” і залежить від форми і розташування у просторі факела та об'єкта. За означенням  $H = SF_{A-B}$ , де  $S$  - площа частини поверхні об'єкта  $B$ , яка видима з поверхні факела, а через  $F_{A-B}$  позначено величину, що характеризує форму і взаємне положення поверхонь  $A$  і  $B$ .  $F_{A-B}$  визначає інтегральний кутовий коефіцієнт випромінювання, і обчислюється за формулою

$$F_{A-B} = \frac{1}{A} \int_A \int_B \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\pi r^2} dB dA. \quad (2)$$

В цій формулі через  $r$  позначено відстань між центральними точками  $M$  і  $N$  елементів площадок  $dA$  і  $dB$  поверхонь  $A$  і  $B$ , а через  $\alpha$  і  $\beta$  - гострі кути між нормальними до площадок  $dA$  та  $dB$  і напрямком випромінювання (рис. 1). Внутрішній інтеграл

$$F_{dA-B} = \int_B \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\pi r^2} dB. \quad (3)$$

визначає локальний кутовий коефіцієнт випромінювання між площадкою  $dA$  поверхні  $A$  і поверхнею кінцевих розмірів  $B$ .

Для обчислення локальних ККВ застосовують *метод сфери одиничного радіуса* [3]. В цьому випадку значення локального ККВ збігається [4, 5] з відношенням площ радіально-паралельної проекції (RP-проекції) поверхні  $B$  і круга одиничного радіуса. От-

же, для обчислення локального ККВ необхідно обчислити площі RP-проекцій поверхні  $B$ ; на практиці це легко здійснити, якщо RP-проекція описана нерівністю  $f(x, y) \geq 0$ .

Наведене вище дозволяє створити загальний алгоритм обчислення інтегральних ККВ при променевій теплопередачі від факела полум'я до фігури на площині, розташованих паралельно координатним площинам. Остання умова обрана для визначеності на початковому етапі досліджень, і в подальшому буде знята.

*Крок 1.* У просторі фіксується положення факела випромінювання, наприклад, у вигляді прямокутника, тобто визначаються координати «центральної точки» та величини сторін. Напрямок однієї з сторін нехай збігається з напрямом осі  $Oz$  глобальної системи координат  $Oxyz$ .

*Крок 2.* Далі фіксуються положення всіх площин  $P_k$ , яким належать фігури  $G_k$  - приймачі теплового випромінювання. На першому етапі дослідження вважається, що фігурами є звернуті до еліпсоїда грані паралелепіпедів (моделі будівель), тобто площини  $P_k$  можуть розташовуватись або паралельно, або перпендикулярно великій осі еліпсоїда.

*Крок 3.* Для кожної з площин  $P_k$  обчислюється «поле» значень локальних ККВ для прямокутника, який охоплює відповідну область  $G_k$ , та будується графік  $\Gamma_k$  залежності значень локальних ККВ від положення опроміненої точки на площині  $P_k$ , тобто будується графік функції двох змінних.

*Крок 4.* Кожен з одержаних графіків  $\Gamma_k$  функції двох змінних описується за допомогою пакета обробки графо-аналітичної інформації (наприклад, Table Curve 3D ver. 2 for Win 32) рівняння  $\eta = F_k(\xi, \psi)$  в локальній системі координат  $O_k\xi\psi$  площини  $P_k$ .

*Крок 5.* В локальних координатах  $O_k\xi\psi$  кожної з площин  $P_k$  визначаються межі інтегрування, що відповідають фігурам  $G_k$ . При цьому необхідно врахувати можливі затінення фігур одна одною, адже вони належать різним площинам.

*Крок 6.* Далі виконується інтегрування функцій  $F_k(\xi, \psi)$  по областях - фігурах  $G_k$  (або їх частинах) і обчислюється сума всіх інтегралів. Розділивши цю суму на площу видимої частини факелу полум'я, одержимо значення інтегрального ККВ.

В результаті виконання описаного алгоритму буде одержано числову оцінку тепловому потокові, який випромінює прямокутник і поглинається системою плоских фігур в залежності від взаємного розташування джерела і приймача.

**Висновки.** На основі використання локальних ККВ та їх геометричних інтерпретацій можна розробити універсальний спосіб обчислення локальних та інтегральних ККВ, тим самим запропонувати критерій оцінки протипожежних розривів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2272:2006 „Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять”
2. Грушевський Б.В., Пожарная профилактика в строительстве. - Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1985 г., С. 177-182
3. Куценко Л.Н., Арендарчук А.В. Метод вычисления угловых коэффициентов излучения для исследований радиационного теплообмена между телами сложных пространственных форм // Инженерно-физический журнал, т.54, N 4, 1989, С.690-691.
4. Куценко Л.Н., Шоман О.В. Приближенный метод вычисления локальных угловых коэффициентов излучения // Прикладна геометрія та інженерна графіка. - К.: КДТУБА, 1996. - Вип. 60. - С. 46-49.
5. Попов В.М. Оцінка теплового потоку, що випромінюється еліпсоїдом обертання як факелом полум'я // Проблеми пожарной безопасности. Харьков: Фолио, 2000. Вып. 8. - С. 131-134.
6. Попов В.М., Куценко Л.М., Семенова-Куліш В.В. Метод оцінки теплового потоку, що випромінюється еліпсоїдом як факелом полум'я. - Харків: ХІПБ МВС України, 2000. - 144 с.

УДК 681.518.3

*Швец С.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Рудаков С.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ*

## **МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ**

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

Предлагается использовать в решении задачи синтеза структуры подсистем диспетчерской службы модифицированный показатель эффективности, который учитывает влияние стратегии периодического обслуживания

**Ключевые слова:** модифицированный показатель эффективности, абсолютный эффект, стратегия обслуживания

**Постановка проблемы.** В Украине начало работ по созданию единой государственной диспетчерской службы экстренной помощи населению "112" ("Служба 112") приобрело особую актуальность с началом реформирования системы общественной безопасности страны и создания единой многофункциональной аварийно-спасательной службы. В соответствии с Общегосударственной программой развития гражданской защиты на 2009-2013 гг. до 2012 года запланировано создание диспетчерских пунктов, объединенных в единую систему.

Значимость создания в Украине единой государственной диспетчерской службы неоспорима, поскольку она является основой всей службы общественной безопасности. Чрезвычайные ситуации, угрожающие жизни и здоровью людей, возникают все чаще и требуют от служб экстренного реагирования предельно быстрых, точных и скоординированных действий. На счету каждая минута и ждущие помощи люди вправе рассчитывать, что время реакции служб будет минимальным.

Одним из основных элементов системы станет многоканальный центр обработки вызовов, на который будут замыкаться соединенные в единую систему диспетчерские и дежурные службы различных ведомств. Сюда же будут поступать звонки жителей (в перспективе по номеру "112") и другие сигналы о происшествиях, в том числе данные систем мониторинга (например, газоанализаторов с предприятий повышенной опасности). Здесь же в базах

данных будут собраны информационные "паспорта" на все городские объекты, схемы расположения инженерных и электрических сетей и множество других данных, необходимых для управления жизнедеятельностью города, особенно в чрезвычайной ситуации. Предполагается, что система будет работать в трех режимах: повседневной деятельности, повышенной готовности и чрезвычайной ситуации.

Объединение в единую информационную систему диспетчерских и оперативных служб различных ведомств, создание базы данных и другие организационные задачи потребуют решения комплекса взаимосвязанных проблем [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Разработка теоретических проблем, решение практических задач, связанных с организацией единой государственной диспетчерской службы экстренной помощи населению "112" в чрезвычайных ситуациях на Украине предполагает всесторонний анализ достижений, имеющихся в данной области в наиболее развитых странах мира.

Почти во всех странах мира для решения подобных задач существуют службы оказания помощи населению в чрезвычайных ситуациях. Выделяют следующие для всех таких ситуаций требования: высокая скорость реагирования; комплексный характер помощи; эффективность оказания помощи [2].

Основным противоречием при создании подобных систем является объединение отдельных субъектов управления в единую систему при наличии у данных субъектов различных объектов управления (эффективность управления аварийно-спасательными подразделениями и муниципальными службами), что само по себе является неверным [3].

В большинстве работ [4-6] рассматривается классический индуктивный подход к построению данных систем, т.е. формирование системы происходит путем слияния ее компонентов, разрабатываемых отдельно. Данные исследования не позволяют использовать основное преимущество системного подхода: увидеть изучаемый объект как комплекс взаимосвязанных подсистем, объединенных общей целью, раскрыть его интегративные свойства, внутренние и внешние связи.

**Постановка задачи и ее решение.** В [1] предложен подход к синтезу рациональной структуры системы "Служба 112" на основе обобщенного показателя эффективности при сведении исходной

многокритеріальної задачі к класу задач дискретної оптимізації.

Суть підходу заключається в визначенні порівняльного ефекта від різниці абсолютних ефектів запропонованого варіанта структури системи "Служба 112" і базового.

Для рішення даної задачі пропонується використовувати модифікований узагальнений показник ефективності, який враховує вплив стратегій обслуговування. Абсолютний ефект від впровадження проектуваного варіанта структури системи для стратегії періодичного обслуговування описується співвідношенням (1), яке враховує наявність фактичного корисного результату від застосування по призначенню системи "Служба 112". Показник має дві складові: перша залежить від рішення  $i$ -ї задачі в процесі експлуатації системи, друга обмежена безпосереднім використанням технічних засобів і вибором стратегії періодичного обслуговування при контролі параметрів підсистем. Перша складова характеризується власне процесом експлуатації  $i$ -ї підсистеми, параметрами самої підсистеми і показниками якості процесу експлуатації  $i$ -ї підсистеми. Значення другої складової для стратегії періодичного обслуговування  $i$ -ї підсистеми в загальному випадку залежить від умовної дискретної випадкової величини – очікуваного часу затримки виконання задачі  $i$ -ї підсистемою через її перебування на обслуговуванні внаслідок можливих ложних і істинних відмов.

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_n = & \sum_{i=1}^n P_i k_{zi} \prod_{j=1}^N \left( 1 - (\beta_{ij} + (1 - \beta_{ij}) P_{1ij}) \right) \times \left( \frac{1 - P_{2ij}}{P_{1ij} [P_{1ij} + P_{2ij}]} \right) \times \\ & \times \sum_{j=1}^L P_{ij} \sum_{k=1}^M P_{ijk} (PP_{ijk} - Z_{ijk}) + \sum_{j=0}^Z P_{ij} (PP_{cnij}(t_{zij})) P_{ij}(t_{zij}) PP_{cnbij}(t_{zij}) - \\ & - \sum_{j=0}^S P_{ij} (Z_{cnij}(t_{zij})) P_{ij}(t_{zij}) Z_{cnbij}(t_{zij}) \times \prod_{j=1}^V \exp(-(\lambda_{zij} + \lambda_{cij}) t_{zij}) - \\ & - (P_u (Z_u + (K_p + E) K + Z_{знк})), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $P_i$  – априорна ймовірність вимоги на виконання відповідної підсистемою  $i$ -ї задачі;  $k_{zi}$  – коефіцієнт готовності  $i$ -ї підсистеми;  $\beta_{ij}$  – ймовірність прихованого відмови  $j$ -ї



компоненты  $i$ -той подсистемы;  $P_{1ij}$  – вероятность нахождения  $j$ -той компоненты  $i$ -той подсистемы в исправном и работоспособном состоянии;  $P_{2ij}$  – вероятность нахождения  $j$ -той компоненты  $i$ -той подсистемы в состоянии применения со скрытым отказом;  $P_{ij}$  – вероятность нахождения  $i$ -той подсистемы в каждом из  $j$ -состояний в процессе эксплуатации;  $P_{ijk}$  – вероятность перехода  $i$ -той подсистемы из состояния  $j$  в состояние  $k$  в процессе решения текущей задачи;  $PP_{ijk}, Z_{ijk}$  – стоимостное выражение фактического полезного результата и затрат, получаемых от применения по назначению  $i$ -той подсистемы при переходе из состояния  $j$  в состояние  $k$ ;  $PP_{cnij}(t_{zij}), Z_{cnij}(t_{zij})$  – составляющие фактического полезного результата и затрат  $j$ -той компоненты  $i$ -той подсистемы для  $t_{zij}$ -того времени обслуживания;  $PP_{cnbij}(t_{zij}), Z_{cnbij}(t_{zij})$  – безусловная составляющая фактического полезного результата и затрат  $j$ -той компоненты  $i$ -той подсистемы для  $t_{zij}$ -того времени обслуживания;  $\lambda_{яij}, \lambda_{сij}$  – интенсивности появления явного и скрытого отказов  $j$ -той компоненты  $i$ -той подсистемы;  $t_{pij}$  – продолжительность наблюдения появления явных и скрытых отказов;  $P_{ij}(t_{zij})$  – вероятность обслуживания  $i$ -той подсистемы продолжительностью  $t_{zij}$  по причине ложного и скрытого отказов;  $P_u$  – вероятность принятия на эксплуатацию системы "Служба 112";  $Z_u$  – текущие годовые издержки на эксплуатацию системы "Служба 112";  $K_p$  – норма реновации (обновления) компонент системы "Служба 112";  $K$  – нормативный коэффициент экономической эффективности;  $E$  – единовременные затраты при вводе в эксплуатацию системы "Служба 112";  $Z_{зпк}$  – фонд заработной платы обслуживающего персонала.

