

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

ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Випуск 3

**Зареєстрований Державним комітетом
телебачення і радіомовлення України
28 лютого 2006 року
Серія КВ № 11041**

Затверджено до друку Вченою радою
АЦЗ України
(протокол № 8 от 24.02.2006 г.)

Харків 2006

УДК 162.3+331.101+351.861+504.064+519.85+612.397+614.8+621.3+681.3

Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. АЦЗ України.
Вип. 3. – Харків: Фоліо, 2006. – 175 с.

Видання засноване у 2005 році.

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, ад'юнктів, слухачів та курсантів вищих навчальних закладів.

Іл. – 41, табл. – 22

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

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

Издание основано в 2005 году.

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, адъюнктов, слушателей и курсантов высших учебных заведений.

© Академія цивільного захисту України, 2006

ЗМІСТ

МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

<i>Абрамов Ю.О., Тютюник В.В., Шевченко Р.І.</i> Моделювання процесу виникнення техногенної аварії на об'єктах підвищеної небезпеки нафтогазової промисловості	5
<i>Созник А.П., Захаренко О.В.</i> Определение концентрации химических веществ при истечении из резервуара в нестационарных условиях	19
<i>Абрамов Ю.А., Басманов А.Е.</i> Алгоритм оптимального расположения сил и средств для тушения пожара в резервуарном парке.....	26
<i>Абрамов Ю.А., Кривцова В.И., Левтеров А.А., Ключка Ю.П.</i> Анализ аварийных ситуаций в генераторе водорода на основе обратимых гидридов интерметаллидов	33
<i>Стрелец В.М., Бородич П.Ю.</i> Закономерности работы спасателей в изолирующих аппаратах при проведении работ на станциях метрополитена.....	48

МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ

<i>Кривошлыков С.Ф., Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А.</i> Алгоритм оптимизации параметров тактики тушения простого ландшафтного пожара.....	58
<i>Калиновский А.Я., Созник А.П.</i> Аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара.....	64

МОНІТОРИНГ СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ТА ТЕРИТОРІЙ

<i>Кірючкін О.Ю., Левтеров О.А., Тютюник В.В.</i> Застосування апарату теорії випадкових імпульсних потоків для прогнозування надзвичайних ситуацій на об'єктах паливно-енергетичного комплексу	71
<i>Прохач Е.Ю., Михальська Л.Л., Тимоніна А.Р.</i> Екологічний моніторинг ділянки зберігання блоків твердопаливних ракет.....	79
<i>Гринченко Е.Н., Левтеров А.А., Чернуха А.А.</i> Совершенствование методики оценки безопасности территории при авариях на химически опасных объектах	85
<i>Тарасова Г.В., Тютюник В.В.</i> Молекулярно-оптический мониторинг чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийным истечением взрывоопасных газов	98

ПИТАННЯ РОЗБУДОВИ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

<i>Кулешов М.М., Одарюк П.В.</i> Вдосконалення надійності функціонування системи цивільного захисту	107
<i>Докучаев В.П., Николаев И.М., Щербак Г.В.</i> Структура и задачи подсистемы управления единой системы гражданской защиты.....	112
<i>Соболь О.М.</i> Математична модель та метод розв'язання задач розбивання, характерних для проектування територіально розподілених елементів системи цивільного захисту населення і територій.....	120

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

<i>Садковой В.П., Абрамов Ю.А.</i> Оценка быстродействия датчиков первичной информации систем автоматического пожаротушения со сферическим терморезистивным чувствительным элементом	128
<i>Левтеров А.А., Шевченко Р.И.</i> Построение электронного комплекса по расчету и оптимальному выбору аварийных вентиляционных систем	138
<i>Кривцова В.И., Левтеров А.А., Грушко А.И.</i> Анализ пожаро-взрывобезопасности систем хранения и подачи водорода на основе реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза интерметаллидов	145
<i>Комяк В.М.</i> Моделирование компоновки оборудования специальной техники быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации	152
<i>Киреев А.А.</i> Оценка охлаждающего действия растворов солей, используемых на этапах предупреждения, и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций	161



МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

УДК 351.861

*Абрамов Ю.О., д-р. техн. наук, гол. наук. співр
Тютюнник В.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
Шевченко Р.І., канд. техн. наук, нач. лаб.*

Академія цивільного захисту України

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ АВАРІЇ НА ОБ'ЄКТАХ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

За допомогою математичного апарату логіко-імовірнісної теорії безпеки проведена оцінка безпечної роботи об'єктів підвищеної небезпеки нафтогазового комплексу на прикладі газонакопичувальної компресорної станції

Постановка проблеми. Нафто- та газо-продукти є одними із значних за масштабом забруднення навколишнього природного середовища факторами. У наслідок техногенних та аварійних розливів нафтопродуктів, аварійних ситуацій на об'єктах з переробки та транспортування природного газу, газо- і нафтопроводів, утворення несанціонованих звалищ нафтовміщуючих промислових відходів виникають додаткові, досить важкі, природоохоронні проблеми. Ґрунтам загрожує техногенне перетворення, майже зовсім подавляється життєдіяльність біоти, порушуються фізико-хімічні та біологічні властивості навколишнього середовища. З іншого боку, за даними НАН України [1-3], у разі виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах нафтогазового комплексу, у зону враження можуть потрапити понад 250 адміністративно-територіальних одиниць, на території яких мешкає понад 17 млн. чоловік. Якщо додатково врахувати той факт, що загальна протяжність трубопроводів по території України складає понад 43 тис. км., з них магістральних газопроводів понад 35 тис. км, магістральних нафтопроводів – 4 тис. км., то забезпечення дієвої безпеки об'єктів нафтогазового комплексу є актуальним завданням національної безпеки державного рівня. А з огляду на те, що інтегральний показник небезпеки Харківської області, у 2004 році, становив 0,258 [3, 4], що більше за серед-

ній по Україні, а кількість об'єктів підвищеної небезпеки (автозаправні, газокомпресорні станції, побутова мережа газопроводів, сховища нафтопродуктів) постійно зростає, це питання потребує постійної уваги з боку регіональних підрозділів МНС України. Сумним підтвердженням, нехтування цією проблемою, є резонансна надзвичайна подія, яка виникла на міському газопроводі наприкінці січня 2006 року у м. Алчевську Луганської області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення безпеки завжди було одним з найважливіших аспектів діяльності людини. У той же час не тільки реальне забезпечення безпеки, але і кількісна оцінка цієї характеристики потребує великих витрат та супроводжується труднощами принципового характеру. Тому на сьогодні не існує загальновизнаної теорії безпеки, як безпосередньо технічних систем, так і систем де присутні організаційні, соціальні елементи. З іншого боку об'єкти нафтогазового комплексу, а саме газонакопичувальні станції – це досить розповсюджені небезпечні промислові об'єкти, які застосовуються для прийому, зберігання та відпуску зріджених вуглеводневих газів – пропану, бутану та їх сумішей у балонах, а також у автоцистернах в якості палива для автомобілів. Основні технологічні операції, які проводяться на газонакопичувальних станціях – зливно-наливні, які пов'язані з прийомом та відпуском зріджених вуглеводневих газів. Наявність значних запасів зріджених вуглеводневих газів та висока їх небезпека дозволяють віднести газонакопичувальні станції до небезпечних промислових об'єктів, які становлять небезпеку не тільки для персоналу, але й для населення. Про неоднозначність та актуальність досліджень у цьому напрямку свідчить дискусія, що триває в наукових колах. Так у роботі [9] наведена теза, що безпека досягається автоматично у разі забезпечення високих рівнів надійності систем. Цю думку, але дещо в іншій формі сформульовано у [12] – надійний об'єкт не може бути небезпечним. У той же час поняття безпеки сформовано, як компонент надійності. Досить прогресивним шляхом, на наш погляд, є запропонована у [10] концепція логіко – імовірнісної теорії безпеки. З іншого боку, на сьогодні, існують досить відомі роботи російської наукової школи з моделювання небезпечних процесів, які виникають на об'єктах з переробки газу та магістральних газопроводах [5,6,8,11,13]. Утім вони мають ряд недоліків, які стосуються об'єктивного визначення небезпечних факторів, які, на наш погляд, можливо усунути за допомогою проведення попередньої експертної оцінки безпеки об'єктів [14].

Постановка завдання та його вирішення. За даними попередньої експертної оцінки [14] найбільшу небезпечними факторами, які можуть привести до аварії, визнано: недоліки підготовки та професійних дії операторів (0,379), у тому числі їх уміння приймати антикризові рішення в різних ситуаціях, а також фактор старіння технологічного обладнання (0,298), внаслідок економічних негараздів. У той же час відносна соціальна та при-

родна стабільність регіону призвела до незначних показників за іншими напрямками. Отримані дані за першим показником добре узгоджуються з даними наведеними у [7] щодо впливу людського фактору у структурі ризику, де загальний вплив антропогенних факторів (невикористання та недостаток набутих знань, недостаток інформації, невідомість ситуації, що склалась та ін.) на вірогідність виникнення надзвичайної ситуації внаслідок неправильних дій оператора становить 0,403, за другим показником, з матеріалами Національної доповіді [3], де серед причин виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру окрему увагу приділено незадовільному технічному стану виробничих об'єктів, який є наслідком зношеності основних виробничих фондів. Для спрощення аналізу, надалі будемо розглядати вплив на безпеку ОК лише двох факторів, а саме: виникнення пожежі та вибуху внаслідок техногенної аварії та аварії внаслідок помилок оператора. Іншими факторами, які за своїм впливом незначні, можна знехтувати.

Для формування задачі дослідження нам необхідно визначити основні поняття, які є базою логіко – імовірнісної теорії безпеки, а саме основні положення з визначення ризику виникнення аварій та катастроф структурно-складних систем, які базуються на логічному представленні розвитку небезпечних станів знаходження системи. Логіко – імовірнісні методи дослідження безпеки дозволяють об'єктивно виявити найбільш небезпечні місця, причини та ініціюючі небезпеку умови. Базовим поняттям логіко – імовірнісної теорії є поняття небезпечного стану системи (НСС) і відповідно логічною функцією безпеки системи (ФНС) [10]. За аналогією з теорією надійності, де початковим є визначення працездатності системи, в теорії безпеки потрібно у кожному випадку визначити аналітичний опис НСС, який може привести до загибелі людей або іншим втратам у великих масштабах. У логіко-імовірнісній теорії опис починається з побудови дерева небезпечних станів (ДНС) шляхом перебору всіх можливих станів системи зверху до низу: від конкретного НСС до причин, котрі його спричиняють – ініціюючим умовам (ГУ: відмова, поломка, порушення правил експлуатації та ін.

Потрібно зазначити необхідність максимальної конкретизації НСС: якщо, наприклад, оцінювати ризик аварії від вибуху, то необхідно визначити склад газів, їх параметри та інші складові. Крім того необхідно обмежити об'єкт досліджень (у тому числі при розрахунках катастроф з глобальними наслідками).

Після евристичної побудови ДНС та апробації його серед фахівців, що було зроблено на першому етапі, потрібно приступити до побудови ФНС за допомогою найкоротшого шляху небезпечного функціонування (НШНФ) або за допомогою мінімального перерізу запобігання безпеки (МПЗН).

Найкоротший шлях небезпечного функціонування є така логічна сума ІУ Z_i з якої жодний з компонентів неможливо вилучити, не порушив небезпечного функціонування системи. Таку логічну суму можна записати у вигляді:

$$\varphi_l = \bigwedge_{i \in K_{\varphi_l}} Z_i, \quad (1)$$

де K_{φ_l} – множина номерів ІУ, які відповідають l-му НШНФ;

$$Z_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i \text{ умова виникла} \\ 0, & \text{якщо } i \text{ умова не виникла} \end{cases}$$

Інакше кажучи, НШНФ описує один з можливих самостійних варіантів потрапляння системи у небезпечний стан за допомогою мінімального набору ІУ, які необхідні для його виникнення (вибух, пожежа, ураження персоналу, іншого НСС).

Мінімальний переріз запобігання небезпеки є така логічна сума заперечень ІУ \bar{Z}_i з якої жодний з компонентів неможливо вилучити не порушив умов безпечного функціонування системи. Таку суму можливо представити у наступному вигляді:

$$\psi_j = \bigwedge_{i \in K_{\psi_j}} \bar{Z}_i, \quad (2)$$

де K_{ψ_j} - множина номерів, які відповідають j-му МПЗН.

Інакше кажучи, МПЗН описує один з можливих способів порушення небезпечного функціонування за допомогою мінімального набору заборонених умов \bar{Z}_i .

Кожна реальна технічна система має кінцеву кількість НШНФ ($l = 1; 2; \dots; d$) та ($j = 1; 2; \dots; n$). Використав ці поняття, можна по-різному записати умови НСС:

у вигляді диз'юнкції усіх НШНФ

$$y(Z_1, \dots, Z_m) = y(Z_m) = \bigvee_{l=1}^d \varphi_l = \bigvee_{l=1}^d \left[\bigwedge_{i \in K_{\varphi_l}} Z_i \right]; \quad (3)$$

через кон'юнкцію інверсій усіх МПЗН

$$y(Z_1, \dots, Z_m) = y(Z_m) = \bigwedge_{j=1}^n \psi_j = \bigwedge_{j=1}^n \left[\bigvee_{i \in K_{\psi_j}} Z_i \right]. \quad (4)$$

Таким чином, умови небезпечного стану реальної системи можна навести у вигляді умов небезпечного функціонування еквівалентної системи, структура якої є паралельним з'єднанням НШНФ, або іншої еквівалентної системи, структура якої є послідовне з'єднання інверсій МПЗН.