Исходя из анализа (1) получены следующие результаты:

1. При минимальном значении ожидаемого времени задержки составляющая фактического полезного результата для периодической стратегии обслуживания – максимальна, а при минимальном времени – не минимальна. Такая зависимость определяет наличие безусловной составляющей фактического полезного результата для стратегии периодического обслуживания  $i$ -той подсистемы. Наличие данной составляющей определяется случайным ее характером.

2. Структура затрат в выражении (1) формируется в установленном режиме эксплуатации системы. Стоимостное выражение затрат на обслуживание является дискретной случайной величиной, зависящей от времени  $t_{zij}$ . Возникновение затрат на проведение мероприятий обслуживания из-за ложных и истинных отказов требует использования их средневероятностного значения и является условным событием, зависящим от безусловной составляющей.

3. Вероятностные характеристики учитывают надежность применяемых средств, методы получения информации об отказах, методы восстановления.

4. В структуру абсолютного эффекта вовлечены необходимые начальные затраты, обусловленные эксплуатационными издержками. Они имеют вероятностную зависимость от принятия решения на ввод в эксплуатацию конкретного варианта структуры системы "Служба 112".

**Выводы.** Использование модифицированного показателя эффективности синтеза подсистем системы "Служба 112", учитывающего периодичность обслуживания системы при наличии ложных и истинных отказов, позволит обеспечить скорейшую интеграцию аварийно-спасательных служб и становление единой службы спасения. Создание эффективной государственной диспетчерской службы является важнейшим этапом в организационном проектировании всей службы спасения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Швец С.В., Миргород О.В. Обобщенный показатель эффективности синтеза структуры единой государственной диспетчерской службы экстренной помощи населению "112".// Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 9. – Харків: УЦЗУ, 2009. – с. 164-169.
2. Попов А.П., Каменев С.П. Все уровни оповещения // Противопожарные и аварийно-спасательные средства. – 2004, №1. – С.36-44.
3. Шатров В.Ф., Силантьев А.Ю. Ситуационные центры. Информационное обеспечение решений на высшем уровне управления.// Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий. Часть 2. Имитационное моделирование и конфликтология./

- Материалы Международной конференции и Российской научной школы. – М.: Радио и связь, 2003. – с. 8-17.
4. Кудинов А.В., Марков Н.Г. Геоинформационные технологии в управлении пространственными инженерными сетями. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. –176 с.
  5. Герке В.Г., Ефремов В.А. Подсистема потокового моделирования комплекса диспетчерского управления потоками газа в Единой системе газоснабжения России.// Развитие компьютерных комплексов моделирования, оптимизации режимов работы систем газоснабжения и их роль в диспетчерском управлении технологическими процессами в газовой отрасли: Матер. 1-й Междунар. научно-практ. конфер. – М: ООО "ИРЦ Газпром", 2004. –Т. 1. – с. 30-38.
  6. Богдан С.А., Кудинов А.В., Марков Н.Г., Мирошниченко Е.А., Острасть П.М., Родикевич С.С. Автоматизация процессов диспетчерского управления нефте- и газотранспортными сетями.// Межвузовский сб. научно-техн. трудов "Автоматизированное управление и информационные технологии". Вып. 1. -Томск: Изд-во ТПУ, 2005. -С. 56-64.

## УДК 614. 84

*Шило С.Г., канд. техн. наук, ст. викл., УЦЗУ,  
Щербак Г.В., канд. техн. наук, заст. нач. каф., УЦЗУ,  
Павленко М.А., канд. техн. наук, ст. викл., ХУПС*

### **АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРА ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОЇ СЛУЖБИ МНС**

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

Запропоновано аналітичну модель оцінки надійності оператора оперативно-диспетчерської служби МНС, шляхом проведення розрахунків доведено практичну значимість та адекватність моделі.

**Ключові слова:** аналітична модель, надійність, оператор оперативно-диспетчерської служби

**Постановка проблеми.** Оперативно-диспетчерська служба (ОДС) МНС являє собою складну ергатичну систему, що включає

обов'язкові технічну, програмну та особистісну (оператори ОДС) компоненти. Ефективність роботи ОДС залежить від надійності (працездатності) всіх трьох компонент. Але безпомилковість виконання функціональних обов'язків операторами ОДС являється необхідною і обов'язковою умовою забезпечення ефективної діяльності ОДС. Дослідження надійності функціонування людини-оператора ОДС є актуальною задачею, що потребує вивчення та розв'язання.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питанням надійності функціонування комплексів технічних та програмних засобів присвячена достатня кількість наукових публікацій, як вітчизняних так і зарубіжних авторів [1-9]. Властивості надійності, працездатності операторів в складних ергатичних системах вивчені в недостатньому обсязі, що зумовлено еволюційним розвитком таких систем та їх суттєвим ускладненням, особливо в останній час, коли стрімко впроваджуються новітні інформаційні технології. Крім того недостатнє вивчення властивостей людини-оператора в екстремальних ситуаціях зумовлено багатofакторністю та складністю процесів її діяльності, що потребує побудови більш адекватних аналітичних моделей.

**Постановка завдання та його вирішення.** Кожна з трьох зазначених компонент ОДС МНС, перед безпосереднім застосуванням за призначенням, обов'язково проходить початковий етап свого життєвого циклу: технічні засоби — етап доопрацювання та дослідної експлуатації; програмні засоби — етап налагодження та тестування; людина-оператор — етап адаптації до майбутньої професійної діяльності. Для оператора даний етап зводиться до навчання визначеній діяльності, адекватній поведінці, або до відпочинку для відновлення розумової та фізичної працездатності, тренуванню і т. ін. Інакше — організм людини-оператора володіє більш широким спектром властивостей, загальною рисою яких є можливість навчання, адаптації його до визначеного виду діяльності. Тому і подання безпомилковості діяльності людини-оператора за допомогою аналітичних моделей може бути вельми різноманітним.

Розглядається випадок побудови аналітичної моделі для ситуації коли відновлення ресурсу працездатності людини передуює його витраті. Така ситуація є характерною для більшості видів діяльності оператора ОДС. Ситуація відновлення ресурсу іррегулярно, тобто в процесі діяльності людини-оператора або через неве-

ликі проміжки часу, що характерно для нештатних ситуацій діяльності ОДС, потребує побудови багатofакторних моделей і в даній роботі не розглядається.

Обґрунтовано, з точки зору практичних застосувань, приймемо припущення, що процес навчання людини-оператора (адаптації до майбутньої професійної діяльності) знижує можливість виникнення помилкових дій в майбутньому. В якості кількісної міри такої події приймемо ймовірність попередження відмови організму людини-оператора в процесі його функціональної діяльності за час  $t$ . Нехай оператор проходив навчання на протязі відрізка часу  $\tau$ , за сукупності умов навчання  $\zeta$ . З фізичних міркувань витікає що значення даної ймовірності має бути тим меншим, чим більший проміжок часу  $\tau$  і чим жорсткіші вимоги комплексу умов навчання  $\zeta$ .

В загальному випадку враховуємо, що організм людини-оператора і в процесі навчання (як і в процесі основної функціональної діяльності) може втрачати свою працездатність. Тому умовна ймовірність успішної діяльності оператора за час  $t$ , за умови що він на протязі проміжку часу  $\tau$  навчався в умовах  $\zeta$  складе

$$P_y = \frac{P(t + x(\tau)\varepsilon)}{P(x(\tau)\varepsilon)}, \quad (1)$$

де  $P(t, \varepsilon)$  — безумовна ймовірність успішної діяльності оператора в умовах  $\varepsilon$ ;  $x(\tau)$  — інтервал часу працездатності оператора в умовах  $\varepsilon$ , який еквівалентний по витраті ресурсу працездатності оператора за час  $\tau$  в умовах  $\zeta$ .

Міра еквівалентності може бути перерахована на основі обраної відомої моделі перерахунку величини ресурсу, наприклад [2]. Якщо  $x(\tau) = 0$ , то при  $t = 0$  організм людини-оператора повністю працездатний після закінчення процесу навчання (новий організм). Крива інтенсивності його відмов для цього випадку буде зсунута відносно початкового положення праворуч по вісі часу на величину  $\tau$ . Форма кривої інтенсивності відмов залишиться незмінною. Якщо  $x(\tau) = 0$  то при  $t = 0$  організм людини-оператора залишається працездатним, але інтенсивність його відмов в момент  $t = 0$  дорівнює інтенсивності відмов в момент  $\tau$  (старий організм). Зсуву кривої праворуч не відбувається. У випадку часткової

втрати працездатності крива інтенсивності відмов зсувається праворуч на величину  $x(\tau)$ ,  $0 < x(\tau) \ll \tau$ .

З виразу (1) інтенсивність відмови

$$\lambda_0(t, \tau) = \lambda(t + x(\tau), \varepsilon), \quad (2)$$

де  $\lambda(t, \varepsilon)$  - інтенсивність відмови при відсутності навчання оператора.

Виходячи з припущень, інтенсивність відмови організму оператора, за умови його навчання, буде мати вид

$$\Lambda(t, \varepsilon) \approx P(\tau, \zeta) \lambda(t + x(\tau), \varepsilon). \quad (3)$$

Таким чином побудова моделі інтенсивності відмови (3) формально зводиться до зменшення безумовної інтенсивності відмови організму оператора  $P(\tau, \zeta)$  та зсуву кривої інтенсивності відмов праворуч на величину  $x(\tau)$ , що відображує процеси навчання та оновлення ресурсу організму людини-оператора.

Якщо (3) розглядати як провідну функцію потоку відмов на вісі часу, то відповідний випадковий процес типу відновлення можна віднести до класу нестационарних процесів квазіпуасонівського типу процесів індексу  $\tau$ .

В подальшому розгляді підлягає випадок, коли організм людини-оператора після процесу навчання є повністю відновленим. Окрім того, якщо  $\lambda(t, \varepsilon) = \lambda(\varepsilon) = const$ , то передісторія існування процесу до моменту часу  $t = 0$  не впливає на його подальшу поведінку, але інтенсивність відмови, як і раніше, буде зменшуватись в  $P_K(\tau, \zeta)$  разів.

Визначимо  $P_K(\tau, \zeta)$  як керуючу функцію інтенсивності відмови організму людини-оператора. Визначимо принципи її побудови. Покладемо, що оператор до початку виконання функціональних обов'язків навчався на протязі інтервалу часу  $\tau$  в умовах  $\zeta$ . Використавши ансамблеву модель випробувань припустимо що на випробування відібрано  $N_0$  однотипних, за складом функціональних дій, операторів, помилки в роботі яких можуть бути усунені. За час  $\tau$  можуть бути усунені похибки в діях у  $n(\tau)$  операторів. Відповідно,  $N_0 - n(\tau)$  - число операторів, похибки яких усунені

бути не можуть, а  $P_K(\tau) = \frac{1 - n(\tau)}{N_0}$  - ймовірність події, що за час  $\tau$  похибка оператора усунена не буде. Інтенсивність появи похибки в діях оператора за інтервал часу  $\tau$  знаходиться як

$$v(\tau) = -\frac{P'_K(\tau)}{P_K(\tau)}. \quad (4)$$

Диференціальне рівняння (4) за початкової умови  $P_K(\tau) = 1$ , з врахуванням комплексу умов навчання  $\zeta$  має вид

$$P_K(\tau, \zeta) = \exp \left\{ -\int_0^{\tau} v(z, \zeta) dz \right\}. \quad (5)$$

Даний вираз визначає ймовірність не усунення похибки оператора, яка в майбутньому може виникнути за умови відмови організму оператора, при навчанні його протягом інтервалу часу  $\tau$  в умовах навчання  $\zeta$ . При цьому інтенсивність похибки визначається як відносна швидкість її виявлення та усунення. Вона визначається як відношення числа виявлених на короткому інтервалі часу похибок за одиницю часу до середньої кількості операторів, які залишилися працездатними до моменту часу  $\tau$ .

Запропонований підхід, порівняно з відомими, є більш об'єктивним, оскільки він безпосередньо не пов'язаний з числом похибок, що отримані в виразах. Якість навчання оператора визначається лише імовірністю, яка залежить від тривалості навчання  $\tau$  та комплексу умов навчання  $\zeta$ , і, на відміну від методу статистичних випробувань, величина  $N_0$  потрібна тільки для обґрунтування знаходження ймовірності  $P_K(\tau, \zeta)$ . Сутність запропонованої моделі полягає в тому, що відносне потенційне число похибок оператора в майбутньому, після навчання, зменшується в  $P_K(\tau, \zeta)$  разів.

У відповідності до припущення, що ресурс працездатності оператора відновлюється повністю, після його навчання ймовірність успішного виконання функціональних завдань за час  $t$  складе

$$P_0(t, \tau) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz \exp \left\{ - \int_0^\tau \nu(u, \zeta) du \right\} \right\}. \quad (6)$$

Показник першої експоненти являє собою ресурс працездатності (надійності) оператора

$$R(t, \varepsilon, \tau, \zeta) = \int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz \exp \left\{ - \int_0^\tau \nu(u, \zeta) du \right\}, \quad (7)$$

де  $\int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz = r(t, \varepsilon)$  - відпрацьований ресурс працездатності оператора за час  $t$ , в умовах  $\varepsilon$ .

Величина  $\theta(t, \zeta) = \int_0^\tau \nu(u, \zeta) du$  являє собою відновлений ресурс працездатності, отриманий оператором в процесі навчання за період  $\tau$  в умовах  $\zeta$ . Для складових отриманих виразів (6) та (7) доцільні наступні подання

$$P_0(t, \tau) = \exp \{ -r \exp \{ -\theta \} \} = P_0(r, \theta), \quad (8)$$

$$R(t, \theta) = r \exp \{ -\theta \}. \quad (9)$$

Аналіз отриманих моделей дозволяє стверджувати, що надійність оператора залежить від ресурсу працездатності. Вона буде тим меншою, чим більше вироблений ресурс  $r$ , і тим більшою, чим більше відновлений ресурс  $\theta$ .

З чого слідує принцип працездатності оператора: працездатність оператора в майбутньому залежить від величини ресурсу працездатності  $R(r, \theta)$  та не залежить від того, яким шляхом він отриманий.

Математично даний принцип може бути поданий у наступним чином

$$P_0(t, \varepsilon; \theta / t_1, \varepsilon_1; \theta_1) = P_0(t, \varepsilon; \theta / t_2, \varepsilon_2; \theta_2), \quad (10)$$

за умови  $P_0(t, \varepsilon; \theta_1) = P_0(t_2, \varepsilon_2; \theta_2)$ .

Або, в залежності від ресурсу



$$P_0(R/R_1) = P_0(R/R_2), \quad (11)$$

за умови  $P_0(R_1) = P_0(R_2)$ .

**Висновки.** Запропонована аналітична модель оцінювання надійності людини-оператора, що є ймовірно близькою до моделі надійності технічних та програмних засобів. Відмінність запропонованої моделі від існуючих є формулювання та опис імовірного ресурсу працездатності людини-оператора у вигляді двох взаємопротилежних за напрямом дії складових. Перша – подається у вигляді ресурсу, що витрачається, а друга – як відновлюваний ресурс працездатності людини оператора.

Процес відновлення ресурсу працездатності оператора подано квазіпуасоновським потоком, який зручно використовувати для ряду практичних застосувань, нарівні з управляємими напівмарківськими процесами. До недоліків даного подання можна віднести, що деякі характеристики, наприклад щільність імовірності та функцію відновлення для практичних застосувань аналітично визначити не вдається. Але це не заважає отримувати практичні результати для штатного режиму роботи операторів оперативно-диспетчерської служби МНС.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Абраменко Б.С., Маслов А.Я., Немудрук Л.Н. Эксплуатация автоматизированных систем управления. – СПб., 1984. – 484 с.
2. Кокс Д.Р., Смит В.Л. Теория восстановления. – М.: Сов. радио, 1967.
3. Каштанов В.А. Полумарковские модели процесса технического обслуживания. – М.: Знание, 1987. – 91 с.
4. Mysa J. A theory of software reliability and its application // IEEE Trans. on software Eng., vol.SE-1, Sept. 1975. – P.312-327.
5. Половко А.М. Основы теории надёжности. – М.: Наука, 1964. – 446 с.
6. Смагин В.А. Физико-вероятностные модели прогнозирования надёжности изделий на основе формирования испытаний // Надёжность и контроль качества. – 1998. - № 4. – С.15-23.
7. Войтович С.А., Шило С.Г., Руденко В.М., Павленко М.А. Інформаційна модель процесу навчання // Збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2006. - № 4 (102). – С. 25-29.

8. Іванов С.Г., Іванов Л.С., Руденко В.М., Шило С.Г. Основи технічної експлуатації АСУ // Навчальний посібник. - Х.: ХУ ПС, 2007. – 308 с.
9. Шило С.Г., Борозенець І.О., Феценко А.Б. Модель оцінки оперативної обстановки надзвичайної ситуації оперативно-диспетчерською службою МНС. Збірник наукових праць. УЦЗ України. Вип. 9. – Х.: УЦЗУ, 2009. С.170-176.

## УДК 504.056

*Яковлева І.О., канд. техн. наук, проф., УЦЗУ,  
Паніна О.О., викл., УЦЗУ,  
Гусева Л.В., викл., УЦЗУ*

### **МЕТОДИКА ОЦІНКИ РИЗИКУ МЕТОДАМИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ** (представлено д-ром техн. наук Бодянським Е.В.)

Запропонована методика дозволяє визначити інтегральний параметр, який як комплексний критерій дає оцінку потенційної небезпеки різної фізичної природи (пожежонебезпечність, токсичність, вибухонебезпечність, чинники відмови устаткування, т.д.). Інтегральний параметр дає можливість порівнювати потенційну небезпеку одного об'єкту з потенційною небезпекою іншого.

**Ключові слова:** методика, оцінка ризику аварій, інтегральний критерій

**Постановка проблеми.** У існуючому українському законодавстві в області промислової безпеки відсутня єдина методологія для визначення і порівняння небезпек різних небезпечних виробничих об'єктів і небезпек різної фізичної природи. Визначення узагальнюючого параметра як комплексного критерію оцінки потенційної небезпеки дозволить обґрунтувати ухвалення рішення по зосередженню і нормуванню на виробничих площах великих об'ємів вибуховопожежонебезпечних і токсичних продуктів, розміщенню небезпечних об'єктів (НО) щодо населених пунктів і зрештою, дозволить управляти небезпекою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З погляду перспективи подальшого розвитку суспільства слід передбачати майбутні загрози, комплексно вивчати існуючі техногенні небезпеки,

*Яковлева І.О., Паніна О.О., Гусева Л.В.*

в подальшому нормувати і регулювати небезпеку [8]. У світовій спільноті, особливо в країнах з розвинутою економікою, починаючи з 1980-х років, відбулася зміна акцентів державної політики у бік вирішення завдань по зниженню природних і техногенних ризиків, пом'якшенню наслідків ЧС. По розрахунках міжнародних експертів і вчених РАН, необхідні витрати на прогнозування і забезпечення готовності до катастроф в 10-15 разів менше величини збитку від них [9].

Для кількісної характеристики безпеки об'єктів введений показник ризику [10-11]. Ризик - міра небезпеки. Небезпека (техногенна) - стан, що внутрішньо властивий технічній системі, промисловому об'єкту, реалізовується у вигляді вражаючих дій джерела техногенної надзвичайної ситуації на людину і навколишнє середовище при його виникненні, або у вигляді прямого або непрямого збитку для людини і навколишнього середовища в процесі нормальної експлуатації цих об'єктів [1] або, іншими словами, небезпека - можливість спричинення збитку кому-небудь або чому-небудь. Кількісно ризик оцінюється показниками: індивідуальний ризик; колективний ризик; соціальний ризик; потенційний територіальний ризик.

**Постановка завдання та його вирішення.** Початковим етапом оцінки ризику є аналіз технології, специфіки його окремих елементів, а також ідентифікація характерних джерел потенційної небезпеки, здатних привести до нештатної ситуації. Оцінка небезпеки при експлуатації технологічних установок НО безпосередньо пов'язана з показниками надійності і залишкового ресурсу окремих апаратів і всієї установки в цілому. Найбільш важливим питанням є визначення допустимих термінів подальшої експлуатації небезпечного об'єкту [2].

Одним з основних показників надійності об'єкту є вірогідність безвідмовної роботи на деякому тимчасовому інтервалі або функція надійності [3]. Безвідмовність – це властивість устаткування безперервна зберігати працездатність протягом деякого періоду часу або безперервного напрацювання. Основним показником безвідмовності виробу є вірогідність безвідмовної роботи  $P(t)$  – вірогідність того, що в заданому проміжку часу, рівному  $t$  не виникне відмови.

Функцією ризику аварії із-за відмови нормального функціонування об'єкту називають вірогідність відмови  $F(t)$

$$F(t) = 1 - P(t). \quad (1)$$

Вірогідність безвідмовної роботи  $P(t)$  і вірогідність відмови  $F(t)$  утворюють повну групу подій

$$P(t) + F(t) = 1, \quad (2)$$

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(\xi) d(\xi)\right), \quad (3)$$

$$\lambda(t) = -P'(t)/P(t), \quad (4)$$

де  $\lambda(t)$  – інтенсивність відмов, яка дорівнює вірогідності того, що після безвідмовної праці до моменту часу роботи  $t$  аварія відбудеться в подальшому малому відрізку часу [3].

Досвід показує, що після невеликого початкового періоду експлуатації функція  $\lambda(t)$  тривалий період достатньо стабільна. Вплив корозійного зносу, втоми, повзучості і інших пошкоджень виключається регламентацією термінів служби устаткування.