Далі запишемо рівняння для знаходження ймовірності небезпечного стану системи:

$$H_c = P\{y(Z_m) = 1\} = f_1(H_{Z_i}, B_{Z_i}), \quad (5)$$

або ймовірність її безпечного стану

$$B_c = P\{\bar{y}(Z_m) = 1\} = f_2(H_{Z_i}, B_{Z_i}), \quad (6)$$

де $H_{Z_i} = P\{Z_i = 1\}$ та $B_{Z_i} = P\{\bar{Z}_i = 1\}$.

Для складних задач, до якої, наприклад, відноситься оцінка ризику вибуху газової суміші на компресорній станції, перехід до ймовірності за наведеними формулами (5)-(6) досить складна та кропітка робота.

По-перше, необхідно побудувати еквівалентну схему системи безпеки. Так реальній технологічній схемі автомобільної газонакопичувальної компресорної станції (рис. 1) буде відповідати наступна еквівалентна структура паралельного з'єднання НШНФ (рис. 2).

Проведений аналіз свідчить, що найбільш небезпечними з позиції виникнення аварійної ситуації (витікання газової суміші та досягнення вибухонебезпечної концентрації) є компресорне відділення та відділення запираючої апаратури, які, у свою чергу, обладнані системою газоаналізу та вентиляції СГВ 1 та відповідно-дублюючою системою СГВ 2, запуск якої, у разі виходу зі строю основної системи, відбувається автоматично САД або примусово оператором - 9 (див. рис. 1)

Потрібно проаналізувати розвиток небезпечної ситуації - досягнення небезпечної концентрації, вибух, пожежа. У якості НСС прийнято сам факт вибуху, а розвиток подій, які можуть спричинити даний сценарій представлені на рис. 3 у вигляді ДНС, основу якого становлять небезпечні фактори відібрані внаслідок експертизи I етапу.

У якості первинних ІУ виступають Z_1, Z_2 – порушення герметичності газопроводу у компресорному відділенні і відділенні запираючої апаратури у разі техногенної аварії; Z_3, Z_4 – відмови систем СГВ-1 і СГВ-2 у разі

техногенної аварії; Z_5 – неможливість включення системи САД у разі нечітких дій оператора.

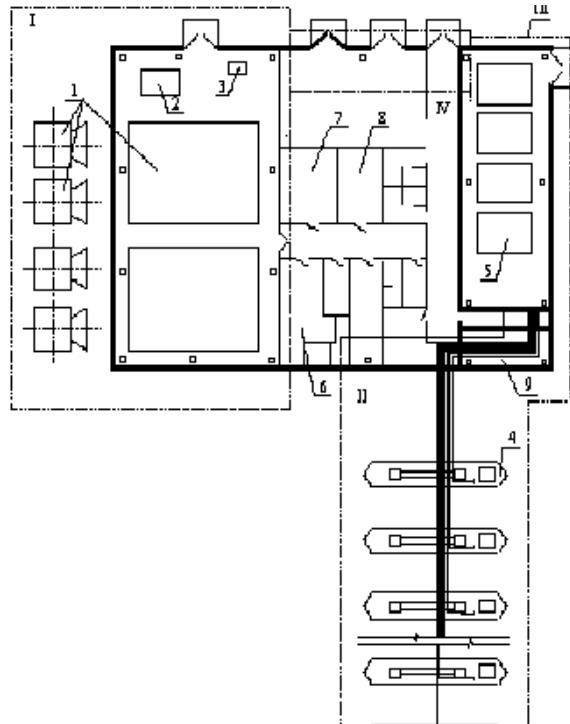


Рис. 1 – Схема газонакопичувальної компресорної станції (I – компресорне відділення: 1 – компресорна установка, 2 – блок сушки газу, 3 ємність збору рідини; II – розподільча газу: 4 – колонка газозаправна; III – відділення запираючої апаратури: 5 – блок арматурний подвоєний; IV – службові приміщення: 6 – вентиляційна камера, 7 – електрощитова, 8 – щитова, 9 – операторська

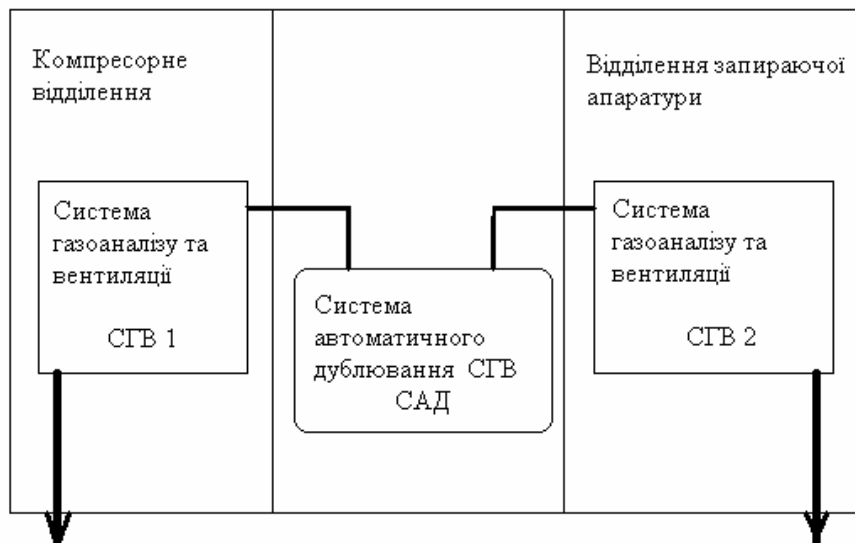


Рис. 2 – Побудова еквівалентної схеми системи безпеки газонакопичувальної компресорної станції

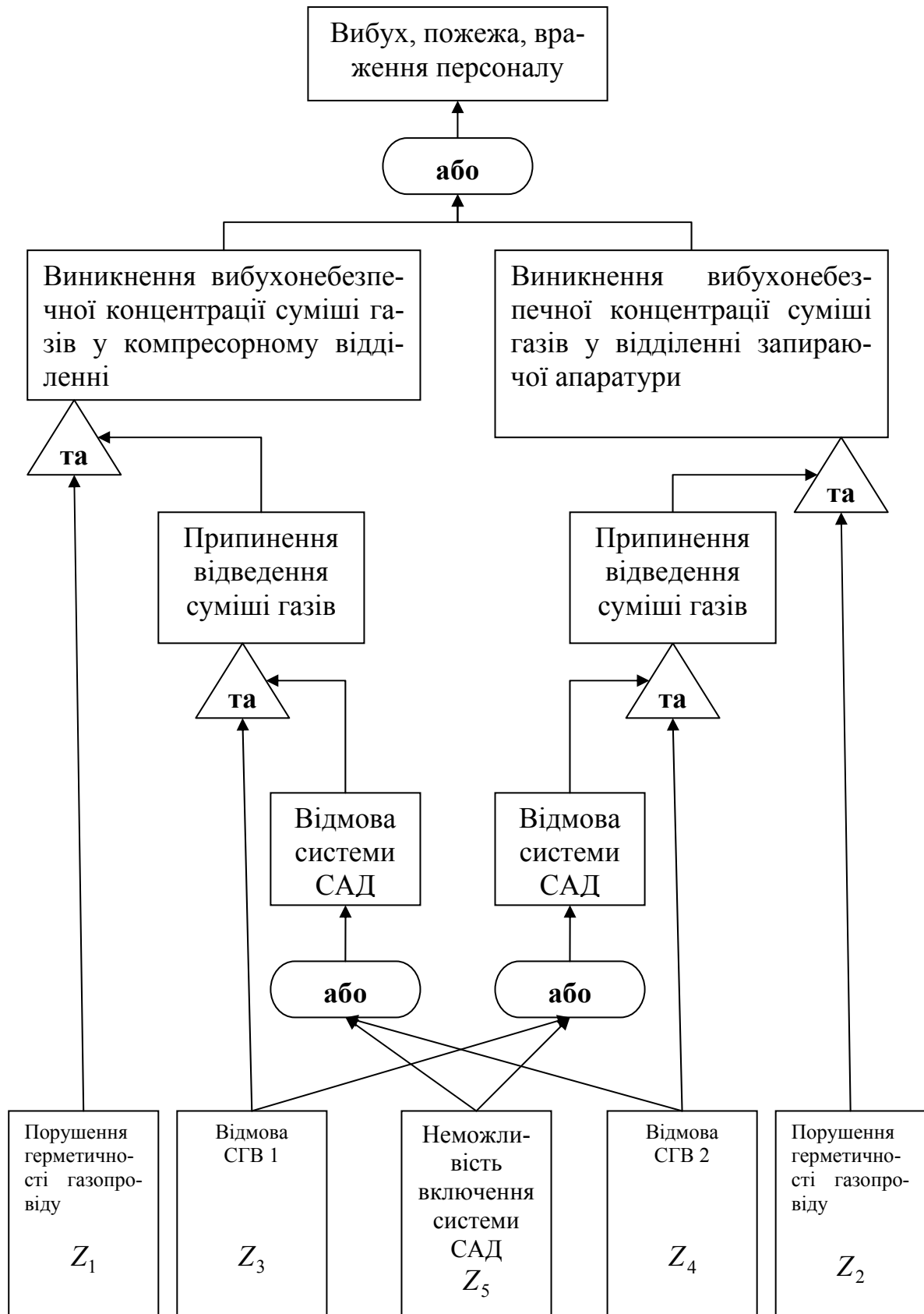


Рис. 3 - Побудова дерева небезпечних станів еквівалентної системи

Модельовання процесу виникнення техногенної аварії на об'єктах підвищеної безпеки нафтогазової промисловості

Складемо ФНС:

$$\varphi_1 = Z_1 Z_3 Z_4; \varphi_2 = Z_1 Z_3 Z_5; \varphi_3 = Z_2 Z_4 Z_5; \varphi_4 = Z_2 Z_4 Z_5; \quad (7)$$

$$y(Z_1, \dots, Z_5) = y(Z_5) = \left| \begin{array}{c|c} Z_1 Z_3 & Z_4 \\ & Z_5 \\ Z_2 Z_4 & Z_3 \\ & Z_5 \end{array} \right|,$$

де кон'юнкції позначені розташуванням аргументів Z_i у рядку, а диз'юнкції – їх розташуванням у стовпці.

Функція алгебри логіки (7), яка записана у диз'юнктивно нормальній формі (ДНФ), монотонна та циклічна. Для проведення подальших розрахунків її необхідно перетворити за допомогою алгоритму ортогоналізації у ортогональну ДНФ (ОДНФ). У результаті проведення цієї процедури ФНС в ОДНФ має вигляд:

$$y(Z_5) = \left| \begin{array}{c} Z_1 Z_3 Z_4 \\ Z_1 Z_3 \bar{Z}_4 Z_5 \\ \bar{Z}_1 Z_2 Z_3 Z_4 \\ Z_2 \bar{Z}_3 Z_4 Z_5 \end{array} \right|. \quad (8)$$

Відповідно до рівнянь (5), (6) та формалізованим записом умов виникнення небезпечного стану об'єкту контролю визначимо рівняння для розрахунку імовірності вибуху газової суміші на газонакопичувальній компресорній станції:

$$H_c = P\{y(Z_5) = 1\} = H_1 H_3 H_4 + H_1 H_3 B_4 H_5 + B_1 H_2 H_3 H_4 + H_2 B_3 H_4 H_5. \quad (9)$$

За допомогою математичного апарату наведеному у [10] визначимо індивідуальні та парні внески ІУ Z_i в небезпеку системи

$$B_{Z_i} = H_c - H_{CB}^{(i)}; B_{Z_i \vee Z_j} = H_c - H_{CBB}^{(i,j)}, \quad (10)$$

де $H_{CB}^{(i)} = P\{y_B^{(i)}(Z_m) = 1\}$; $H_{CBB}^{(i,j)} = P\{y_{BB}^{(i,j)}(Z_m) = 1\}$ – вірогідності небезпеки системи при відсутності і-го; або сукупності і-го та j-го ІУ.

Рівняння для $H_{CB}^{(i)}$, $H_{CBB}^{(i,j)}$ легко визначаються шляхом підстановки у (9) замість $H_{Z_i} = 0$ та $B_{Z_i} = 1$.

$$\begin{aligned}
 H_{CB}^{(1)} &= H_2 H_3 H_4 + H_2 B_3 H_4 H_5; \\
 H_{CB}^{(2)} &= H_1 H_3 H_4 + H_1 H_3 B_4 H_5; \\
 H_{CB}^{(3)} &= H_2 H_4 H_5; \\
 H_{CB}^{(4)} &= H_1 H_3 H_5; \\
 H_{CB}^{(5)} &= H_1 H_3 H_4 + B_1 H_2 H_3 H_4
 \end{aligned}$$

Якщо, наприклад, $H_1 = H_2 = 10^{-5}$; $H_3 = 2 \cdot 10^{-3}$; $H_4 = 10^{-3}$; $H_5 = 10^{-2}$, внески ІУ Z_i в небезпеку системи приведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Величини внесків небезпечних умов у безпечне функціонування системи

I	1	2	3	4	5
$B_{Z_i} \cdot 10^{10}$	2.2	1.2	2.4	1.4	3.0
B_{Z_i}/H_C	0.650	0.354	0.710	0.413	0.885

$$B_{Z_5} > B_{Z_3} > B_{Z_1} > B_{Z_4} > B_{Z_2}; H_C = 3,4 \cdot 10^{-10}.$$

Приведені результати свідчать, що основний вклад у небезпеку системи вносять відмова елементів еквівалентної системи Z_5 та Z_3 .

Наступний крок дослідження – оцінка парних внесків ІУ (табл. 2).