Враховуючи період нормального функціонування  $\lambda(t) = \text{const}$ , з (3) отримуємо експоненціальний розподіл

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (5)$$

Причому,  $\bar{\theta} = 1/\lambda$  – математичне очікування терміну служби (ресурсу) або середнє напрацювання на відмову. Функцію ризику можна записати у вигляді

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda/\bar{\theta}). \quad (6)$$

При функції надійності у вигляді (5) частота відмов в системі однотипних об'єктів відповідає дискретному розподілу Пуассона

$$Q(N, \lambda t) = \frac{(\lambda t)^N}{N!} \exp(-\lambda t). \quad (7)$$

Згідно даній формулі, аварії на тимчасовому інтервалі відбудуться  $N$  разів з вірогідністю  $Q(N, \lambda t)$ , а відсутність аварійних ситуацій – з вірогідністю

$$Q(0, \lambda\tau) = \exp(-\lambda\tau). \quad (8)$$

Отже, прогнозування аварійних ситуацій методами теорії надійності можливо на основі статистики. Інформаційними джерелами статистики відмов устаткування нафтозаводу є журнали обліку напрацювань, пошкоджень і відмов, дані первинних і звітних хронокарт, технологічні і звітні документи підрозділів. У табл. 1 приведена статистика відмов при нормальній роботі елементів промислового устаткування.

Оцінка ризику аварій виконується згідно [4] шляхом визначення вигляду, наслідків і категорії відмов, розглядаються варіанти найбільш небезпечної по наслідках аварійної події і найбільш вірогідної аварійної події. По конкретному виду устаткування знаходиться сумарний по НО ресурс безаварійної роботи. Величина параметра потоку аварійної відмови, таким чином, дорівнює

$$\lambda = 1/\tau, \quad (9)$$

де  $\tau$  – час безаварійної роботи об'єкту.

**Таблиця 1 – Середні значення параметра  $\lambda$  для устаткування підприємств вибухонебезпечних виробництв [2]**

<b>Елемент устаткування</b>	<b><math>\lambda \cdot 10^6, \text{ч}^{-1}</math></b>
Засувки клапанів	5,1
Клапани важелі	4,5
Клапани дренажні	0,224
Манометри	1,3
Мотори гідравлічні	4,3
Насоси з машинним приводом	8,74
Прокладки пластмасові	0,05
Прокладки гумові	0,02
Регулятори тиску	4,25
Резервуари гідравлічні	0,15
Сильфони	2,287
З'єднання гідравлічні	0,03
З'єднання пневматичні	0,04
Трубопроводи	1,1
Шланги високого тиску	3,93
Запобіжні мембрани	0,0112

Припустимо, є НО, що має в складі різне устаткування: колонне, пічне, теплообмінне, насосне. Вважатимемо, що технологічна установка знаходиться в справному стані, коли справні всі апарати. Таким чином, відмова всієї установки настає тоді, коли відмовить хоч би один апарат.

Основою розрахунків критеріїв надійності апаратів і технологічних ліній (установок) є статистична обробка результатів спостережень за розподілами відмов і часу ремонту апаратів одного вигляду, умови експлуатації яких приблизно однакові [5]. Отримання даних по  $n$  апаратах або технологічних лініях, де  $n$  – достатньо для статистичних розрахунків, надзвичайно важке завдання. Перед статистичною обробкою необхідно провести угруповання отриманих даних за умовами експлуатації і відпрацьованим часом початку експлуатації.

Приведемо показники надійності устаткування (табл. 2). Ці дані були зібрані і отримані М.А. Шаталіною [6] на основі аналізу журналів пробігів устаткування, ремонтних карт. Приведені показники надійності (табл. 2) дають уявлення про те, наскільки конструкція, технологія і умови експлуатації забезпечили бажані показники надійності і можуть бути застосовані до аналогічного устаткування. Визначення вагомості чинників, які складають інтегральний параметр, можливо методом експертних оцінок.

**Таблиця 2 – Показники надійності устаткування**

<b>Устаткування</b>	<b>Вірогідність безвідмовної роботи</b>	<b>Середнє напрацювання на відмову, добу</b>
Колонне	0,705	735
Теплообмінне	0,309	721
Пічне	0,319	386
Насосне	0,524	154

Зрозуміло, що небезпека при експлуатації технологічних установок нерівнозначна. Одні об'єкти пожежонебезпечні, інші – вибухонебезпечні. Товарні парки з нафтопродуктами більшою мірою пожежонебезпечні, в той же час токсичне навантаження складів і парків хімічних реагентів представляє ще більшу небезпеку в порівнянні з пожежною небезпекою.

Для визначення вагомості кожного з цих чинників був використаний метод експертних оцінок – метод апіорного ранжирування (опитування експертів-фахівців з певної теми, причому число експертів повинно бути таке, щоб можна було застосувати методи статистики для обробки результатів опитування). У анкеті для опитування зазвичай указуються найменування чинників, їх розмірності, способи визначення, можливі області вимірювання. Фахівців просять проранжувати чинники по ступеню їх важливості так, щоб найважливіший (перший з погляду фахівця) чинник отримав ранг 1, наступний за ним – ранг 2, і так далі [7].

Якщо фахівець вважає два або декілька чинників рівнозначними, він ставить їм однакові ранги. В цьому випадку вводять, так звані, «зв'язані ранги» і проводять переформовування рангів. Суми рангів будуть основними показниками сили впливу чинників на властивість, що вивчається. Первинні і переформовані результати опитів повинні бути адекватні. В цьому випадку можна користуватися будь-якими з них. Якщо результати неадекватні, необхідно провести анкетування знову.

Наступним етапом є перевірка наявності узгодженості в думках фахівців. Перш за все, перевіряють гіпотезу про рівномірність розподілу думок фахівців. Гіпотеза про рівномірний розподіл думок експертів відкидатиметься у тому випадку, коли  $\chi^2_{розрах}$ , буде більше  $\chi^2_{табл}$  при вибраному рівні значущості  $\alpha$  і числі мір свободи  $f = J - 1$ .

Гіпотезу про наявність згоди в думках фахівців перевіряють за допомогою коефіцієнта конкордації Кендела

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^n \Delta_j^2}{m^2 (K^3 - K)}, \quad (10)$$

де  $\sum_{j=1}^n \Delta_j^2$  – сума квадратів відхилень суми рангів кожного експерта від загальної середньої суми рангів;  $m$  – число фахівців.

Коефіцієнт конкордації міняється від 0 (відсутність якої-небудь згоди в думках привернутих експертів) до 1 (повна згода) [7].

У опитуванні беруть участь фахівці різної кваліфікації, тому необхідно врахувати їх компетентність. Для цього існують різні

прийоми, але, найпоширеніший з них – ранжування фахівців, що брали участь в опитуванні. При цьому враховується кваліфікація, стаж і досвід роботи. Пропорційно сумі рангів, яку отримує той або інший фахівець, для кожного з них встановлюють його «вагу» –  $\delta$ . Самий досвідчений експерт отримує вагу  $\delta = 2$ , найменш досвідчений –  $\delta = 1$ .

Для встановлення ваги решти експертів використовуємо вирішення лінійного рівняння

$$\delta_i = a + b \sum_{h=1}^m \alpha_{ih} . \quad (11)$$

Підраховуємо по цьому виразу «ваги» експертів ( $\delta_i$ ). Тепер основними показниками сили впливу чинників на досліджувану властивість можна буде рахувати «зважені» суми рангів  $\sum_{i=1}^m \alpha_{ij} \delta_i$ . З урахуванням ваги фахівців коефіцієнт конкордації підраховують по формулі

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^n \Delta_j^2}{m^2 (K^3 - K) \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \right)} . \quad (12)$$

Результатом дослідження повинен стати узагальнюючий параметр, що характеризує конкретну установку конкретного підприємства отриманий з виразу

$$J_0 = \sum J_i * g_i / 25 , \quad (13)$$

де  $J_i$  – бал  $i$ - того чинника ( $1 < J < 5$ );  $g_i$  – значущість  $i$ - того чинника, який оцінює фахівець (експерт).

**Висновки.** Інтегральний критерій враховує вибухонебезпеку, пожежонебезпеку, токсичність речовин, що переробляються, експлуатаційну надійність устаткування. Ваговитості кожного чинника, які визначаються експертним шляхом, дозволять обґрунтовувати ухвалення рішення по зосередженню і нормуванню на виробничих площах великих об'ємів вибуховопожежонебезпечних



і токсичних продуктів, розміщенню небезпечних об'єктів щодо населених пунктів і зрештою, дозволять управляти безпекою.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 22.0.05-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения.
2. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Под ред. Кочетова К.Е., Котляревского В.А., Забегаева А.В. Кн.1. М.: Изд. Ассоциации строительных ВУЗов, 1995 г. с. 159, 165, 193.
3. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Под ред. Кочетова К.Е., Котляревского В.А., Забегаева А.В. Кн. 2, М: Изд. Ассоциации строительных ВУЗов, 1996 г. с. 6, 19, 179, 183.
4. Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов. РД 03-418-01 . М: 2001
5. Зубова А.Ф. Надежность машин и аппаратов химических производств. Л.: Машиностроение, 1978. с215
6. Шаталина М.А. Экономическая оценка повышения надежности функционирования технических систем, дисс. канд. техн. наук. Уфа,: УГНТУ, 2000.
7. Новик Ф.С, Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение, 1980г. 35-58,282.
8. Белов СВ., Ильницкая А.В., Козьяков А.Ф. и др. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов. М.: Высшая школа. 1999.
9. Шахраманьян М. А. и др. Комплексная оценка риска от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Безопасность жизнедеятельности. №12. 2001.
10. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Ток-си»). М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 1993.
11. Методические рекомендации по идентификации опасных производственных объектов. М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 1999.

УДК 519.2.003.12:331.461.2

*Яковлева И.А., канд. техн. наук, проф., УГЗУ,  
Панина Е.А., преп., УГЗУ,  
Малежик А.В., адъюнкт, УГЗУ*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

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

В работе предлагается использование вероятностно-детерминистических моделей для исследования распространения внешних воздействий по сложным техническим системам, на объектах химической промышленности, при попадании их в условия внешних воздействий (форс-мажорные обстоятельства). Разработка и исследование построенной модели позволит решать задачу распространения внешнего воздействия по структуре системы, и его влияния на качественное состояние ее элементов.

**Ключевые слова:** риски, теория самоорганизации-синергетики, теория управления рисками, модель распространения внешних воздействий по системе

**Постановка проблемы.** Для сложных технических систем, к которым относятся и объекты химической промышленности, актуальной проблемой является достоверное и своевременное прогнозирование и предотвращение чрезвычайных и других нежелательных ситуаций и воздействий которые могут привести к нештатному режиму, аварии, катастрофе или существенно повлиять на работоспособность, живучесть, безопасность, эффективность и другие свойства таких объектов. Возможность появления и результаты действий таких ситуаций, условий и факторов определяется случайными и хаотическими процессами, которые по механизмам воздействия характеризуются как риски.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Классическая теория надежности [1, 2] не предоставляет необходимых инструментов исследования качества функционирования сложных систем в условиях форс-мажорных обстоятельств. Т.к. объекты химической промышленности относятся именно к системам, которые прибывают в такой зоне, то актуальным является разработка адекватных математических моделей, которые позволяют оценивать

систему в целом, прогнозировать поведение системы под влиянием поражающих факторов. Также актуальным является разработка методов повышения или сохранения сопротивляемости систем, функционирующих в условиях поражающих воздействий.

Моделирование сложных систем позволяет исследовать особенности их функционирования в различных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Важнейшую роль в формальном представлении сложных систем играет структура – порядок межэлементных связей системы. В работах [3] для моделирования систем со сложной структурой используются методы теории взвешенных графов. Такой подход уже позволил обнаружить ряд синергетических эффектов в поведении подобных систем. Т.о., следует, что от структуры системы зависит ее стойкость. Важно также прогнозировать какие изменения в структуре приведут к улучшению или ухудшению функционирования рассматриваемого объекта.