Таблиця 2 – Величини парних внесків небезпечних умов у безпечне функціонування системи

I	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4
J	2	3	4	5	3	4	5	4	5	5
$B_{Z_i \vee Z_j} \cdot 10^{10}$	3.4	2.4	3.4	3.2	3.4	1.4	3.2	3.4	3.4	3.4
$B_{Z_i \vee Z_j}/H_C$	1	0.71	1	0.94	1	0.41	0.94	1	1	1

Як бачимо з табл. 2. парних вкладів шість, а саме:

$$B_{Z_1 \vee Z_2} = B_{Z_1 \vee Z_4} = B_{Z_2 \vee Z_3} = B_{Z_3 \vee Z_4} = B_{Z_3 \vee Z_5} = B_{Z_4 \vee Z_5} = H_C. \quad (11)$$

Внески інших пар розподілені наступним чином:

$$B_{Z_1 \vee Z_5} = B_{Z_2 \vee Z_3} > B_{Z_1 \vee Z_3} > B_{Z_2 \vee Z_4}. \quad (12)$$

Ці рівняння мають логічне пояснення, але для систем з великим числом ІУ та складними логічними зв'язками виявлення ризику всієї системи, вкладів індивідуальних та парних внесків ІУ є складною задачею, яку неможливо вирішити без відповідного математичного апарату. Інвертуючи логічну функцію (7) отримуємо шість МПЗН, які „захищають” систему від небезпеки:

$$\bar{y}(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_4 \\ \bar{Z}_4 \bar{Z}_5 & \bar{Z}_3 \bar{Z}_5 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_1 \bar{Z}_4 \\ \bar{Z}_2 \bar{Z}_3 \\ \bar{Z}_3 \bar{Z}_4 \\ \bar{Z}_3 \bar{Z}_5 \\ \bar{Z}_4 \bar{Z}_5 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_4 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_5 \\ \bar{Z}_4 & \bar{Z}_5 \end{vmatrix}. \quad (13)$$

Даний підхід до аналізу безпеки системи дозволяє у першому наближенні кількісно оцінити важливість різних ІУ при відсутності даних про вірогідність їх виникнення B_{Z_i} . Для цього вводиться „ваговий коефіцієнт” [10]:

$$g_{Z_i} = P\{\Delta_{Z_i} y(Z_m)\}, \quad (14)$$

де $\Delta_{Z_i} y(Z_m) = y_1^{(i)}(Z_m) \wedge \bar{y}_0^{(i)}(Z_m)$ – булева різниця функції $y(Z_m)$ за аргументом Z_i ; $y_1^{(i)}(Z_m)$ – одинична функція, яка отримана шляхом заміни Z_i на одиницю; $y_0^{(i)}(Z_m)$ – нульова функція, яка отримана шляхом заміни Z_i на нуль. Для того щоб провести розрахунок вірогідності (14) приймаємо наступні умови:

$$H_{Z_i} = B_{Z_i} = 0.5, \quad i = 1, \dots, m. \quad (15)$$

Таким чином, бульові різниці ФНС (7) для усіх аргументів мають наступний вигляд:

$$\Delta_{Z_1} y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_2 Z_3 Z_4 \\ \bar{Z}_2 Z_3 Z_5 \\ Z_3 \bar{Z}_4 Z_5 \end{vmatrix}; \quad (16)$$

$$\Delta_{Z_2}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_2 Z_3 Z_4 \\ \bar{Z}_1 Z_4 Z_5 \\ \bar{Z}_3 Z_4 Z_5 \end{vmatrix}; \quad (17)$$

$$\Delta_{Z_3}y(Z_5) = \begin{vmatrix} Z_1 \bar{Z}_2 Z_4 \\ Z_1 \bar{Z}_2 Z_5 \\ Z_1 \bar{Z}_4 Z_5 \\ Z_1 Z_4 \bar{Z}_5 \\ Z_2 Z_4 \bar{Z}_5 \end{vmatrix}; \quad (18)$$

$$\Delta_{Z_4}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 Z_2 Z_3 \\ \bar{Z}_1 Z_2 Z_5 \\ Z_2 \bar{Z}_3 Z_5 \\ Z_1 Z_3 \bar{Z}_5 \\ Z_2 Z_3 \bar{Z}_5 \end{vmatrix}; \quad (19)$$

$$\Delta_{Z_5}y(Z_5) = \begin{vmatrix} Z_2 \bar{Z}_3 Z_4 \\ Z_1 Z_3 \bar{Z}_4 \end{vmatrix}. \quad (20)$$

Після приведення рівнянь (16) – (20) до ОДНФ вони мають наступний вигляд:

$$\Delta_{Z_1}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_2 Z_3 Z_4 \\ Z_3 \bar{Z}_4 Z_5 \end{vmatrix}; \quad \Delta_{Z_2}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 Z_3 Z_4 \\ \bar{Z}_3 Z_4 Z_5 \end{vmatrix}; \quad (21)$$

$$\Delta_{Z_3}y(Z_5) = \begin{vmatrix} Z_1 \bar{Z}_2 Z_4 \\ Z_1 \bar{Z}_4 Z_5 \\ Z_2 Z_4 \bar{Z}_5 \end{vmatrix}; \quad \Delta_{Z_4}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 Z_2 Z_3 \\ Z_1 Z_3 \bar{Z}_5 \\ Z_3 \bar{Z}_3 Z_5 \end{vmatrix}.$$

Підставив у рівняння (20) та (21) вірогідність, яка дорівнює 0.5 з умови (15), отримаємо $g_{Z_1} = 0.25$; $g_{Z_2} = 0.25$; $g_{Z_3} = 0.375$; $g_{Z_4} = 0.375$; $g_{Z_5} = 0.25$. З об'єктивного розгляду, увагу слід привернути розгляду умов Z_3 та Z_4 .

Вагові коефіцієнти парних внесків ІУ Z_i та Z_j визначаються як:

$$g_{Z_i \wedge Z_j} = P\{\Delta_{Z_i} y(Z_m) \wedge \Delta_{Z_j} y(Z_m)\};$$

$$g_{Z_i \vee Z_j} = g_{Z_i} + g_{Z_j} - g_{Z_i \wedge Z_j},$$
(22)

де $g_{Z_i \wedge Z_j}$ – спільна вага; $g_{Z_i \vee Z_j}$ – сумарна вага елементів Z_i та Z_j у системі. Результат розрахунку за рівняннями (20), (21) та (22) наведено у таблиці 3.

Складові елементи ваги вказують на ступень важливості внесків ІУ у систему безпеки газонакопичувальної компресорної станції, які ілюструються графом взаємозв'язків елементів ФНС (рис. 3), де товщина ліній зв'язку відповідає результатам табл. 3.

Таблиця 3 – Величини вагових коефіцієнтів взаємодії елементів функції безпеки системи

i	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4
j	2	3	4	5	3	4	5	4	5	5
$g_{Z_i \wedge Z_j}$	0.0625	0.125	0.0625	0.0625	0.0625	0.125	0.0625	0.0625	0.125	0.125
$g_{Z_i \vee Z_j}$	0.4375	0.500	0.4375	0.4375	0.4375	0.500	0.4375	0.6475	0.500	0.500

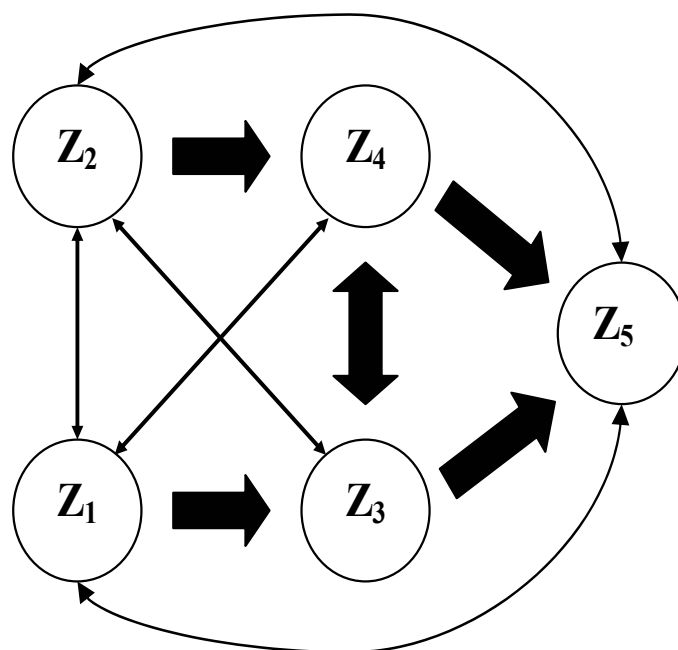


Рис. 4 – Граф взаємозв'язків елементів забезпечення безпечного функціонування системи

Як бачимо, аргументи Z_3 та Z_4 мають три контакти. Суміжні вершини мають два контакти, і відповідно важать дещо менше - 0,5, ще меншу вагу (0.4375) мають дальні вершини, незважаючи на те, що вони також мають два контакти.

Висновки. Таким чином ми отримали найпростіший сценарій виникнення аварії на газонакопичувальній компресорній станції з урахуванням найбільш впливових, з погляду експертів [14], небезпечних факторів. Оцінили вразливість технологічних елементів системи та їх взаємовплив на забезпечення ефективного функціонування об'єкту. Побудували детерміновану модель, яка дозволяє застосувати практичні міри захисту від попадання системи об'єкта контролю у небезпечні стани та надалі розробити дієві заходи пов'язані, як з технічним переоснащенням об'єктів нафтогазового комплексу, так і підвищенням рівня підготовки персоналу цих об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь „Стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2002 році” – К.: Чорнобильінтерінформ, 2003. - 291 с.
2. Національна доповідь „Стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2003 році” – К.: Чорнобильінтерінформ, 2004. - 320 с.
3. Національна доповідь „Стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2004 році” – К.: Чорнобильінтерінформ, 2005. - 298 с.
4. Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю., Коротинський П.А., Миронец С.М., Росоха В.О., Тютюник В.В., Чучковский С.М., Шевченко Р.І. Моніторинг надзвичайних ситуацій. - Харків: АЦЗУ, 2005. – 530 с.
5. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. – М., 2003. – 506 с.
6. Васюков Г.В., Корольченко А.Я., Рубцов В.В. Образование взрывоопасных объемов при аварийном поступлении пропан-бутановых смесей в помещение // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. – вып. 6. – С. 39-42.
7. Вишняков Я.Д., Лосева В.В. О влиянии человеческого фактора в задачах ликвидации чрезвычайных ситуаций // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2005. – вып. 4. – С. 137-146.
8. Едигаров А.С., Сулейманов В.А. Математическое моделирование аварийного истечения и рассеивания природного газа при разрыве газопровода // Математическое моделирование. – 1995, - т. 7. № 4. – С. 37-52.

9. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. - М.: Наука, 1986. – 350 с.
10. Рябинин И.А. Концепция логико-вероятностной теории безопасности // Приборы и системы управления. – 1993. - № 10. – С. 6 - 9.
11. Серебровский А.Н. Об оценках ситуаций по потенциально опасным объектам на этапе превентивного мониторинга // Мат. машини і системи. – 2000. – № 1. – С. 57 – 64.
12. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. / Под общ. редак. Сиромятникова В.С. – М.: Машиностроение, 1984, - 620 с.
13. Чурбанов О.И., Овсяник А.И., Олтян И.Ю. Научно-методический аппарат прогнозирования параметров опасных зон для населения и территорий при авариях на магистральных газопроводах // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2004. – вып. 1. – С. 80-84.
14. Шевченко Р.І., Одарюк П.В., Тютюник В.В. Оцінка ефективності інтегрованої системи безпеки функціонування підприємств нафтопереробної промисловості // Проблеми пожежної безпеки. – 2005. – вип. 18. – С. 185 – 191.



*Созник А.П., д-р физ.-мат. наук, проф.,
Захаренко О.В., адъюнкт*

Академия гражданской защиты Украины

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ИЗ РЕЗЕРВУАРА В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Предложена модель для расчёта распределения концентраций химических веществ при нестационарных условиях, с учётом ветра и явлений турбулентной диффузии

Постановка проблемы. Аварии, пожары на химических предприятиях ликвидируются аварийно-спасательными подразделениями МЧС совместно с сотрудниками предприятий. При разливе или выбросе химического вещества в атмосферу локализацию и ликвидацию последствий такой аварии проводят в условиях следующих опасных факторов: токсического заражения; избыточного давления, которое возникает при возможной вспышке горючего химического вещества; мощного теплового потока в случае возникновения огненного шара [1]. Во всех случаях для безопасной расстановки сил и средств, выбора маршрута следования до места аварии, необходимо знать пространственно-временное распределение концентрации химических веществ, а также размеры зон действия указанных поражающих факторов.

Анализ последних исследований и публикаций. Существующие в настоящее время методики [2,3] прогнозирования последствий выброса при авариях на химических объектах и транспорте предлагают очень грубые и приближённые методы расчётов зон возможного химического заражения, которые не учитывают концентрацию химического вещества в зоне заражения, её изменение с течением времени, а также возможность образования взрывопожароопасных смесей. В то же время методы расчётов концентрации, представленные в [4,5], зачастую сложны для проведения оперативных расчётов и требуют значения большого количества трудноопределяемых параметров. Кроме того, собственно характеристики химического вещества используются только для нахождения количества выброшенного вещества или мощности выброса. Само же распространение облака и значения концентраций описывается одинаково для любых химических веществ с помощью либо гауссовских либо дробно-рациональных полуэмпирических функций.

Кроме того, в [2,5] обычно отдельно рассматривают распространение первичного облака, образующегося в результате очень быстрого перехода в атмосферу части химического вещества, и вторичного, которое возникает при длительном выбросе и испарении из разлива. В результате описания концентрации в обоих случаях существенно отличается.

Постановка задачи и её решение. Нами рассмотрена модель для расчёта распределения концентраций химических веществ при точечном источнике выброса и нестационарных условиях их распространения в атмосфере. Предлагаемая модель базируется на решении уравнения диффузионного типа [6] для распределения концентрации $\varphi = \varphi(\vec{r}, t)$, которое представлено в виде

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \vec{u} \vec{\nabla} \varphi + \sigma \varphi - \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \varphi - \nu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = Q \delta(\vec{\rho}) \delta(z - z_0) \theta(\tau - t), \quad (1)$$

где $\vec{u} = (v_x, v_y, v_z)$ - скорость ветра, м/мин, σ - коэффициент, который описывает убывание вещества за счет химических реакций, проходящих в атмосфере, мин^{-1} , μ и ν - коэффициенты горизонтальной и вертикальной диффузии, $\text{м}^2/\text{мин}$, Q - мощность источника, кг/мин, $\delta(\rho)$ - дельта-функция, $\vec{r} = (x, y, z)$, $\vec{\rho} = (x, y)$, z_0 - высота источника выброса, м, z - высота наблюдения, м, ось Oz направлена вверх, τ - время работы источника, мин, t - время наблюдения, мин.

Решение уравнения (1), удовлетворяющее начальному условию $\varphi(\vec{r}, 0) = 0$ и граничным условиям $\varphi(\vec{r}, t)_{r \rightarrow 0} \rightarrow 0$ и $\partial \varphi(\vec{r}, t) / \partial z|_{z=0} = 0$, можно представить в виде

$$\varphi(\vec{r}, t) = t \int_0^1 \Phi(\vec{r}, t(1-u)) du, \quad t < \tau \quad (2)$$

$$\varphi(\vec{r}, t) = \tau \int_0^1 \Phi(\vec{r}, t - \tau u) du, \quad t > \tau \quad (3)$$

а функция источника $\Phi(\vec{r}, t)$ определяется выражением

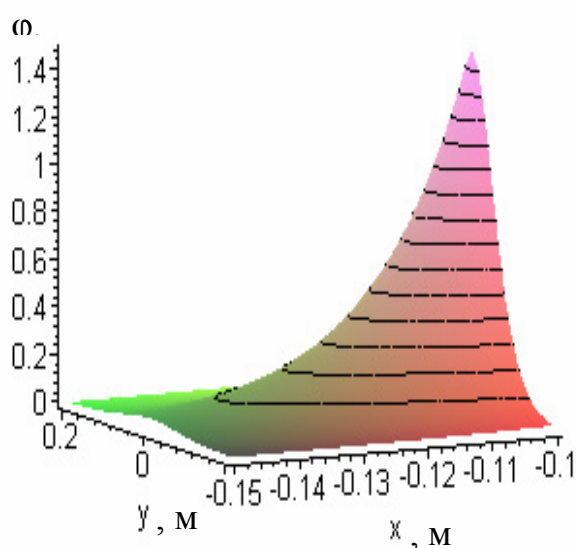
В [2,4] предполагается, что ветер направлен вдоль оси Ox (v), а величина v_z описывает скорость опускания (поднимания) химических веществ под действием силы тяжести. Выражения (2), (3) учитывают высоту нахождения источника химического вещества, позволяют рассчитывать рас-

пределение концентраций на различных расстояниях от поверхности земли и учитывают время работы источника и время наблюдения.

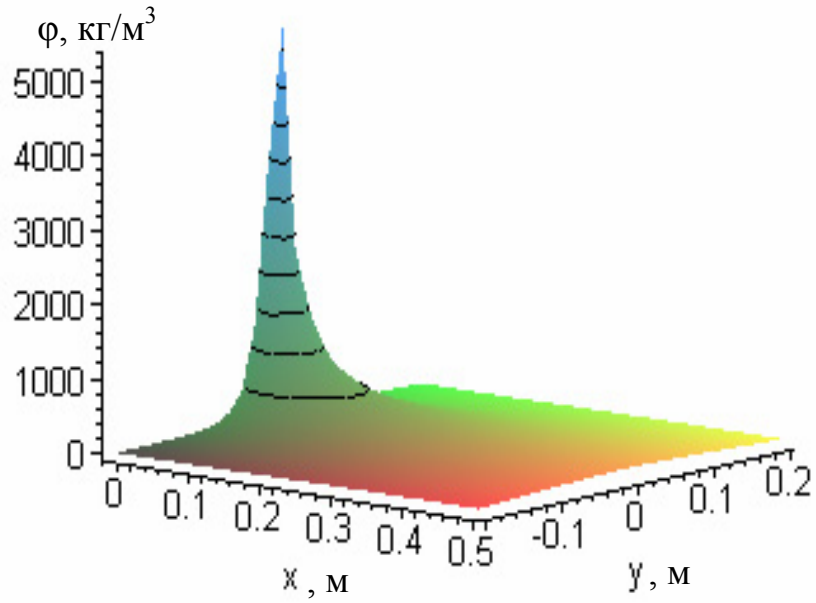
$$\Phi(\vec{r}, t) = \frac{Q}{2(2\pi)^3} \frac{\pi}{\mu} \sqrt{\frac{\pi}{v}} \frac{1}{t^{3/2}} \exp\left[-\sigma t - \frac{y^2 + (x - vt)^2}{4\mu t}\right] \times \{H_1(z) + H_2(z)\} \quad (4)$$

$$H_{1,2}(z) = \exp\left[-\frac{(z \pm z_0 \pm v_z t)^2}{2\mu t}\right]$$

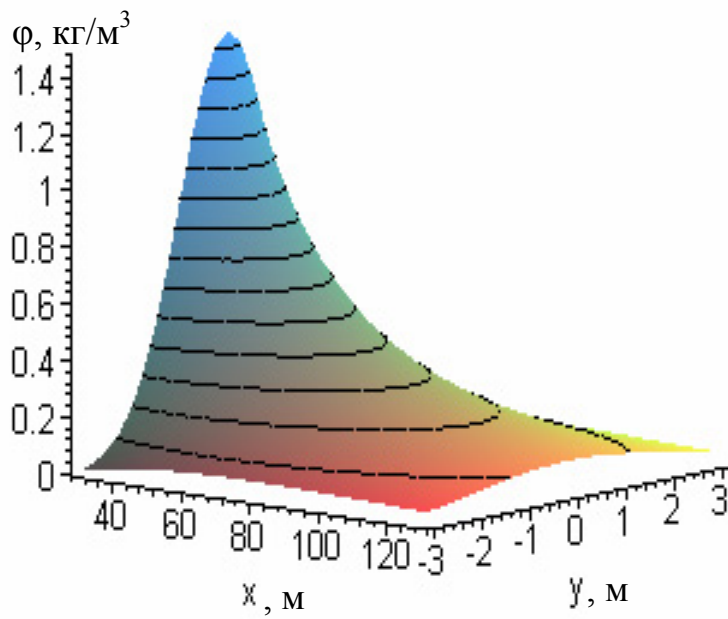
При этом формула (2) описывает ситуацию действующего источника и соответствует распространению вторичного облака в течении времени $t < \tau$. Выражение (3) можно использовать для определения концентрации в облаке в момент времени $t > \tau$, т.е. для описания распространения первичного облака. Отметим, что значение Q в обоих случаях можно рассчитать, пользуясь [4,5]. В качестве примера на рис. 1 приведены результаты наших расчётов распределений концентраций в случае выброса химического вещества с использованием выражений (2), (3) при таких значениях параметров: $Q = 1500 \text{ кг/мин}$, $\sigma = 1,2 \text{ мин}^{-1}$, $\mu = v = 2 \text{ м}^2/\text{мин}$, $z_0 = z = 2 \text{ м}$, $V = 120 \text{ м/мин}$, $Vz = 0.6 \text{ м/мин}$, $\tau = 10 \text{ мин}$, $t = 5 \text{ мин}$, $t = 15 \text{ мин}$.



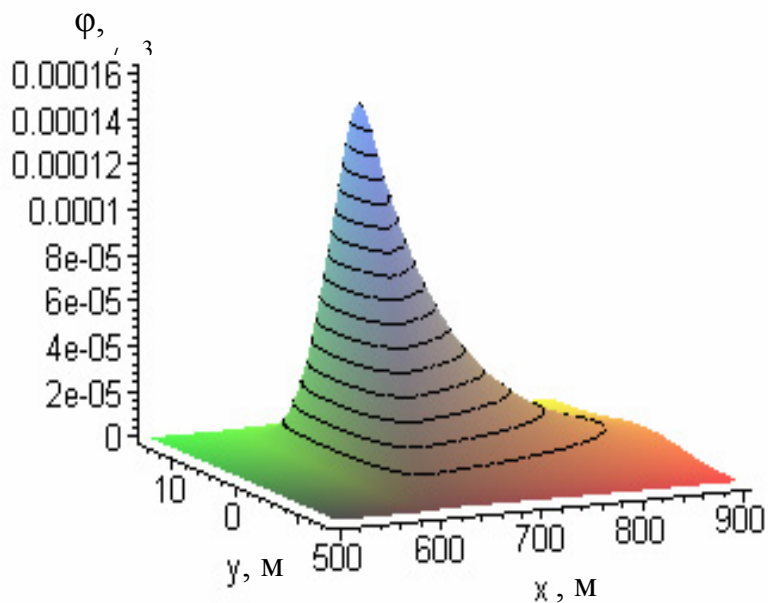
а



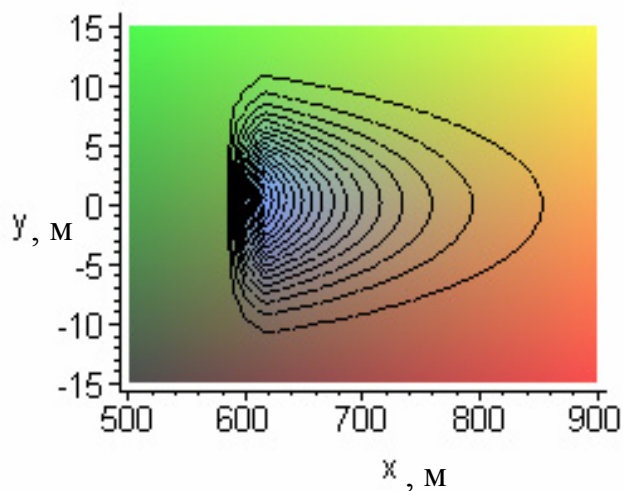
б



в



Г



Д

Рис. 1 – Пространственное распределение концентрации вещества: а,б,в – через 5 мин после начала выброса при работающем источнике, г,д – через 15 мин после начала выброса вещества из источника (или через 5 мин после окончания работы источника)

Представим оперативную обстановку в случае выброса химического вещества, который продолжается в течении 10мин.

Первый вариант - подразделения аварийно-спасательной службы прибыли на место через 5 мин. после начала выброса вещества и проводят ликвидацию аварии в условиях продолжающего работать источника. Используя формулу (2) получаем распределение концентрации (рис. 1а, б, в), которое имеет максимум при $x \approx 0$ и существенно отличные от нуля значения в направлении против ветра. В направлении по ветру на расстояниях от 40м до 120м от работающего источника концентрация убывает (при $y=0$) от $1,4 \text{ кг/м}^3$ до $0,1 \text{ кг/м}^3$ (рис. 1в). Облако токсического заражения в плане (на плоскости Oxy) имеет форму вытянутого по оси ox эллипса.

Другой вариант - источник проработал 10 мин. и локализация аварии проводится через 5 мин после его остановки (через 15 мин. после начала работы источника). Применяя выражение (3) находим распределение концентрации химического вещества, которое имеет максимальное значение $0,00016 \text{ кг/м}^3$ на расстоянии 600 м от источника (рис. 1г). Приведенные на рис. 1д линии равных значений концентрации показывают, что в плане (на плоскости Oxy) распространяющееся облако имеет форму близкую к треугольной.

Выводы. Выражения (2), (3) позволяют провести расчёт токсического заражения атмосферы пассивными и активными примесями с учётом высоты нахождения источника и высоты наблюдения, а также времени работы источника и времени наблюдения, т.е. как для первичного, так и для вторичного облаков. Значение рассчитанных распределений концентраций позволяет оперативно получить информацию о зоне токсического заражения по известному значению предельно допустимой концентрации. Кроме того, предлагаемый подход даёт возможность найти зоны, в которых концентрация достигает верхнего и нижнего концентрационных пределов воспламенения. В результате, при наличии в этой области источника зажигания можно рассчитать влияние других, отмеченных в начале статьи, опасных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств-М.: Мир,1989.-672с.
2. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. Затверджена Наказом Міністерства з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Міністерства аграрної політики, Міністерства економіки, Міністерства екології і природних ресурсів від 27.03.2001 р. № 73/82/64/122.

3. Методика прогнозування масштабів зараження сильнодіючими ядовитими речовинами при аваріях (разрушеннях) на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті. Затверджена начальником Громадянської оборони СРСР і головою Госкомгідромета СРСР 23 березня 1990р.
4. 4.Методика оцінки наслідків хімічних аварій (Методика „Токсичність”. Редакція 2.2). Затв. ГУП „НТЦ „Промислова безпека”, 2002
5. 5.Методика розрахування концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться в викидах підприємств. ОНД-86
6. Г.І.Марчук. Математичне моделювання в проблемі навколишнього середовища.-М.: Наука, 1982.-320с.



УДК 621.3

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

Академия гражданской защиты Украины

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В РЕЗЕРВУАРНОМ ПАРКЕ

Поставлена задача оптимального расположения стволов для охлаждения резервуаров при пожаре в резервуарном парке с нефтепродуктами. Рассматриваются детерминированная и стохастическая постановки задачи. Предложен алгоритм решения, охватывающий оба случая

Постановка проблемы. Первостепенной задачей пожарных подразделений при пожаре в резервуарном парке является охлаждение горящего резервуара и соседних с ним. Очевидно, что существует множество возможных позиций для расположения стволов, охлаждающих резервуар. В связи с этим возникает вопрос об их наилучшем в некотором смысле расположении.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1, 2] построена модель нагрева резервуара с нефтепродуктом под действием излучения от факела горящего резервуара. Методика расчета сил и средств для защиты резервуаров и подготовки пенной атаки рассмотрена в специальной литературе [3, 4]. При этом остается открытым вопрос о том, что делать, если не удастся сразу развернуть достаточно стволов для охлаждения резервуаров, и как выбрать первоочередную задачу.