Как отмечается в работах Маршалла В., Хенли Э.Дж., Кумамото Х., Бусленко Н.П., Белова П.Г. и др. использование вероятностных оценок риска для анализа состояния безопасности – одно из наиболее дискуссионных направлений в теории безопасности. Норматив Госгортехнадзора России РД 08-120-96 [4] рекомендует с осторожностью относиться к применению количественных показателей риска в качестве критериев безопасности, учитывая сложность рассматриваемых объектов и большую неопределенность используемой для расчетов информации [5, 6, 7]. Вместе с тем такие показатели используются в качестве нормируемых критериев пожарной безопасности [8, 9].

**Постановка задачи и ее решение.** Рассмотрим проблему с точки зрения теории самоорганизации-синергетики [10], и теории управления рисками [11]. В математической модели исследуемой системы должны быть представлены основные элементы, по поведению, по качеству, по эффективности функционирования которых можно достоверно судить о всей системе. В терминах синергетики это параметры порядка моделируемого объекта. Такой подход в исследованиях, без детального представления сложных систем, процессов и явлений, в них протекающих, принято называть системным синтезом [12]. О результативности использования этого подхода можно судить по многим работам [11, 12].

С позиции классических моделей теории надежности система изучается изолированно от окружающей среды: ни система не

подвергается воздействию внешней среды, ни сама окружающая среда не испытывает на себе воздействие со стороны среды. В данной работе предлагается подход к моделированию системы с точки зрения теории самоорганизации-синергетики и теории управления рисками. Результативность использования данного подхода подтверждается работами Курдюмова С.П., Малинецкого Г.Г., Кульбы В.В., Кононова Д.А. и др. Исследуемую систему предлагается представлять в виде графа, а внешнее воздействие в виде импульсного воздействия.

С точки зрения концепции безопасности, всякую сложную техническую систему следует изучать с трех основных позиций: *надежности системы, живучести системы* и ее *безопасности*. Каждая из этих позиций по-разному описывает связь и взаимодействие системы с окружающей ее средой. Исследование перечисленных свойств системы позволяет уменьшить риск возникновения ЧС, возникающих в результате бедствий, аварий и катастроф.

Рассматриваемая в работе система подвержена воздействию природного и техногенного характера. В зависимости от интенсивности и мощности рассматривают нормативные (проектные) и экстремальные (сверхнормативные) нагрузки.

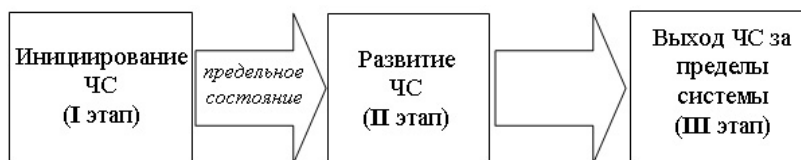


Рис. 1 – Схема развития чрезвычайных ситуаций

Использование критериев живучести и надежности позволяют оценить риск возникновения чрезвычайных ситуаций при эксплуатации сложных технических систем, что позволяет обеспечить безопасность систем при чрезвычайных ситуациях, или наделить систему необходимыми качественными характеристиками, не допускающими возникновения чрезвычайных ситуаций. В схеме на рис. 1 надежность и живучесть описывают переход от первого этапа ко второму. Живучесть системы предполагает тщательное описание ее поведения (в отличие от надежности) при имеющихся внешних воздействиях на систему, как в до критической области (до ЧС), так и в за критической (при развитии ЧС), когда система функционирует, достигнув предельного состояния. Третий этап

предполагает изучение возможных последствий ЧС на окружающую систему среду и лежит в области обеспечения *безопасности* систем.

Во многих случаях сложность системы определяется сложностью ее структуры. Для подобных технических систем исследование инициирования ЧС (I этап схемы, представленной на рис. 2) внешними воздействиями имеет особое значение. Важно представлять, как от структуры системы зависит достижение системой предельного состояния (критического уровня), за чертой которого риск возникновения ЧС резко возрастает.

В рамках модели, предлагаемой в настоящей работе, сложная техническая система считается подвергнутой влиянию внешних воздействий. Это соответствует попаданию системы в зону “форс-мажорных обстоятельств”, т.е. под влияние ненормативных, непредусмотренных при проектировании системы, экстремальных нагрузок, имеющих также внезапный характер. В основе модели лежит формально представленная структура системы, что позволяет детально воспроизвести все возможные варианты распространения внешних воздействий по элементам системы. Модель при заданных нагрузках на некоторое множество элементов системы, вызываемых различными внешними воздействиями, определяет темп и сроки достижения системой предельного состояния.

Математическая модель распространения возмущений по системе.

Для всякого конечного графа будем использовать обозначение

$$G = (V, E), \quad (1)$$

где  $V = \{v_i\}$ ,  $i = 1, n$  – множество вершин, а  $E = \{e = (v, u)\}$  – множество его ребер [14].

Распространения воздействия от одного элемента системы к другому, на графе системы будем задавать *ориентированным ребром* – ребром с определенными началом и концом.

*Надежностью элемента* системы будем считать вероятность  $P(t < T)$  того, что элемент будет работоспособен в течение времени  $T$  с момента начала эксплуатации.

Таким образом, на орграфе  $G = (V, E)$  системы для вершины  $v_i \in V, i \in \{1, 2, \dots, n\}$  весом  $w_i(t) = P_{v_i}(t < T)$  - является величина надежности элемента системы, соответствующего вершине  $v_i$ .

Весом

$$w(v_i, v_j) = \varepsilon_{ij}, j \in \{1, 2, \dots, n\}, i \neq j, \quad (2)$$

- дуги  $(v_i, v_j) \in E$ , причем со знаком "+", является число  $0 < \varepsilon_{ij} < 1$ , равное сохранившейся доле передаваемого воздействия при переходе от вершины  $v_i$  к вершине  $v_j$ .

Процесс изменения весов вершин графа системы можно отразить следующим правилом, называемым *импульсным воздействием*. Импульсное воздействие определяется *импульсом*  $imp_j(t), j \in \{1, 2, \dots, n\}$  в дискретном времени  $t=0, 1, 2, 3, \dots$ , который задается отношением

$$imp_j(t) = w_j(t) / w_j(t-1), \text{ при } t > 0. \quad (3)$$

Тогда для  $i$ -ой вершины графа  $G$  при  $t \geq 0$  определим импульсное воздействие

$$w_i(t+1) = w_i(t) \prod_{k=1}^{\deg v_i} \varepsilon_{ji} imp_j(t), \quad (4)$$

или

$$imp_j(t+1) = \prod_{k=1}^{\deg v_j} \varepsilon_{ji} imp_j(t), \quad (5)$$

полагая при этом, что  $\deg v_i$  - число входящих в вершину  $v_i$  дуг.

Формулы (3), (4) и (5) задают изменения весов вершин графа  $G=(V, E)$ , тем самым, определяя динамику распространения внешних воздействий по системе.

*Автономное импульсное воздействие* на взвешенном орграфе  $G$  определим по правилу (3) с вектором начальных значений

$$W(0) = (w_1(0), w_2(0), \dots, w_n(0)) \quad (6)$$

$$\text{Im } p(0) = (\text{imp}_1(0), \text{imp}_2(0), \dots, \text{imp}_n(0)). \quad (7)$$

Автономное импульсное воздействие в паре с вектором начальных значений описывает состояние системы в начальный момент времени, когда под влияние внешних поражающих воздействий попадают все или часть элементов системы.

Автономное импульсное воздействие, в котором вектор  $\text{Im } p(0) = (1, 1, \text{imp}_i(0), \dots, 1)$ ,  $p_i(0) > 0$ , имеет только  $i$ -ую отличную от единицы компоненту, назовем *простым воздействием* с начальной вершиной  $v_i \in V$ . Простое импульсное воздействие описывает состояние системы в начальный момент времени, когда внешнее воздействие поражает один из элементов системы. А именно, тот, который соответствует  $i$ -ой вершине графа системы.

В соответствии с описанным импульсным воздействием на орграфе, можно ввести различные критерии (признаки) достижения системой предельного состояния. К примеру, можно считать, что система находится в предельном состоянии, если надежность одного или нескольких наиболее значимых элементов системы ниже некоторого допустимого уровня. Этот уровень будем называть *критическим уровнем* надежности элемента. Введенный критерий четко разделяет докритическое и закритическое состояние элементов системы. Если надежность элемента ниже критического уровня, то элемент не в состоянии выполнять возложенных на него функций, или функционировать требуемое время.

Представление исследуемой системы в виде взвешенного по правилу (2) графа  $G=(V,E)$  и формализация внешнего влияния на систему как автономного импульсного воздействия (3)–(7) определяет модель распространения поражающих воздействий по системе.

Исследование построенной модели необходимо для решения важной задачи – выяснить, как внешнее воздействие распространяется по структуре системы и влияет на качественное состояние ее элементов.

**Выводы.** Предложенная в настоящей работе математическая модель распространения внешних воздействий по системе позволяет объяснить ряд явлений, наблюдаемых в сложных технических системах при попадании их в условия внешних воздей-

ствий (форс-мажорные обстоятельства). Существенной особенностью построенной модели является возможность выхода из строя при распространении импульсных воздействий по системе наиболее надежных элементов. Этот факт красноречиво подчеркивает прямую зависимость надежности элемента от его положения в структуре, а также зависимость стойкости всей системы от выбранной при проектировании структуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
3. Кульба В.В., Кононов Д.А. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. - М.: СИНТЕГ, 2004. - 296 с.
4. РД 08-120-96. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. – 356 с.
6. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. - М.: АНВИК, 1998. - 427 с.
7. Анализ риска и его нормативное обеспечение / В.Ф. Мартынюк, М.В. Лисанов, Е.В. Кловач, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. - 1995. - N 11. - С. 55-62.
8. ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
9. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. Владимиров В.А., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. и др. Управление риском. – М.: Наука, 2000. – 230 с.
11. Новое в синергетике: взгляд в третье тысячелетие / Под ред. Малинецкого Г.Г., Курдюмова С.П. - М.: Наука, 2002. -480 с.
12. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. - М.: Наука, 1992. – 320 с.
13. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. - М.: Наука, 1990. – 384 с.



## АННОТАЦИИ

*Аветисян В.Г., Бабенко А.В., Крива И.Я.*  
**РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ СПАСЕНИЯ  
ЛЮДЕЙ ИЗ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ  
ПРИ ПОЖАРЕ**

На основании анализа опыта проведения спасательных работ и изучения литературных источников предложена и обоснована методика расчета времени проведения спасательных работ при пожарах в высотных зданиях

*Аветисян В.Г., Ковалев П.А., Стрелец В.М.*  
**ЭКСПЕРТНЫЙ ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ  
УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОГО  
КОМПЛЕКСА ПОДГОТОВКИ  
ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ**

Предложен подход выбора элементов учебно-тренировочного комплекса подготовки газодымозащитников, опирающийся на использование усовершенствованного метода распределения оценок экспертов по порядку

*Байтала М.Р.*  
**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ  
МОДЕЛИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ  
СИТУАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ  
ТРАНСПОРТЕ**

Методами теории подобия проведена идентификация параметра математической модели чрезвычайной ситуации на железнодорожном транспорте на примере коэффициента конвективной теплоотдачи от железнодорожной цистерны в газовую среду

*Басманов А.Е., Говаленков С.С.*  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ ЗОН  
ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИИ,  
СВЯЗАННОЙ С ВЫБРОСОМ ОПАСНЫХ  
ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

Построена стохастическая математическая модель определения концентрации опасных химических веществ в воздухе после ликвидации источника выброса и позволяющая определять границы зон, в которых эта концентрация превышает допустимую

*Альбоцкий А.В.*  
**ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ВРЕМЕНИ  
БОЕВОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ  
КАК ФУНКЦИИ БОЕВОЙ ВЫУЧКИ  
ЛИЧНОГО СОСТАВА**

В статье рассматривается задача определения функциональной зависимости времени боевого развертывания боевых расчетов от уровня боевой выучки. Для этого предлагается применение методов теории планирования эксперимента и предлагается методический подход к ее решению.