Постановка задачи и ее решение. На оценку удачности того или иного варианта размещения стволов влияют следующие факторы.

1. Эффективность охлаждения.
2. Безопасность относительно возможного взрыва или разлива нефтепродукта.
3. Достижимость резервуара струей воды из ствола.
4. Тепловой поток от горящего резервуара.
5. Наличие препятствий (резервуаров или других сооружений) между стволом и охлаждаемым резервуаром.
6. Другие ограничения, связанные с тактико-техническими характеристиками используемых стволов или правилами техники безопасности.

Факторы 2-6 фактически являются ограничениями, а 1 – критерием задачи оптимального расположения стволов для охлаждения резервуаров. Другими словами, мы хотим добиться наилучшего охлаждения, исходя из

имеющихся сил и средств таким образом, чтобы выполнить ограничения 2-6.

Сформулируем основные допущения, лежащие в основе задачи оптимизации.

1. В распоряжении имеется m стволов со временами боевого развертывания t_1, t_2, \dots, t_m . Различное время, требуемое для их подготовки, связано, в первую очередь, с неодновременным прибытием пожарных подразделений к месту пожара. Различие может быть вызвано также тактико-техническими характеристиками тех или иных стволов. Будем предполагать, что

$$t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_m,$$

в противном случае перенумеруем стволы так, чтобы указанное неравенство было выполнено. Каждому стволу присущи свои тактико-технические характеристики и, следовательно, ограничения, вытекающие из 2-6, могут быть своими для каждого из стволов.

2. Размеры стволов пренебрежимо малы по сравнению с резервуарами; два ствола могут быть сколь угодно близко расположены друг к другу или к другим объектам резервуарного парка.

3. Форма факела над горящим резервуаром может быть приближенно описана конусом, наклоненным под действием ветра. При рассмотрении стохастической модели пожара [2], это требование можно снять, заменив его предположением о нормальном законе распределения пульсаций пламени и его температуры.

4. Тепловые процессы в горящем и соседних с ним резервуарах могут быть описаны моделями, приведенными в [1, 2].

5. В ходе развертывания сил и средств боевая обстановка на пожаре не изменяется: не происходит новых возгораний, взрывов, проливов нефтепродукта.

6. Задача, поставленная перед стволом, остается неизменной на протяжении всего рассматриваемого промежутка времени.

Перед пожарными подразделениями стоит задача охлаждения стенок, как горящего резервуара, так и соседних с ним. В дальнейшем, если это специально не оговорено, под охлаждаемым резервуаром будем понимать оба этих случая. Кроме того, необходимо предусмотреть один лафетный ствол для охлаждения дыхательной арматуры на соседних резервуарах [3, 4].

Рассмотрим охлаждение группы из N резервуаров, среди которых есть горящие и негорящие. Каждый резервуар разобьем вертикальными секущими плоскостями, проходящими через его ось, на n одинаковых сегментов. Для простоты будем считать, что каждый резервуар разбивает-

ся на одинаковое количество сегментов, но дальнейшие рассуждения не изменятся и в случае, когда количество сегментов различно. Будем предполагать, что температуры одинаковы в пределах каждого из сегментов. Обозначим, через $T_{rk}(t)$ температуру k -го сегмента охлаждаемого резервуара r в момент времени t . Для каждого резервуара введем критическую температуру $T_r^{(кр)}$ – такую температуру, выше которой не должна подниматься температура его стенок и крыши. Для горящего резервуара критической является температура порядка 500-600 °С. При достижении этой температуры прочность стали резко падает, и возможна деформация сухой стенки резервуара. Для соседних резервуаров критической является температура самовоспламенения паров нефтепродукта. При ее достижении возможен взрыв резервуара (если концентрация паров в газовом пространстве лежит между нижним и верхним концентрационными пределами распространения пламени), либо горение на дыхательной арматуре (если концентрация паров превосходит верхний предел).

В зависимости от того рассматривается детерминированная [1] или стохастическая [2] модель нагрева соседних резервуаров от пламени горящего резервуара, возможно построение различных оптимизационных задач.

Для детерминированного случая введем «штрафную» функцию:

$$H(T, T_{кр}) = \begin{cases} 0, & T < T_{кр} \\ h(T, T_{кр}) > 0, & T \geq T_{кр}, \end{cases}$$

где $T_{кр}$ – критическая температура; $h(T, T_{кр})$ – неотрицательная функция, описывающая «штраф» за превышение температурой критического значения. В качестве $h(T, T_{кр})$ имеет смысл выбирать вогнутую функцию, чтобы штраф рос быстрее, чем температура. Такая штрафная функция будет отдавать предпочтение более равномерному охлаждению резервуара. Например, $h(T, T_{кр}) = (T - T_{кр})^2$.

Применительно ко всем резервуарам на отрезке времени $[0, t_0]$, $t_0 > t_m$, штрафная функция примет вид:

$$H = \int_0^{t_0} \sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^n H(T_{rj}(t), T_r^{(кр)}) dt.$$

Для того чтобы учесть необходимость охлаждения дыхательной арматуры резервуара, соседнего с горящим, дополним последнее выражение еще одним слагаемым:

$$H = \int_0^{t_0} \left(\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^n H(T_{rj}(t), T_r^{(kp)}) + \sum_r H(T_r^{(a)}(t), T_r^{(kp)}) \right) dt,$$

где $T_r^{(a)}(t)$ – температура на дыхательной арматуре резервуара r . Штрафная функция для температуры дыхательной арматуры вычисляется только для тех резервуаров, которые не горят.

Будем считать охлаждение, тем эффективнее, чем меньше температура каждого из сегментов выходит за критический предел T_{kp} . Задача в том, чтобы не допустить выход температур за критические пределы. Тогда вопрос об эффективности охлаждения сводится к минимизации штрафной функции:

$$H = \int_0^{t_0} \left(\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^n H(T_{rj}(t), T_r^{(kp)}) + \sum_r H(T_r^{(a)}(t), T_r^{(kp)}) \right) dt \rightarrow \min. \quad (1)$$

Для стохастического подхода в качестве функции цели возьмем вероятность достижения температурой одного из резервуаров критического значения хотя бы в одной точке на отрезке времени $[0, t_0]$:

$$p(0, t_0) = P \left\{ \bigcup_{r=1}^N \bigcup_{k=1}^n \bigcup_{t \in [0, t_0]} (T_{rk}(t) > T_r^{(kp)}) \right\}.$$

В этом случае критерием оптимизации будет минимум вероятности $p(0, t_0)$, т.е. минимум риска деформации горящего резервуара или взрыва (горения на дыхательных клапанах) соседних:

$$H = p(0, t_0) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Таким образом, основное отличие между стохастической и детерминированной постановками задачи состоит в выборе целевой функции. Области же допустимых решений оптимизационных задач (1) и (2) принципиально не отличаются. Рассмотрим их построение. Перед каждым стволом будем ставить боевую задачу, состоящую в указании номера резервуара r и перечислении тех сегментов резервуара, которые он должен охлаждать, либо указания резервуара r , дыхательную аппаратуру которого он должен охлаждать. Это означает, что боевая задача для ствола k может быть описана тройкой целых чисел (r_k, s_k, f_k) , $1 \leq r_k \leq N$, $1 \leq f_k \leq n$, $1 \leq s_k \leq n$, задающих резервуар r_k и диапазон охлаждаемых сегментов от

сегмента s_k до f_k включительно. Под задачей $(r_k, 0, 0)$ будем понимать охлаждение дыхательной арматуры резервуара r_k . Под задачей $0_k = (0, 0, 0)$ будем понимать бездействие ствола k , т.е. не использование его для выполнения какой-либо задачи. Тогда общая боевая задача для всех m стволов, имеющих в распоряжении, может быть описана вектором размерности $3m$ с целочисленными координатами:

$$(r_1, s_1, f_1, r_2, s_2, f_2, \dots, r_m, s_m, f_m).$$

Множество всех таких векторов образует множество возможных боевых задач Z . Однако не всякая такая задача является выполнимой. Так, из геометрических соображений ясно, что один ствол не может охлаждать более чем полупериметр резервуара, т.е.

$$\|s_k - f_k\| < \frac{n}{2},$$

где $\|s - f\|$ – количество охлаждаемых сегментов:

$$\|s - f\| = \begin{cases} f - s + 1, & f - s \geq 0 \\ f - s + n + 1, & f - s < 0. \end{cases}$$

Условия 2-6, приведенные выше, накладывают дополнительные ограничения на множество допустимых боевых задач $\Omega \subset Z$.

Ввиду того, что область допустимых решений Ω задач (1) или (2) не является выпуклой (более того, она может быть несвязной или «дырявой»), а целевая функция также не выпукла, то применение к (1), (2) таких классических методов оптимизации как метод покоординатного спуска, дифференциальный алгоритм и др. оказывается невозможным. Множество допустимых решений хотя и дискретно, но велико: полный перебор потребует рассмотрения порядка $(Nn/2)^{2m}$ вариантов.

Обозначим через Z_k множество всех боевых задач для k -го ствола. Рассмотрим введение первого ствола. Для каждой выполнимой задачи $(r_1^{(i)}, s_1^{(i)}, f_1^{(i)}) \in Z_1$ вычислим значение целевой функции. Дополнительно учтем также возможность бездействия данного ствола 0_1 , и для нее также вычислим целевую функцию. Из полученных вариантов действий сформируем множество $\Omega_1 \subset Z_1$, состоящее из тех боевых задач, для которых значение целевой функции минимально:

$$\Omega_1 = \left\{ (r_1^{(i)}, s_1^{(i)}, f_1^{(i)}) : H_i = H_{\min} \right\}.$$

Это множество непусто, т.к. если ни одна из задач не выполнима, то оно будет содержать элемент 0_1 – бездействие ствола.

Теперь переходим к выбору задачи для второго ствола. Для каждого элемента $\omega_1 \in \Omega_1$ рассматриваем возможные боевые задачи Z_2 для второго ствола, в том числе и вариант его неиспользования 0_2 , и вычисляем значения целевой функции. Из полученных вариантов сформируем множество $\Omega_2 \subset \Omega_1 \times Z_2$, состоящее из тех боевых задач, для которых значение целевой функции минимально:

$$\Omega_2 = \left\{ (r_1^{(i)}, s_1^{(i)}, f_1^{(i)}, r_2^{(i)}, s_2^{(i)}, f_2^{(i)}) : H_i = H_{\min} \right\}.$$

После этого переходим к выбору задачи для следующего ствола. Продолжаем этот процесс до тех пор, пока не дойдем до последнего ствола и не сформируем для него множество $\Omega_m = \Omega_{m-1} \times Z_m$:

$$\Omega_m = \left\{ (r_1^{(i)}, s_1^{(i)}, f_1^{(i)}, r_2^{(i)}, s_2^{(i)}, f_2^{(i)}, \dots, r_m^{(i)}, s_m^{(i)}, f_m^{(i)}) : H_i = H_{\min} \right\}.$$

Из полученного множества вариантов Ω_m , равноценных в смысле целевой функции (1), (2), остается выбрать тот вариант распределения боевых задач между стволами, который задействует минимальное количество стволов.

Выводы. Предложенный алгоритм не гарантирует нахождения глобального минимума задачи оптимизации. Возможны ситуации, когда существует лучшее решение, чем даваемое алгоритмом. Но даже в этом случае полученное решение является достаточно хорошим и может послужить отправной точкой для принятия окончательного решения.

Особенностью данного алгоритма является то, что наложение большего количества ограничений сужает множество рассматриваемых вариантов Ω_k и повышает скорость расчетов. Напротив, наличие многих равноценных вариантов существенно замедляет расчеты.

Суть алгоритма не зависит от вида целевой функции и ограничений, поэтому подобный подход может быть использован для оптимизации расстановки стволов в резервуарных парках, но и на других объектах.

Построенное решение может быть использовано как при разработке оперативных планов пожаротушения в резервуарных парках, так и для размещения стационарных стволов на этапе проектирования. Даже в том случае, когда РТП не следует предложенной схеме развертывания сил и средств, а опирается на свой опыт, построенное решение может рассматриваться как первое приближение.

Перспективы дальнейших исследований связаны с построением оценок вероятностей выхода температуры за критический уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Влияние пожара на резервуар с нефтепродуктом // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сб. научных трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2005, Вып. 29. – С. 131-133.
2. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Оценка параметров распределения температуры сухой стенки резервуара при пожаре // Науковий вісник будівництва. Зб. наукових праць. – Харків: ХДТУБА, 2005, вип. 34. – С. 167-172.
3. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
4. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках / ГУГПС МВД России. – М.: ВНИИПО, 1999.



УДК 614.8

*Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр.,
Кривцова В.И., д-р техн. наук, проректор,
Левтеров А.А., канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
Ключка Ю.П., адъюнкт*

Академия гражданской защиты Украины

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ГЕНЕРАТОРЕ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ ОБРАТИМЫХ ГИДРИДОВ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ

Для газогенераторов на основе обратимых гидридов интерметаллидов предложена математическая модель, в основе которой лежит использование законов сохранения массы и энергии. Получены динамические характеристики газогенератора в виде передаточных функций

Постановка проблемы. Эксплуатация систем хранения и подачи (СХП) водорода на основе обратимых гидридов интерметаллидов сдерживается отсутствием сведений о пожаровзрывоопасности таких систем. Несмотря на многочисленные работы, посвященные использованию водорода, на сегодняшний день не решен целый комплекс задач, связанных с особенностями генерации водорода как в штатном режиме, так и в аварийном.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время известны публикации, посвященные процессам генерации водорода системами данного типа применительно к штатным режимам работы [1]. В то же время, отсутствуют сведения, характеризующие поведение систем хранения на основе обратимых гидридов интерметаллидов в аварийных режимах.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является изучение процессов генерации водорода в аварийных режимах, в частности, при разгерметизации генератора, резком повышении температуры и давления в нем и т.д. В генераторе водорода данного типа в процессе работы как в стационарном режиме, так и в аварийном режиме, могут изменяться такие параметры, как давление водорода, температура, концентрация водорода в интерметаллиде, количество подводимого тепла. При этом, изменение входных параметров генератора водорода может повлечь за собой изменение выходных параметров газогенератора, таких как температура выделяемого водорода и его давление.

Для описания режима работы генератора водорода можно воспользоваться методом «нульмерной» баллистики [2, 3]. В этом случае возможен эквивалентный переход от математического описания процессов в генераторе водорода с распределенными параметрами к построению матема-

тических моделей с сосредоточенными параметрами, которые строятся для усредненных по объему газодинамических характеристик.

При использовании этого метода, для квазипостоянного состава продуктов реакции газогенерации, в соответствии с законами сохранения массы и энергии, в первом приближении можно записать [4, 5]

$$\begin{cases} V \frac{dP}{dt} = kRT_* \chi S \rho U - k \sqrt{RT} \mu A_k P F; \\ \rho V \frac{dT}{dt} = (k \chi T_* - T) \rho S U - (k - 1) \mu A_k P F \frac{T}{\sqrt{RT}}, \end{cases} \quad (1)$$

где P, T – соответственно усредненные по объему давление и температура газовой фазы в генераторе; U – усредненная по объему скорость газогенерации; V – свободный объем полости газогенератора; k – показатель адиабаты; R – газовая постоянная; T_* – средняя температура в зоне реакции на границе раздела фаз; χ – средний по объему и времени коэффициент тепловых потерь в полости газогенератора; S – площадь поверхности газовыделения; μ – коэффициент расхода через выходное отверстие; F – площадь поперечного сечения выходного отверстия; ρ – плотность генерируемого газа; A_k – функция показателя изоэнтропы

$$A_k = \sqrt{k} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}. \quad (2)$$

Систему уравнений (1) необходимо дополнить уравнением состояния газа в усредненных величинах, т.е.

$$P = \rho R T, \quad (3)$$

а также уравнением, которое характеризует закон газовой выделенности, т.е. $U = U(P, T)$.

На основании исследования режимов работы металлгидридного генератора [2] определено, что скорость генерирования водорода определяется разностью температур гидрида интерметаллида и источника или стока тепла. Скорость генерации водорода из обратимых гидридов интерметаллидов описывается следующим выражением

$$U = \beta(T - T_2), \quad (4)$$

где β – коэффициент пропорциональности, величина которого лежит в диапазоне $(10^{-8} - 10^{-6})$ м/(с.К) [6]; T_r – температура газогенерации, К.

Таким образом, система уравнений (1) и соотношения (3), (4) представляет собой математическое описание процесса генерации водорода.

Линеаризуем систему уравнений (1) путем разложения в ряд Тейлора относительно квазистационарного режима работы и ограничимся первыми членами ряда [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_0 \frac{d\delta P}{dt} = kRT_* \rho_0 S \chi \delta U - (k\mu A_k P_0 \sqrt{RT_0}) \delta F - \\ - (k\mu A_k F_0 \sqrt{RT_0}) \delta P - 0,5k\mu A_k P_0 F_0 \sqrt{R/T_0} \delta T; \\ V_0 \rho \frac{d\delta T}{dt} = (k\chi T_* - T_0) \rho S \delta U - \rho S U_0 \delta T - (k-1)\mu A F_0 \sqrt{\frac{T_0}{R}} \delta P - \\ - 0,5(k-1)\mu A_k P_0 \sqrt{\frac{T_0}{R}} \delta F - (k-1)\mu A_k P_0 F_0 \sqrt{\frac{1}{T_0 R}} \delta T. \end{array} \right. \quad (5)$$

Введем обозначения:

$$\Delta P = \frac{\delta P}{P_0}; \quad \Delta U = \frac{\delta U}{U_0}; \quad \Delta F = \frac{\delta F}{F_0}; \quad \Delta T = \frac{\delta T}{T_0}, \quad (6)$$

где индекс «0» относится к квазистационарному состоянию и учтем, что имеет место зависимость $U = U(T, T_r)$. Тогда можно записать

$$\delta U = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_0 \delta T + \left(\frac{\partial U}{\partial T_r} \right)_0 \delta T_r. \quad (7)$$

По аналогии с (6), выражение (7) трансформируется к следующему виду:

$$\Delta U = \frac{T_0}{U_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_0 \Delta T + \frac{T_{r0}}{U_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T_r} \right)_0 \Delta T_r. \quad (8)$$

С учетом выражения (6) и (8) система уравнений (5) может быть сведена к системе из 2-х уравнений.

$$\left\{ \begin{aligned} V_0 P_0 \frac{d\Delta P}{dt} &= kRT_* \rho_0 S \chi U_0 \left(\frac{T_0}{U_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_0 \Delta T + \frac{T_{r0}}{U_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T_r} \right)_0 \Delta T_r \right) - \\ &- (k\mu A_k P_0 F_0 \sqrt{RT_0}) \Delta F - (k\mu A_k P_0 F_0 \sqrt{RT_0}) \Delta P - 0,5k\mu A_k P_0 F_0 \sqrt{RT_0} \Delta T; \\ V_0 P_0 \frac{dT}{dt} &= (k\chi T_* - T_0) \rho SRU_0 \left(\frac{T_0}{U_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_0 \Delta T + \frac{T_{r0}}{U_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T_r} \right)_0 \Delta T_r \right) - \\ &- \rho SU_0 T_0 R \Delta T - (k-1) \mu A P_0 F_0 R \sqrt{\frac{T_0}{R}} \Delta P - 0,5(k-1) \mu A_k P_0 F_0 R \sqrt{\frac{T_0}{R}} \Delta F - \\ &- (k-1) \mu A_k P_0 F_0 R \sqrt{\frac{T_0}{R}} \Delta T, \end{aligned} \right. \quad (9)$$

Здесь во втором уравнении учтено соотношение (3), а само уравнение предварительно увеличено слева и справа на постоянную R.

Перепишем систему (9) в следующей форме:

$$\left\{ \begin{aligned} V_0 P_0 \frac{d\Delta P}{dt} + (k\mu A_k P_0 F_0 \sqrt{RT_0}) \Delta P &= k\sqrt{RT_0} \left(\rho_0 S \chi T_* \sqrt{RT_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_0 - 0,5\mu A_k P_0 F_0 \right) \Delta T - \\ &- (k\mu A_k P_0 F_0 \sqrt{RT_0}) \Delta F + k\rho_0 \chi S R T_* T_{r0} \left(\frac{\partial U}{\partial T_r} \right)_0 \Delta T_r; \\ P_0 V_0 \frac{dT}{dt} + [(0,5(k-1)\mu A_k P F \sqrt{RT})_0 + (\rho S R T U)_0 - \\ &- ((k\rho S \chi R T_* U)_0 - (\rho S R T U)_0) \frac{T_0}{U_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_0] \Delta T = \\ &= [(k\rho S \chi R T_* U)_0 - (\rho S R T U)_0] \frac{T_{r0}}{U_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T_r} \right)_0 \Delta T_r - \\ &- ((k-1)\mu A_k P F \sqrt{RT})_0 \Delta P - ((k-1)\mu A_k P F \sqrt{RT})_0 \Delta F. \end{aligned} \right. \quad (10)$$

Эта система уравнений может быть представлена в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{1P} \frac{d\Delta P}{dt} + \Delta P = K_{1T} \Delta T - \Delta F + K_{2T} \Delta T_{\Gamma}; \\ \tau_{1T} \frac{d\Delta T}{dt} + \Delta T = -K_{1P} \Delta P - K_{1F} \Delta F + K_{3T} \Delta T_{\Gamma}, \end{array} \right. \quad (11)$$

где учтены следующие обозначения:

$$\dot{m}_0 = \frac{\mu A_k P_0 F_0}{\sqrt{RT_0}}; \quad (12)$$

$$\tau_0 = \frac{V_0 P_0}{\dot{m}_0 RT_0}; \quad (13)$$

$$\tau_{1P} = \frac{\tau_0}{k}; \quad (14)$$

$$K_{1T} = \frac{\rho_0 S T_0}{\dot{m}_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_0 - 0,5; \quad (15)$$

$$K_{2T} = \frac{\rho_0 S T_{\Gamma 0}}{\dot{m}_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T_{\Gamma}} \right)_0; \quad (16)$$

$$\xi_1 = \left[0,5(k-1) + \frac{\rho S U_0}{\dot{m}_0} - \frac{(k-1)\rho S T_0}{\dot{m}_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_0 \right]^{-1}; \quad (17)$$

$$K_{3T} = (k-1) \frac{\rho S T_{\Gamma 0}}{\dot{m}_0} \left(\frac{\partial U}{\partial T_{\Gamma}} \right)_0 \xi_1; \quad (18)$$

$$K_{1P} = K_{1F} = (k - 1)\xi_1; \quad (19)$$

$$T_0 = T_*\chi; \quad (20)$$

$$\tau_{1T} = \tau_0\xi_1. \quad (21)$$

С целью определения характера изменения температуры в газогенераторе как выходного параметра СХП в зависимости от входных параметров (площадь выходного сечения, температура газогенерации), продифференцируем по времени первое уравнение системы (11), затем подставим в него выражение для скорости изменения приращения температуры из второго уравнения системы (11), а для приращения температуры - из первого уравнения системы (11). Тогда окончательно получим математическую модель, описывающую изменение приращения температуры в газогенераторе относительно его квазистационарного режима работы:

$$\begin{aligned} & \tau_{1P}\tau_{1T}\Delta\ddot{T} + (\tau_{1P} + \tau_{1T})\Delta\dot{T} + (K_{1P}K_{1T} + 1)\Delta T = \\ & = \tau_{1P}K_{3T}\Delta\dot{T}_\Gamma - \tau_{1P}K_{1F}\Delta\dot{F} + (K_{1P} - K_{1F})\Delta F + (K_{3T} - K_{1P}K_{2T})\Delta T_\Gamma. \end{aligned} \quad (22)$$

Поскольку $K_{1P} - K_{1F} = 0$ и $K_{3T} - K_{1P}K_{2T} = 0$, то выражение (22) примет следующий вид:

$$\tau_{1P}\tau_{1T}\Delta\ddot{T} + (\tau_{1P} + \tau_{1T})\Delta\dot{T} + (K_{1P}K_{1T} + 1)\Delta T = \tau_{1P}K_{3T}\Delta\dot{T}_\Gamma - \tau_{1P}K_{1F}\Delta\dot{F}. \quad (23)$$

В соответствии с критерием Гурвица должно выполняться условие:

$$K_{1P}K_{1T} + 1 > 0. \quad (24)$$

Рассмотрим случай, когда в качестве входного воздействия используется приращение температуры процесса газогенерации. Тогда передаточная функция газогенератора будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} W_1(S) &= \frac{\Delta T(S)}{\Delta T_\Gamma(S)} = \frac{\tau_{1P}K_{3T}S}{\tau_{1P}\tau_{1T}S^2 + (\tau_{1P} + \tau_{1T})S + K_{1P}K_{1T} + 1} = \\ &= \frac{\lambda_1 S}{\alpha_2 S^2 + \alpha_1 S + \alpha_0} = \frac{\lambda_1}{\alpha_2} * \frac{S}{(S - S_1)(S - S_2)}, \end{aligned} \quad (25)$$

где

$$\lambda_1 = \tau_{1P} K_{3T}; \quad \alpha_1 = \tau_{1P} + \tau_{1T}; \quad (26)$$

$$\alpha_2 = \tau_{1P} \tau_{1T}; \quad \alpha_0 = K_{1P} K_{1T} + 1;$$

$S_{1,2}$ - корни уравнения

$$\alpha_2 S^2 + \alpha_1 S + \alpha_0 = 0. \quad (27)$$

С учетом обозначений (26) выражения для корней уравнения (27) могут быть записаны следующим образом:

$$S_{1,2} = \frac{-\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 - 4\alpha_2\alpha_0}}{2\alpha_2} = \frac{-(\tau_T + \tau_P) \pm \sqrt{(\tau_T + \tau_P)^2 - 4\tau_T\tau_P(K_{1T}K_{1P} + 1)}}{2\tau_T\tau_P}. \quad (28)$$

Тогда из физических соображений из выражения (28) вытекает:

$$(\tau_T + \tau_P)^2 \geq 4\tau_T\tau_P(K_{1T}K_{1P} + 1). \quad (29)$$

Перепишем выражение (29) следующим образом:

$$K_{1P}K_{1T} \leq 0,25 \left(\frac{\tau_T}{\tau_P} + \frac{\tau_P}{\tau_T} \right) - 0,5. \quad (30)$$

Тогда зависимость $K_{1T}K_{1P} = f(\tau_T, \tau_P)$ совместно с (24) (см. рис. 1) определяет границу области допустимых значений параметров $K_{1T}, K_{1P}, \tau_T, \tau_P$ газогенератора.

Рассмотрим случай, когда закон изменения температуры газогенерации имеет вид:

$$\Delta T_T(t) = A \cdot 1(t). \quad (31)$$

В этом выражении $A = const$, $1(t)$ - функция Хевисайда [7], т.е.