## ABSTRACTS

*Avetisyan V.G., Babenko A.V., Kriva I.Ya.*  
**TIMING OF RESCUE IN THE CASE  
OF FIRE IN HIGH-RISE BUILDINGS**

On the ground of analysis rescue experience and theoretical publications the new method of rescue in the case of fire in high-rise buildings was proposed and reasoned

*Avetisyan V.G., Kovaljov P.A., Strelec V.M.*  
**STOCHASTIC MODEL OF FOREST FIRE  
PROPAGATION AND EXTINGUISHING**

Offered approach choice of elements of training complex of preparation of firefighters, which leans against the use of the improved method of distributing of estimations of experts one after another

*Baytala M.R.*  
**IDENTIFICATION OF THE PARAMETERS  
OF THE RAILWAY TRANSPORT  
EMERGENCY MODEL**

Identification of the parameters of the railway transport emergency model is performed by methods of similarity theory. This parameter is convective heat transfer coefficient between railway tank and fluid.

*Basmanov A.E., Govalenkov S.S.*  
**DEFINITION OF SAFETY ZONES  
IN THE ELIMINATION ACCIDENTS  
INVOLVING THE EMISSION  
OF HAZARDOUS CHEMICALS**

Constructed a mathematical stochastic model determining the concentration of hazardous chemicals in the air after the elimination of emissions sources and allows you to define the border zones, in which the concentration exceeds permissible

*Al'boschiy A.V.*  
**GOING IS NEAR THE EVALUATION OF  
TIME OF THE BATTLE FLAMING UP AS  
FUNCTION OF THE BATTLE TRAINING  
OF PERSONNEL**

In the article the task of determination of functional dependence of time of battle development of battle calculations is examined from the level of the battle training. For this purpose application of methods of theory of planning of experiment is offered and the methodical going is pointed near its decision.

*Акулов В.М., Кулаков О.В., Райз Ю.М., Сациук Д.В., Черный С.В.*

**РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЗОНЫ  
НАБЛЮДЕНИЯ АЭРОСТАТОВ  
И АЭРОЗОНДОВ ВОЗДУШНОГО  
НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ  
ТЕРРИТОРИИ**

На примере оптического контроля противопожарного состояния лесных массивов рассчитаны размеры возможной зоны наблюдения привязных аэростатов (аэрозондов), которые используются для круглосуточного воздушного наблюдения за состоянием территории, в зависимости от высоты нижней границы облаков и метеорологической дальности видимости

*Бабич А.С.*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФЕКТИВНОСТИ  
МЕРОПРИЯТИЙ  
ПО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ ПУТЕМ  
ПРИМЕНЕНИЯ БАЛОННЫХ  
АЭРОЗОЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ**

Одной из главных проблем в сельскохозяйственном производстве есть проведения работ в очаге биологического заражения на территории сельскохозяйственного назначения.

Проведенный анализ показывает, что существующие технические средства разрешают механизировать работы с жидкими активными веществами объемом до 1 л и, дальше, начиная с 400 л, а в промежутке указанных объемов такая возможность отсутствует.

Удовлетворить поставленные требования возможно применяя баллонные аэрозольные генераторы, которые используют энергию газов, образующихся при сгорании твердых газифицирующих составов (ТГС) в газогенерирующих устройствах.

*Горносталь С.А., Петухова Е.А., Созник А.П.*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ  
В ИДЕАЛЬНЫХ И РЕАЛЬНЫХ  
АЭРОТЕНКАХ**

На основе обобщения моделей биологической очистки в идеальных аэротенках предпринята попытка описать явления очистки в реальных сооружениях. Показано, что такие модели не пригодны для этих целей. Предложена новая математическая модель, результаты расчетов по которой позволят разработать рекомендации по предотвращению чрезвычайных ситуаций, связанных с попаданием в водоем недостаточно очищенных сточных вод.

*Akulov V.M., Kulakov O.V., Rayz Y.M., Satsyuk D.V., Chornyy S.V.*

**DIMENSION CALCULATION  
OF BALLOONS AND SOUNDING  
WEATHER BALLOONS OF AIR  
OBSERVATION ON THE TERRITORY  
CONDITION**

Based on optical inspection of fire condition of forest areas there are dimensions of possible observation zone of balloons (sounding weather balloons) calculated, which are used for day-and-night air observation of territory condition, depending on the height of the bottom clouds boundary and meteorological optical range

*Babich A.S.*

**INCREASE OF EFFICIENCY  
OF ACTIONS OF DISINFECTION  
BY APPLICATION OF BALLON AEROSOL  
GENERATOR**

The lead analysis shows, that the existing means intended for carrying out of protective actions in a peace time allow to mechanize works with liquid active substances in volume up to 1 litre and, further, since 400 litres, and in an interval of the specified volumes such opportunity absent.

To satisfy the put requirements probably using energy of gases which turn out at combustion of gunpowder.

*Gornostal S.A., Petukhova O.A., Soznik A.P.*

**MODELS OF BIOLOGICAL  
CLEANING PROCESSES IN IDEAL  
AND REAL AEROTANKS**

On the basis of generalized models of the biological cleaning in ideal aerotank an attempt to describe the phenomena of cleaning in the real buildings is undertaken. It is shown that such models are not suitable for these aims. The new mathematical model offered. It is shown that such model on the whole is quite suitable for description the processes in the real aerotank with a regenerator and dispersed serve of sewage's. The results of calculations by such model will allow one to develop recommendations on prevention of the extraordinary situations related to the hit in a reservoir is not enough the cleared sewages.

*Буц Ю.В., Крайнюк Е.В.*

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ  
МЕТАЛЛАМИ ЛАНДШАФТНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ КАК РЕЗУЛЬТАТ  
ТЕХНОГЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ  
НАГРУЗКИ**

Рассмотрена сезонная динамика тяжелых металлов в почвах и растениях модифицированных фаций в сравнении с заповедными. Подтверждается влияние техногенно-экологической нагрузки на ход геохимических процессов в ландшафтных комплексах и загрязнении их компонентов тяжелыми металлами.

*Буц Ю.В., Кремез В.С., Цимбал В.А.*

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДТОПЛЕНИЯ  
ТЕРРИТОРИЙ ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ  
В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ**

Приведены рекомендации для выбора типа математических моделей подтопления территорий грунтовыми водами в зоне влияния водохранилищ

*Квитковский Ю.В.*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ  
С ПРЕГРАДОЙ С УЧЕТОМ МОДЕЛИ  
РАЗРУШЕНИЯ ЭРОЗИОННОГО ТИПА**

Исследованы процессы ударного взаимодействия нескольких компактных тел с препятствием в трехмерной постановке с использованием модели разрушения эрозийного типа

*Комяк В.А., Шило С.А., Белов В.В., Быков В.М., Комяк В.В., Рыженко И.А.*

**ПРОЯВЛЕНИЕ УТЕЧЕК ГАЗА  
В ИЗЛУЧЕНИИ СИСТЕМЫ ГРУНТ-  
ГАЗОПРОВОД В СВЧ ДИАПАЗОНЕ**

Рассматривается проявление утечек газа из трубопровода в тепловом поле излучения земной поверхности. Показано, что трещины в трубах размерами  $(1 \times 0,1) \text{ мм}^2$  могут приводить к появлению на поверхности грунта тепловых аномалий размером пятна порядка  $10 \text{ м}^2$  с температурным контрастом более  $10^\circ$ . Это позволит с помощью микроволнового радиометра, размещаемого на борту летательного аппарата, локализовать место утечки при авиационном патрулировании газопровода.

*Buts Y.V., Krainnyuk O.V.*

**THE POLLUTION OF LANDSCAPE  
COMPLEXES BY HEAVY METALS  
AS RESULTS OF TECHNOGENIC-  
ECOLOGICAL CONTAMINATION**

The seasonal dynamics of heavy metals in soils and plants of modified landscapes by comparison to a preserve is considered. Influence of technogenic-ecological contamination on motion of geochemical processes and pollution by heavy metals in landscape complexes is confirmed.

*Buts Y.V., Kremez V.S., Tymbal V.A.*

**SOME ASPECTS OF MATHEMATICAL  
MODELING OF FLOODING  
OF TERRITORIES BY GROUNDWATER  
ARE IN THE ZONES OF INFLUENCE  
OF STORAGE POOLS**

The recommendations for the type of mathematical models of groundwater flooding of territories in the zone of influence of reservoirs of influence are considered

*Kvitkovskiy Y.V.*

**DESIGN OF SHOCK CO-OPERATION  
OF SOLIDS WITH THE OBSTACLE  
TAKING INTO ACCOUNT THE MODEL  
OF DESTRUCTION OF EROSIIVE TYPE**

The problem of high-velocity interaction of a group of several identical bodies with a target is considered. Simulation of damage accumulation in a sample is performed with an application of kinetic model of fracture. As a criterion of eroding failure of material having place in the field of intensive interaction and deformation of contacting bodies, the critical value of specific energy of shear deformations is used.

*Komyak V.A., Shilo S.A., Belov V.V., Bykov V.M., Komyak V.V., Ryzhenko I.A.*

**A DISPLAY OF GAS LOSSES  
IS IN RADIATION OF SYSTEM SOIL  
IS GAS PIPELINE IN SVCH RANGE**

The display of gas losses is examined from a pipeline in the thermal field of radiation of earthly surface. It is shown that cracks in pipes can result sizes  $(1 \times 0,1) \text{ мм}^2$  in appearance on the surface of soil of thermal anomalies by the size of spot about  $10 \text{ м}^2$  with a temperature contrast more than  $10^\circ$ . It will allow by a microwave radiometer, placed aboard an aircraft, to localize the place of loss at the aviation patrolling of gas pipeline.

*Кириченко І.О., Неклонский І.М., Побережний А.А.*

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ  
НАПРАВЛЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
МЕЖДУ ФОРМИРОВАНИЯМИ СИЛ  
ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ МЧС  
УКРАИНЫ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ  
ВНУТРЕННИХ ВОЙСК МВД УКРАИНЫ  
ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

С целью последующего усовершенствования и обоснования практики применения метода математического моделирования для структурно-функционального обеспечения территориального управления предупреждением и ликвидацией чрезвычайных ситуаций предлагается соответствующее программное обеспечение, которое даст возможность систематизировать результаты экспертных оценок и с помощью математического аппарата выбрать наиболее эффективный механизм взаимодействия между формированиями спасательных сил МЧС Украины и других сил единой государственной системы гражданской защиты при ликвидации чрезвычайных ситуаций

*Ковалев П.А., Стрелец В.М., Васильев М.В.*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ  
АППАРАТОВ НА СЖАТОМ ВОЗДУХЕ**

Предложено контрольные испытания изолирующих аппаратов, опирающиеся на показания контрольных приборов, дополнить сравнительной оценкой эффективности их использования во время лабораторных исследований на людях и полигонных испытаний

*Тарасенко А.А.*

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПРИРОДНЫХ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

На основании моделей динамики области природной чрезвычайной ситуации (наземного ландшафтного пожара) под воздействием подразделений МЧС ранее предложена процедура отыскания оптимальных параметров тактики борьбы. В настоящей работе оценивается эффективность предлагаемых управленческих решений путем сравнения совокупного ущерба от ЧС, получаемого на их основании, с аналогичным показателем, получаемым на основании управленческих решений, предлагаемых экспертами.

*Kirichenko I.O., Neklonsky I.M., Poberegny A.A.*

**SOFTWARE TO IDENTIFY PRIORITY  
AREAS OF COOPERATION BETWEEN  
UNITS OF THE CIVIL PROTECTION  
MINISTRY OF EMERGENCIES  
OF UKRAINE AND PARTS  
OF THE INTERIOR MINISTRY  
OF UKRAINE IN CASE  
OF EMERGENCIES**

For the purpose of the further improvement and a substantiation of practice of application of a method of mathematical modeling for structurally functional maintenance of a territorial administration with prevention and liquidation of emergency situations the corresponding software which will give the chance to systematize results of expert estimations is offered and by means of a mathematical apparatus to choose the most effective mechanism of interaction between formations of saving forces of the Ministry of Emergency Measures of Ukraine and other forces of uniform state system of civil protection at occurrence of emergency situations

*Kovaljov P.A., Strelec V.M., Vasil`ev M.V.*

**PERFECTION OF COMPARATIVE  
ESTIMATION OF SCBA**

Offered control tests of insulating vehicles, leanings against the testimonies of check meters, to complement the comparative estimation of efficiency of their use during laboratory researches in public and ground tests

*Tarasenko A.A.*

**ESTIMATION OF DECISION EFFICIENCY  
IN NATURE EMERGENCY**

Well known procedure of finding optimal parameters of emergency liquidation tactics is based on models of the dynamics of nature emergency and its interaction with man-power facilities. Efficiency of proposal decisions is estimated in present work. It is obtained via comparing the total damage from the emergency got from models and similar mark got from expert decisions.

*Комяк В.М., Соболев А.Н., Коссе А.Г., Собина В.А.*

**ОСОБЕННОСТИ ОБЩЕЙ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО  
КОЛИЧЕСТВА И МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ  
ОПЕРАТИВНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОЙ  
ДОРОГИ**

Приведена общая математическая модель определения рационального количества и мест размещения оперативных подразделений для защиты подвижного состава и объектов железнодорожного транспорта. Исследованы особенности общей математической модели.

*Курская Т.Н.*

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ  
ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ  
С ПОМОЩЬЮ СДТ НА ОБЪЕКТАХ  
ЭНЕРГЕТИКИ**

Исследованы метрологические характеристики самокалибрующихся датчиков температуры (СДТ), позволяющие определить возможность применения структурных методов для повышения эффективности и точности температурного контроля на объектах энергетики

*Метелев А.В., Халыпа В.М., Вамболь С.А.*

**ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ  
И ОСТОЙЧИВОСТЬ  
ПОНТОННОГО ПАРОМА**

Предложена методика расчета основных параметров понтонного паромы: осадки, грузоподъемности и остойчивости

*Тарадуда Д.В., Шевченко Р.И.*

**ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА  
ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ  
АВАРИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО  
ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ, В СОСТАВ  
КОТОРЫХ ВХОДЯТ АММИАЧНЫЕ  
ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ**

Предложен алгоритм оценки риска возникновения аварии на потенциально опасных объектах, в состав которых входят аммиачные холодильные установки (АХУ). Представлено принципиальную и структурно-логическую схемы аммиачной холодильной установки, а так же описан технологический процесс, который имеет место. Построена логико-вероятностная модель причинно-следственных связей аварийности АХУ. Определены основные причины аварийных ситуаций и суммарный риск возникновения опасной ситуации на АХУ.

*Komyak V.M., Sobol O.M., Kosse A.G., Sobina V.O.*

**CHARACTERISTICS OF GENERAL  
MATHEMATICAL MODEL  
THE DEFINITION RATIONAL NUMBER  
AND PLACEMENTS OF OPERATIONAL  
SUBDIVISIONS FOR DEFENSE  
THE RAILWAY OBJECTS**

General mathematical model the definition rational number and placements of operational subdivisions for defense the rolling stocks and railway objects is given. Characteristics of general mathematical model are investigated.

*Kurskaya T.N.*

**INCREASE OF TEMPERATURE  
CONTROL EXACTNESS BY STB  
ON OBJECTS OF ENERGY**

Metrology descriptions of the selfcalibrated sensors are investigational temperatures allowing to define possibility of application of structural methods for the increase of efficiency and temperature-control exactness on the objects of energy

*Metelyov A.V., Khalypa V.M., Vambol S.A.*

**LOAD-CARRYING CAPACITY  
AND STABILITY  
OF THE PONTOON FERRY**

The design procedure of key parameters of the pontoon ferry is offered: deposits, load-carrying capacity and stability

*Taraduda D.V., Shevchenko R.I.*

**FORMATION OF ALGORITHM  
OF AN ESTIMATION OF RISK  
OF OCCURRENCE OF ACCIDENTS  
ON POTENTIALLY DANGEROUS  
OBJECTS WHICH STRUCTURE  
INCLUDES AMMONIAC  
REFRIGERATING MACHINERIES**

The algorithm of an estimation of risk of occurrence of accident on potentially dangerous objects which structure includes ammoniac refrigerating machineries (ARM) is offered. It is presented basic and block diagrams-logic of an ammoniac refrigerating machinery and as technological process which takes place is described. The logically-likelihood model of relationships of cause and effect of breakdown susceptibility ARM is constructed. Principal causes of emergencies and total risk occurrence of a dangerous situation on ARM are certain.

*Мищенко І.В., Трубаєв А.І., Чернобай Г.А.*

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАДЕЖНОСТИ  
ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ  
ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ  
ОПАСНОСТИ**

Рассматривается задача определения показателей надежности (вероятности безотказной работы, плотности отказов и среднего времени до разрушения) трубопроводных систем с учетом внешнего случайного кинематического воздействия с целью предотвращения аварийных ситуаций на объектах повышенной опасности

*Попов В.М., Ромин А.В., Фесенко Г.В.*

**ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗНОЙ  
ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ НАСЕЛЕНИЯ  
ВСЛЕДСТВИЕ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ  
С УЧЕТОМ СЕЗОННО-ВРЕМЕННЫХ  
ФАКТОРОВ**

Рассмотрены вопросы прогнозирования безвозвратных и санитарных потерь населения в зонах катастрофического затопления при возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с авариями на гидротехнических сооружениях

*Прохач Э.Е., Попов Н.П.*

**МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ  
РАССЕЯНИЯ ПАРА ПРОЛИТОЙ  
НА ГРУНТ ЖИДКОСТИ**

Предложен метод расчета плотности потока пара и параметров его рассеяния в атмосфере при испарении жидкостей, пролитых на поверхность открытого грунта

*Рогозин А.С.*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФУНКЦИИ  
ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ  
В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАДЗОРНЫХ  
ОРГАНОВ МЧС**

Разработаны рекомендации по определению периодичности осуществления текущего контроля за выполнением плановых заданий надзорными органами МЧС

*Садковой В.П., Абрамов Ю.А.*

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ  
ЭЛЕМЕНТА ЗАПУСКА  
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ  
СИСТЕМ ОСЛАБЛЕНИЯ  
ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ  
СИТУАЦИЙ**

Получены в аналитическом виде математические модели пиропатрона как элемента запуска исполнительных устройств системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций

*Mishchenko I.V., Trubayev A.I., Chernobay G.A.*

**PIPELINE SYSTEMS OF HIGH  
DANGEROUS OBJECTS RELIABILITY  
PROBLEM DECISION**

The problem of the pipeline systems reliability characteristics (probability of survival, failure probability density function and mean resources) is investigated taking into account external random kinematic input with the purpose of disaster situations prevention on high dangerous objects

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

**FEATURES OF A LOOK-AHEAD  
ESTIMATION OF LOSSES  
OF THE POPULATION OWING TO  
HYDRODYNAMIC FAILURE TAKING  
INTO ACCOUNT SEASONALLY-TIME  
FACTORS**

Questions of forecasting of irrevocable and sanitary losses of the population in zones of catastrophic flooding at occurrence of the emergency situations connected with failures on hydraulic engineering constructions are considered

*Prokhach E.E., Popov N.P.*

**METHOD OF CALCULATION  
OF PARAMETERS OF DISPERSION  
OF STEAM TO THE LIQUID  
SPILLED ON SOIL**

The method of calculation of fluence of steam and parameters of his dispersion is offered in an atmosphere at evaporation of liquids, spilled on the surface of the opened soil

*Rogozin A.S.*

**PERFECTION OF FUNCTION  
OF THE LINE CONTROL  
OVER ACTIVITY OF SUPERVISING  
DIVISIONS OF THE MINISTRY  
OF EMERGENCY SITUATIONS**

Recommendations by determination of periodicity of realization of the current control over fulfillment of planned targets by supervising divisions of the Ministry of Emergency Situations are developed

*Sadkovoy V.P., Abramov Y.A.*

**MATHEMATICAL MODELS OF LAUNCH  
ELEMENTS OF THE ACTUATING  
DEVICES AT THE EMERGENCY  
WEAKENING SYSTEMS**

Mathematical models of squib as launch elements of the actuating devices at the emergency weakening systems are obtained in analytical form

*Сидоренко В.Л., Азаров С.И.*

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВОЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ ОТНОСИТЕЛЬНО  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОНЯТИЯ  
"ОПАСНЫЙ ОБЪЕКТ"**

Проанализировано понятие "опасный объект" и на его основе дано определение военного объекта повышенной опасности и факторов опасностей относительно артобъектов, арто складов, арсеналов, складов и хранилищ боеприпасов Вооруженных Сил Украины. Рассмотрены вопросы идентификации военных объектов повышенной опасности и приведен пример.

*Тарачно Е.В., Сырых В.Н., Тарачно Р.В.*

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ  
АВАРИЙНОГО НАТЕКАНИЯ ГАЗА  
В ПОМЕЩЕНИЕ**

В работе учтено влияние газообмена помещения с окружающей средой на возможность образования взрывоопасных смесей и время достижения опасных концентраций как в объеме всего помещения, так и в локальных зонах загазованности

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
УПРАВЛЯЕМЫХ ГЕНЕРАТОРОВ  
АЭРОИОНОВ ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
МЧС УКРАИНЫ**

Разработано и исследовано регулируемое устройство аэроионизации, которое обеспечивает гарантированную безопасность и высокую эффективность мероприятий по искусственной ионизации воздуха с одновременным сокращением расходов на их проведение

*Яковлева И.А., Панина Е.А., Малезжик А.В.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-  
ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
НА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ОБЪЕКТАХ**

В работе предлагается использование вероятностно-детерминистических моделей для исследования распространения внешних воздействий по сложным техническим системам, на объектах химической промышленности, при попадании их в условия внешних воздействий (форс-мажорные обстоятельства). Разработка и исследование построенной модели позволит решать задачу распространения внешнего воздействия по структуре системы, и его влияния на качественное состояние ее элементов.

*Sidorenko V.L., Azarov S.I.*

**MILITARY OBJECT IDENTIFICATION  
CONCERNING DEFINITION  
OF "DANGEROUS OBJECT"  
CONCEPTION**

Concepts "Dangerous object" are analysed and on his basis determination of military objective of the promoted danger and factors of dangers is given in relation to artillery bases, ordnance depots, arsenals, storages and depositories of live ammunitions of Military Powers of Ukraine. The questions of authentication of military objectives of the promoted danger are considered and an example is resulted.