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

Согласно [6], решение уравнения (23) при условии (31) можно записать в виде:

$$\Delta T(t) = L^{-1} \left(\frac{W_1(S)}{S} A \right) = \frac{A\lambda_1}{\alpha_2} \left(-\frac{S_1}{S_1(S_2 - S_1)} e^{S_1 t} - \frac{S_2}{S_2(S_1 - S_2)} e^{S_2 t} \right). \quad (32)$$

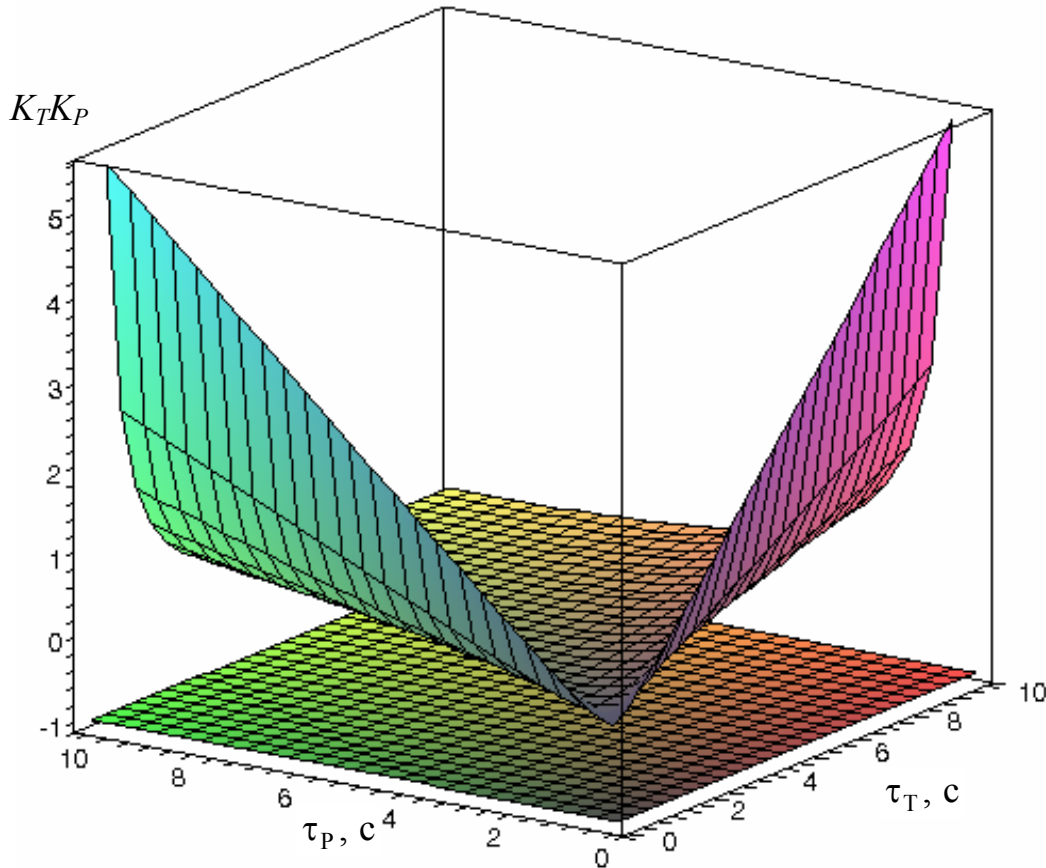


Рис. 1 – Область допустимых значений параметров газогенератора

Графическое изображение выражения (32) представлено на рис. 2, при этом использовались исходные данные, представленные в табл. 1. Также на этом же рисунке по вспомогательной шкале ординат приведена функция f_T , характеризующая выход системы на стационарный режим, которая определяется в соответствии с выражением:

$$f_T(t) = \frac{\Delta T(t) - \Delta T(t \rightarrow \infty)}{\Delta T(t \rightarrow \infty)} \cdot 100\%. \quad (33)$$

Из анализа рис. 2 следует, что изменение входного параметра ΔT_r влечет за собой изменение выходного параметра ΔT на величину, мень-

шую в 10000 раз. Также из этого рисунка следует, что для выхода на неизменный (стационарный) режим генерации водорода, при котором отклонение выходного параметра составляет не более 5%, системе необходимо 0,75 с. В качестве исходных данных использовались значения параметров, которые наиболее часто упоминались в литературе для систем данного типа.

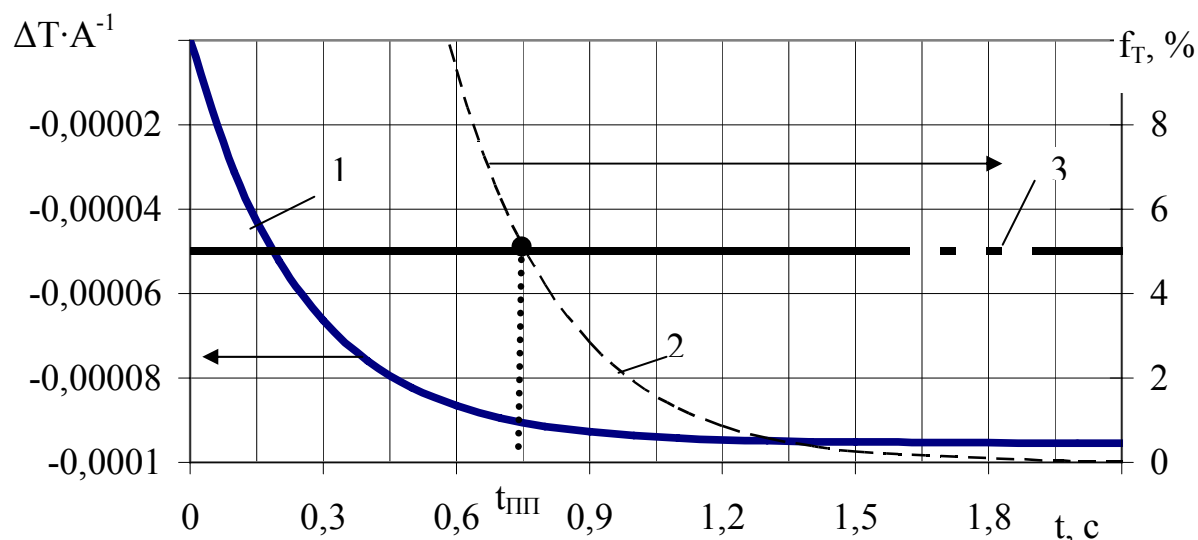


Рис. 2 – Зависимость изменения относительной температуры от времени, если в качестве входного изменяемого параметра используется T_r : 1 – изменение относительной температуры; 2 – относительное отклонение от стационарного режима генерации; 3 - прямая, которая соответствует значению $f_T=5\%$

Таблица 1 – Исходные значения параметров системы

Параметр	Величина
$\dot{m}_0, \text{ кг/с}$	0,05
$S, \text{ м}^2$	0,5 м ²
$T_{r0}, \text{ К}$	387
$\beta, \text{ м/(с.К)}$	1.10 ⁻⁶
$P_0, \text{ МПа}$	2, 7
$F_0, \text{ м}^2$	0,0001
$T_0, \text{ К}$	395
μ	0,5

Если в аварийной ситуации в генераторе водорода изменяется площадь выходного сечения газогенератора, например резкое открытие клапана, появление дополнительного аварийного отверстия, то передаточная функция газогенератора имеет вид:

$$W_2(S) = \frac{\Delta T(S)}{\Delta F(S)} = \frac{\mu_1 S}{\alpha_2 S^2 + \alpha_1 S + \alpha_0} = \frac{\mu_1}{\alpha_2} * \frac{S}{(S - S_1)(S - S_2)}, \quad (34)$$

где

$$\mu_1 = -\tau_{1P} K_{1F}. \quad (35)$$

Если закон изменения площади выходного сечения газогенератора описывается выражением

$$\Delta F_T(t) = B \cdot 1(t); \quad B = const,$$

то приращение температуры водорода в газогенераторе будет иметь вид

$$\Delta T(t) = L^{-1} \left(\frac{W_2(S)}{S} B \right) = \frac{B \mu_1}{\alpha_2} \left(-\frac{S_1}{S_1(S_2 - S_1)} e^{S_1 t} - \frac{S_2}{S_2(S_1 - S_2)} e^{S_2 t} \right). \quad (36)$$

На рис. 3 представлена зависимость изменения относительной температуры выделяемого водорода от времени, построенная в соответствии с исходными данными табл. 1, с помощью выражения (36) и аналогичного выражения (33).

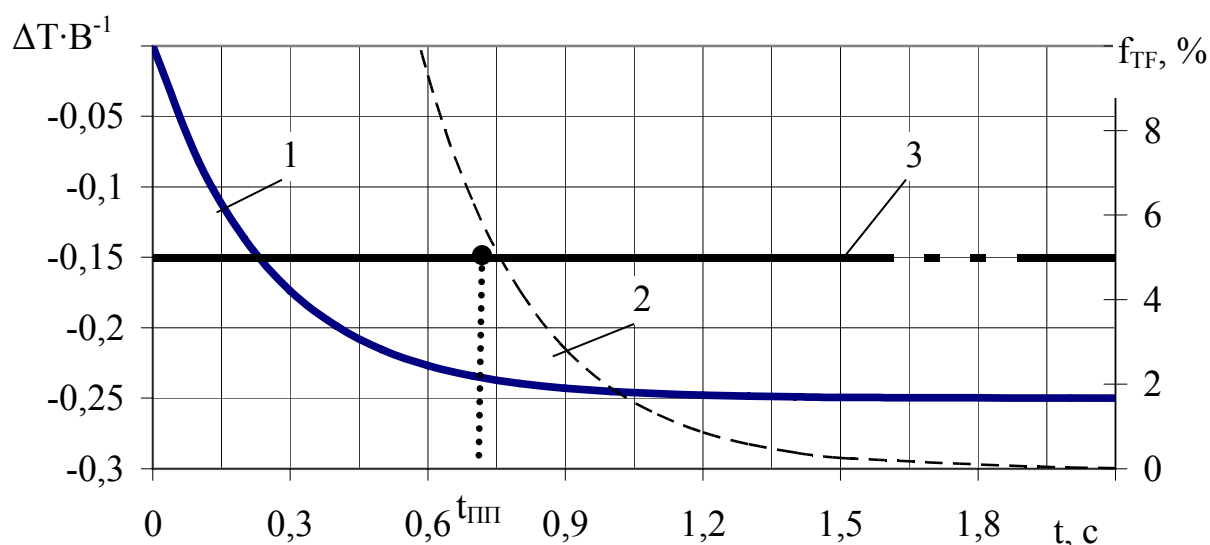


Рис. 3 – Зависимость изменения относительной температуры от времени, если в качестве входного изменяемого параметра используется F : 1 – изменение относительной температуры; 2 – относительное отклонение от стационарного режима генерации; 3 – прямая, которая соответствует значению $f_{TF}=5\%$

Из анализа рис. 3 следует, что изменение входного параметра ΔF влечет за собой изменение выходного параметра ΔT на значение, меньшее в 3 раза.

Характер изменения давления в газогенераторе как выходного параметра СХП в зависимости от входных параметров получен аналогично выражению (22). Для этого продифференцируем по времени второе уравнение системы (11). Затем подставим в него выражение для скорости изменения приращения давления из первого уравнения системы (11), а для приращения давления - из второго уравнения системы (11). В результате получим математическую модель, описывающую изменение приращения давления в газогенераторе относительно его квазистационарного режима работы:

$$\begin{aligned} \tau_{1P}\tau_{1T}\Delta\ddot{P} + (\tau_{1P} + \tau_{1T})\Delta\dot{P} + (K_{1P}K_{1T} + 1)\Delta P = \\ = \tau_{1T}K_{2T}\Delta\dot{T}_G - \tau_{1T}\Delta\dot{F} - (K_{1F}K_{1T} + 1)\Delta F + (K_{3T}K_{1T} + K_{2T})\Delta T_G. \end{aligned} \quad (37)$$

Если в качестве входного воздействия используется приращение температуры процесса газогенерации, то передаточную функцию газогенератора можно записать в виде

$$\begin{aligned} W_3(S) = \frac{\Delta P(S)}{\Delta T_G(S)} = \frac{K_{2T}\tau_{1T}S + K_{3T}K_{1T} + K_{2T}}{\tau_{1P}\tau_{1T}S^2 + (\tau_{1P} + \tau_{1T})S + K_{1P}K_{1T} + 1} = \\ = \frac{\nu_1 S + \nu_0}{\alpha_2 S^2 + \alpha_1 S + \alpha_0} = \frac{\nu_1}{\alpha_2} * \frac{S + \nu_*}{(S - S_1)(S - S_2)}. \end{aligned} \quad (38)$$

В том случае, если закон изменения температуры газогенерации имеет вид

$$\Delta T_G(t) = M \cdot 1(t); \quad M = const, \quad (39)$$

то приращение давления водорода в газогенераторе в динамическом режиме его работы, как решение уравнения (37), будет описываться выражением

$$\Delta P(t) = L^{-1} \left(\frac{W_3(S)}{S} M \right) =$$

$$= \frac{M v_1}{\alpha_2} \left(\frac{v_*}{S_1 S_2} - \frac{S_1 + v_*}{S_1 (S_2 - S_1)} e^{S_1 t} - \frac{S_2 + v_*}{S_2 (S_1 - S_2)} e^{S_2 t} \right).$$
(40)

Здесь учтены следующие обозначения:

$$\lambda_* = v_0 / v_1; \quad v_0 = K_{3T} K_{1T} + K_{2T}; \quad v_1 = K_{2T} \tau_{1T}.$$
(41)

На рис. 4 представлена зависимость изменения относительного давления водорода от времени, построенная в соответствии с исходными данными табл. 1, с помощью выражения (40) и и аналогичного выражению (33).