*Tarachno E.V., Syrykh V.N., Tarachno R.V.*

**THE FORECAST OF CONSEQUENCES  
OF EMERGENCY EXIT OF GAS  
IN A PREMISE**

In article influence of gas exchange of a premise with environment on possibility dangerous mixes is formation and time of achievement of dangerous concentration in volume of all premise and in local zones was considered

*Tolkunov I.O., Popov I.I., Barbashin V.V.*

**RESEARCH AND DEVELOPMENT  
CONTROLLED GENERATORS  
OF AEROIONS FOR THE APARTMENTS  
OF THE SPECIAL SETTING  
OF MINISTRY OF EMERGENCY  
MEASURES OF UKRAINE**

Developed and investigational device aeroionization, which provides the assured safety and high efficiency of measures on artificial ionization of air with the simultaneous cutback of spending on their leadthrough

*Yakovleva I.A., Panina E.A., Malezhik A.V.*

**USE OF PROBABILISTIC  
DETERMINISTIC MODEL  
FOR PROGNOSTICATION  
OF EXTRAORDINARY SITUATIONS  
ON DANGEROUS INDUSTRIAL OBJECTS**

In work the use of probabilistic deterministic models is offered for research of distribution of external influences on the difficult technical systems, on the objects of chemical industry, at a hit them in the terms of external influences (force-majeure circumstances). Development and research of the built model will allow to decide the task of distribution of external influence on the structure of the system, and his influences on the high-quality state of its elements.

*Третьяков О.В., Малютин М.М.*

**ПОВЫШЕНИЕ ПОЛНОТЫ И  
ОБЪЕКТИВНОСТИ УЧЕТА ОПАСНЫХ  
ФАКТОРОВ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ И  
ПАСПОРТИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО  
ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Экспериментальными исследованиями доказано, что конверторный шлак при контакте с бензолом в атмосфере с повышенным содержанием загрязняющих веществ из источников коксохимического и металлургического производств способен выполнять функцию катализатора и обеспечивать образование вредных веществ, которые могут быть причиной ЧС техногенного происхождения

*Третьяков О.В., Пономаренко Р.В.*

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ  
ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ ВЫСОКОЙ  
КАЧЕСТВА ПРИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВЕ  
С ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА  
В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ  
СИТУАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО  
ХАРАКТЕРА**

Разработана технология производства питьевой воды, при ее изготовлении из поверхностного источника, для обеспечения населения качественной питьевой водой в условиях чрезвычайной ситуации техногенного характера

*Удянский Н.Н., Алфёров А.В.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ  
ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАЗРЫВОВ  
С ПОМОЩЬЮ УГЛОВЫХ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ**

Рассмотрен способ определения величин противопожарных разрывов при помощи использования локальных угловых коэффициентов излучения

*Яковлева И.А., Панина Е.А., Гусева Л.В.*

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА  
МЕТОДАМИ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ**

Предложенная методика позволяет определить интегральный параметр, который как комплексный критерий дает оценку потенциальной опасности разной физической природы (пожароопасность, токсичность, взрывоопасность, факторы отказа оборудования, т.д.). Интегральный параметр дает возможность сравнивать потенциальную опасность одного объекта с потенциальной опасностью другого.

*Tretyakov O.V., Malyutin M.M.*

**COMPLETENESS AND OBJECTIVITY  
INCREASE OF TAKING INTO ACCOUNT  
HAZARDOUS FACTORS WHEN  
IDENTIFYING AND CATEGORIZING  
POTENTIAL DANGEROUS OBJECTS**

Experimental researches proved that converter slag at a contact with benzol in an atmosphere with a high content maintenance of contaminants from the sources of coking plants and metallurgical productions is able to execute the function of catalyst and provide formations of harmful matters which can be reason of ES of technogenic origin

*Tretyakov O.V., Ponomarenko R.V.*

**PROVIDING THE POPULATION  
WITH DRINKING WATER OF HIGH  
QUALITY AT ITS PRODUCTION  
OF THE MAIN SOURCES  
IN THE EMERGENCY  
MAN-MADE DISASTERS**

The technology of production of drinking water in its production from surface sources, to provide the population with quality drinking water to the emergency man-made disasters

*Udyanskii M.M., Alforov O.V.*

**DEFINITION OF SIZE OF QUENCHING  
DISTANCES BY MEANS OF ANGULAR  
FACTORS OF RADIATION**

The way of definition of sizes of quenching distances using local angular factors of radiation is considered

*Yakovleva I.A., Panina E.A., Guseva L.V.*

**METHOD OF ESTIMATION OF RISK  
WITH THE METHODS OF THEORY  
OF RELIABILITY**

The offered method allows to define an integral parameter which as a complex criterion gives the estimation of potential danger of different physical nature (fire hazard, toxicness, explosiveness, factors of refuse of equipment, etc). An integral parameter is given by possibility to compare the potential danger of one object to the potential danger other.



*Швец С.В., Рудаков С.В.*

**МОДИФИЦИРОВАННЫЙ  
ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ  
ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ**

Предлагается использовать в решении задачи синтеза структуры подсистем диспетчерской службы модифицированный показатель эффективности, который учитывает влияние стратегии периодического обслуживания

*Шило С.Г., Щербак Г.В., Павленко М.А.*

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРА  
ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ  
СЛУЖБЫ МЧС**

Предложена аналитическая модель оценки надежности оператора оперативно-диспетчерской службы МЧС. Путем проведения расчетов доказана практическая значимость и адекватность модели.

*Shvets S.V., Rudakov S.V.*

**MODIFIED INDEX OF EFFICIENCY  
OF SYNTHESIS OF STRUCTURE  
OF CONTROLLER'S SERVICE**

It is suggested to use in the decision of task of synthesis of structure of subsystems of controller's service the modified index of efficiency, which takes into account influencing of strategy of periodic service

*Shilo S.G., Shcherbak G.V., Pavlenko M.A.*

**ANALYTICAL MODEL OF RELIABILITY  
OF THE RESCUE SERVICE OPERATIVE-  
DISPATCH OPERATOR**

The article represents an analytical model of estimation of reliability of the rescue service operative-controller. The practical significance and model adequacy is well-proved by means of calculations.

## ЗМІСТ

<b>Аветисян В.Г., Бабенко О.В., Кріса І.Я.</b> Розрахунок часу рятування людей з висотних будівель при пожежі .....	3	<b>Кириченко І.О., Неклонський І.М., Побережний А.А.</b> Програмне забезпечення для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями сил цивільного захисту МНС України та підрозділами внутрішніх військ МВС України при виникненні надзвичайних ситуацій .....	84
<b>Аветисян В.Г., Ковалев П.А., Стрелец В.М.</b> Експертний вибор елементів учебно-тренувального комплексу підготовки газодымозащитников .....	8	<b>Ковальов П.А., Стрелець В.М., Васильев М.В.</b> Вдосконалення порівняльної оцінки апаратів на стисненому повітрі .....	91
<b>Акулов В.М., Кулаков О.В., Райз Ю.М., Сацюк Д.В., Чорний С.В.</b> Розрахунок розмірів зони спостереження аеростатів та аерозондів повітряного спостереження за станом території .....	16	<b>Комяк В.А., Шило С.А., Белов В.В., Быков В.М., Комяк В.В., Рыженко И.А.</b> Проявление утечек газа в излучении системы грунт-газопровод в СВЧ диапазоне .....	99
<b>Альбоцкій О.В.</b> Підхід до оцінювання часу бойового розгортання як функції бойового вишколу особового складу .....	23	<b>Комяк В.М., Соболев О.М., Коссе А.Г., Собина В.О.</b> Особливості загальної математичної моделі визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізничі .....	106
<b>Бабич О.С.</b> Підвищення ефективності заходів знезараження шляхом застосування балонних аерозольних генераторів .....	29	<b>Курская Т.Н.</b> Повышение точности температурного контроля с помощью СДТ на объектах энергетики .....	112
<b>Байтала М.Р.</b> Идентификация параметров модели чрезвычайной ситуации на железнодорожном транспорте .....	38	<b>Метелев А.В., Халыпа В.М., Вамболь С.А.</b> Грузоподъемность и остойчивость понтоного паромы .....	118
<b>Басманов А.Е., Говаленков С.С.</b> Определение безопасных зон при ликвидации аварии, связанной с выбросом опасных химических веществ .....	44	<b>Мищенко И.В., Трубаев А.И., Чернобай Г.А.</b> Решение задачи надежности трубопроводных систем объектов повышенной опасности .....	123
<b>Буц Ю.В., Крайнюк О.В.</b> Забруднення важкими металами ландшафтних комплексів як результат техногенно-екологічного навантаження .....	52	<b>Попов В.М., Ромин А.В., Фесенко Г.В.</b> Особенности прогнозной оценки потерь населения вследствие гидродинамической аварии с учетом сезонно-временных факторов .....	127
<b>Буц Ю.В., Кремез В.С., Цимбал В.А.</b> Деякі аспекти математичного моделювання підтоплення територій ґрунтовими водами у зонах впливу водосховищ .....	61	<b>Прохач Э.Е., Попов Н.П.</b> Метод расчета параметров рассеяния пара пролитой на грунт жидкости .....	133
<b>Горносталь С.А., Петухова Е.А., Созник А.П.</b> Моделирование процессов биологической очистки в идеальных и реальных аэротенках .....	67	<b>Рогозин А.С.</b> Вдосконалення функції поточного контролю в діяльності наглядових органів МНС .....	141
<b>Квітковський Ю.В.</b> Моделювання ударної взаємодії твердих тіл з перешкодою з урахуванням моделі руйнування ерозійного типу .....	78	<b>Садковой В.П., Абрамов Ю.А.</b> Математические модели элемента запуска исполнительных устройств систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций .....	146

<b>Сидоренко В.Л., Азаров С.І.</b> Ідентифікація військових об'єктів щодо визначення поняття "небезпечний об'єкт".....	152	<b>Третьяков О.В., Пономаренко Р.В.</b> Забезпечення населення питною водою високої якості при її виробництві з поверхневого джерела в умовах надзвичайної ситуації техногенного характеру .....	202
<b>Тарадуда Д.В., Шевченко Р.І.</b> Формування алгоритму оцінки ризику виникнення аварій на потенційно небезпечних об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки .....	161	<b>Удянський М.М., Алфьоров О.В.</b> Визначення величини протипожежних розривів за кутовими коефіцієнтами випромінювання .....	209
<b>Тарасенко А.А.</b> Оценка эффективности управленческих решений при ликвидации природных чрезвычайных ситуаций .....	171	<b>Швец С.В., Рудаков С.В.</b> Модифицированный показатель эффективности синтеза структуры диспетчерской службы.....	214
<b>Тарахно О.В., Сирих В.М, Тарахно Р.В.</b> Прогнозування наслідків аварійного натікання газу в приміщення .....	179	<b>Шило С.Г., Щербак Г.В., Павленко М.А.</b> Аналітична модель надійності оператора оперативно-диспетчерської служби МНС .....	219
<b>Толкунов И.А., Попов И.И., Барбашин В.В.</b> Исследование и разработка управляемых генераторов аэроионов для помещений специального назначения МЧС Украины .....	186	<b>Яковлева І.О., Паніна О.О., Гусева Л.В.</b> Методика оцінки ризику методами теорії надійності.....	226
<b>Третьяков О.В., Малютин М.М.</b> Підвищення повноти та об'єктивності врахування небезпечних факторів при ідентифікації та паспортизації потенційно небезпечних об'єктів .....	195	<b>Яковлева И.А., Панина Е.А., Малезжик А.В.</b> Использование вероятностно-детерминистической модели для прогнозирования чрезвычайных ситуаций на опасных промышленных объектах .....	234

*Наукове видання*

## **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 10

Відповідальний за випуск Ю.О. Абрамов

Технічний редактор О.Ю. Кірючкін

---

Підписано до друку 15.10.2009

Ум.-друк. арк. 14,55

Вид. арк. 14,38

Формат паперу 60x84/16

Тир. 300

Зам. 364 – 2009

Ціна договірна

---

61023, Харків, вул. Чернишевського, 94

Електронна адреса: <http://arbu.edu.ua/rus/>

Типографія Університету цивільного захисту України