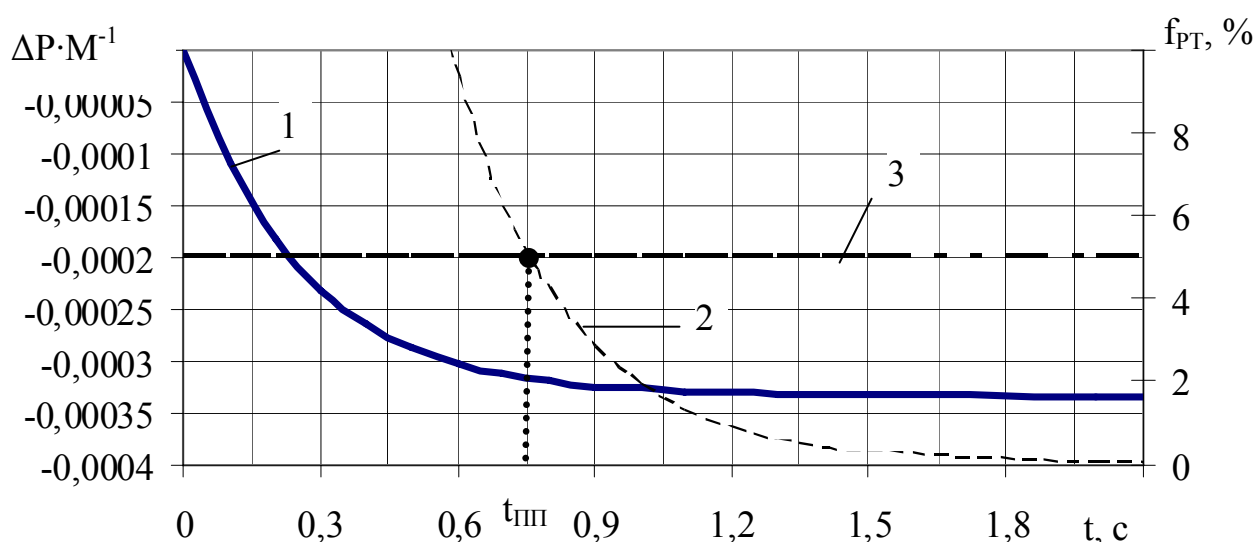


Рис. 4 – Зависимость изменения относительного давления от времени, если в качестве входного изменяемого параметра используется T_r : 1 – изменение относительного давления; 2 – относительное отклонение от стационарного режима генерации; 3 – прямая, которая соответствует значению $f_{T_r}=5\%$

Из анализа рис. 4 следует, что изменение входного параметра ΔT_r влечет за собой изменение выходного параметра ΔP на значение, меньшее в 2500 раз.

В том случае, когда в результате аварийной ситуации изменяется площадь выходного сечения газогенератора, его передаточная функция имеет вид

$$W_4(S) = \frac{\Delta T(S)}{\Delta F(S)} = \frac{m_1 S + m_0}{\alpha_2 S^2 + \alpha_1 S + \alpha_0} = \frac{m_1}{\alpha_2} * \frac{S + m_*}{(S - S_1)(S - S_2)}, \quad (42)$$

где

$$m_* = m_0 / m_1; \quad m_0 = -(K_{1F} K_{1T} + 1); \quad m_1 = -\tau_{1T}. \quad (43)$$

Если закон изменения площади выходного сечения газогенератора описывается выражением

$$\Delta F(t) = D \cdot 1(t); \quad D = const,$$

то приращение давления водорода в газогенераторе будет иметь вид

$$\begin{aligned} \Delta P(t) &= L^{-1} \left(\frac{W_4(S)}{S} D \right) = \\ &= \frac{D m_1}{\alpha_2} \left(\frac{m_*}{S_1 S_2} - \frac{S_1 + m_*}{S_1 (S_2 - S_1)} e^{S_1 t} - \frac{S_2 + m_*}{S_2 (S_1 - S_2)} e^{S_2 t} \right). \end{aligned} \quad (44)$$

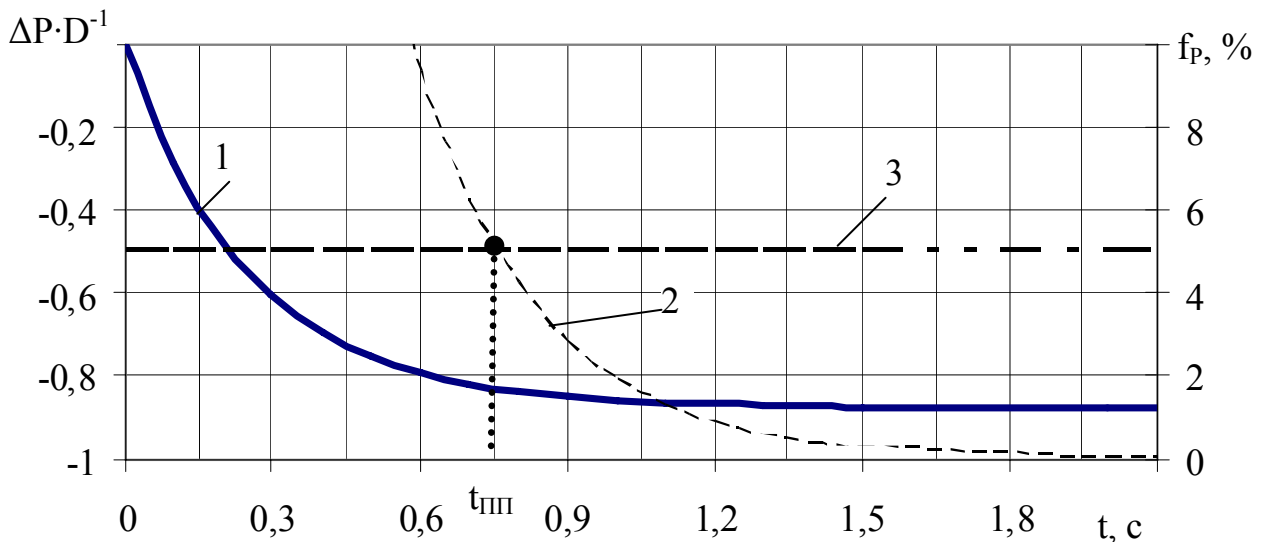


Рис. 5 – Зависимость изменения относительного давления от времени, если в качестве входного изменяемого параметра используется F: 1 – изменение относительного давления; 2 – относительное отклонение от стационарного режима генерации; 3 - прямая, которая соответствует значению $f_p=5\%$

Зависимость изменения давления получаемого водорода от времени, представленная на рис. 5, построена с помощью выражения (44) и аналогичного выражению (33).

Из рис. 5 следует, что изменение входного параметра ΔF влечет за собой изменение выходного параметра ΔP на значение, меньшее в 1,1 раза.

Выводы: В результате проведенной работы были получены следующие результаты:

1. Анализ рис. 2 ÷ рис. 5 показал, что время переходного процесса во всех четырех вариантах одинаково, при одних и тех же начальных условиях. В то же время, наибольшее изменение выходного параметра (давления) наблюдается при изменении площади выходного сечения.

2. Для расчета параметров газогенераторов на основе обратимых гидридов интерметаллидов предложена математическая модель, в основе которой лежит использование законов сохранения массы и энергии.

3. С использованием процедуры линеаризации получены выражения для передаточных функций и переходных характеристик газогенераторов на основе обратимых гидридов интерметаллидов. Произведена оценка устойчивости процессов генерации водорода и, с использованием критерия Гурвица, построены области допустимых значений параметров газогенератора.

4. Получены динамические характеристики газогенератора в виде передаточных функций и переходных характеристик для случая аварийной ситуации, когда процесс характеризуется изменением площади выходного сечения и изменением температуры газогенерации.

5. Показано, что в случае скачкообразного изменения величины выходного отверстия, изменение относительной температуры в газогенераторе может составить 25% от изменения относительной площади выходного сечения, а изменение относительного давления может составить около 80% от изменения относительной площади выходного сечения.

6. Показано, что изменение температуры газогенерации (в диапазоне до 30%) практически не влияет на выходные характеристики СХП, так как в случае скачкообразного изменения температуры генерации, изменение относительной температуры может составить около 0,01% от изменения относительной площади выходного сечения, а изменение относительного давления около 0,035%.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.И. Кривцова, Ю.А. Абрамов, К.Р. Умеренкова, Ю.П. Ключка. Определение пожаровзрывоопасных технологических параметров систем хранения и подачи водорода на основе обратимых гидридов интерме-

- таллидов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: Фолио, 2004. – Вып. 16. – С. 104-115.
2. Системы хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для бортовых энергетических установок / Ю.А. Абрамов, В.И. Кривцова, В.В. Соловей. – Харьков:2002. – 277 с.
 3. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. – М.: Оборонгиз, 1962. - 602 с.
 4. Шишков А.А., Румянцев Б.В. Газогенераторы ракетных систем. – М.: Машиностроение, 1981. – 152 с.
 5. Присняков В.Ф. Динамика ракетных двигателей твердого топлива. Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1984. - 248 с.
 6. Черников А.С., Фадеев В.Н., Савин В.И. Гидридные материалы, как аккумуляторы водорода // Атомноводородная энергетика и технология. – 1982. – Вып.4. – С. 89 – 187.
 7. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. – 768 с.



УДК 331.101

*Стрелец В.М., канд. техн. наук, доц.,
Бородич П.Ю., преп.*

Академия гражданской защиты Украины

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАБОТЫ СПАСАТЕЛЕЙ В ИЗОЛИРУЮЩИХ АППАРАТАХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ НА СТАНЦИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА

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

Показано, что при проведении аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена распределение расхода воздуха при работе в аппаратах на сжатом воздухе является скошенным и описывается β -распределением, а распределение подачи кислорода в регенеративных дыхательных аппаратах – нормальным

Постановка проблемы. Процесс аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена (АСР СМ) характеризуется обязательным участием в этом процессе спасателей, выполняющих свои обязанности в средствах индивидуальной защиты органов дыхания. Закономерности работы в изолирующих аппаратах имеют ряд особенностей, которые надо учитывать как при расчете времени работы спасателей, так и при выборе типа аппаратов, которыми должны быть оснащены подразделения оперативно-спасательной службы.

Анализ последних исследований и публикаций. Эффективность действий горноспасателей и пожарных в средствах индивидуальной защиты была рассмотрена в работах Н.С. Диденко [1], В.Д. Перепечаева и В.Ю. Березы [2], П.А. Ковалева [3]. Было отмечено, что работа в изолирующих аппаратах характеризуется легочной вентиляцией, для которой были определены показатели, соответствующие работам, имеющим различную степень тяжести.

В нормативно-технической [4] и справочной литературе [5] приведены значения легочной вентиляции, соответствующие выполнению работ различной степени тяжести. Однако особенности расхода запаса газовой смеси, связанные со спецификой проведения аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена (АСР СМ) (выполнение тяжелых работ в сочетании с высокой психоэмоциональной напряженностью и недостаточная подготовленность, о чем было отмечено в [6], спасателей к выполнению отдельных операций, характерных для ликвидации чрезвычайной ситуации в метрополитене), не рассматривались.

В подавляющем большинстве случаев [7] подразделения оперативно-спасательной службы, которые первыми прибывают на станцию для проведения АСР, оснащены аппаратами на сжатом воздухе (АСВ). При работе в АСВ в руководящих документах [5,8] рекомендуется использовать при проведении расчетов $\omega_{\text{л}} = 30$ л/мин, когда используются отечественные аппараты (АСВ-2, АИР-317, АВИМ и др.) или $\omega_{\text{л}} = 40$ л/мин, когда используются зарубежные (Дрегер, Ауэр и др.), независимо от характера чрезвычайной ситуации (ЧС). В Наставлении по газодымозащитной службе [5] и в Боевом Уставе пожарной охраны [9] присутствует требование о работе спасателей в метрополитене в регенеративных дыхательных аппаратах (РДА). Беляцкий В.П. и Павлов Г.П. [10] привели рекомендации по использованию значения показателя подачи кислорода в РДА для расчетов времени работы звеньев и отделений ГДЗС при тушении пожаров в метрополитене, которые в целом соответствуют рекомендованным значениям легочной вентиляции. Однако величина возможного разброса показателей подачи кислорода при выполнении одной и той же работы индивидуально по каждому спасателю не рассматривается. В результате рекомендации по оценке ориентировочного времени работы в подземных сооружениях метрополитена не учитывают индивидуальные особенности спасателей, а также способ подачи кислорода, реализованный в используемых РДА.

Постановка задачи и ее решение. Исходя из этого, основной задачей статьи является раскрытие закономерностей работы спасателей в изолирующих аппаратах при проведении аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена. При этом учитывается, что время работы в изолирующих аппаратах самым непосредственным образом зависит от особенностей, связанных как с использованием разнотипных, в том числе по принципу действия, изолирующих аппаратов, так и с выполнением разнообразных операций, составляющих общий процесс АСР СМ.

Экспериментальные исследования, рассмотренные в настоящей статье, проводились во время тактико-специальных учений на станциях глубокого залегания Харьковского метрополитена. Боевая работа исследуемого личного состава в АСВ во время учений включала в себя подключение к аппарату, работу с пожарно-техническим вооружением, движение к “пострадавшим” и последующую эвакуацию их на свежий воздух следующими способами:

- сопровождение тех, кто может передвигаться, но потерял способность ориентироваться в задымленной среде;
- переноску (способом “на карабинах”) тех, кто находится в сознании, но не способен передвигаться;
- переноску “пострадавших” без сознания.

Используя закон Бойля-Мариотта, был выполнен расчет расхода воздуха у каждого (*i*-го) спасателя

$$\omega_{.i} = \frac{(P_{начi} - P_{конi}) \cdot V_{би}}{P_a \cdot \Delta t_i}, \quad (1)$$

где

$P_{начi}$ и $P_{конi}$ – соответственно начальное и конечное давление в баллоне, МПа;

$V_{би}$ – объем баллона, $10^{-3} \cdot \text{м}^3$;

$P_a \approx 0,1 \text{ МПа}$ – атмосферное давление;

Δt_i – рассматриваемый промежуток времени (время выполнения рассматриваемой операции), мин.

Полученные показатели расхода воздуха и их статистические характеристики (G_{ω_s} – среднеквадратичное отклонение соответствующего показателя расхода воздуха; Sk – показатель скошенности распределения расхода воздуха) для отдельных видов АСР СМ приведены в таблице 1. Распределения значений расхода воздуха по видам выполняемых в АСВ работ приведены на рисунке 1.

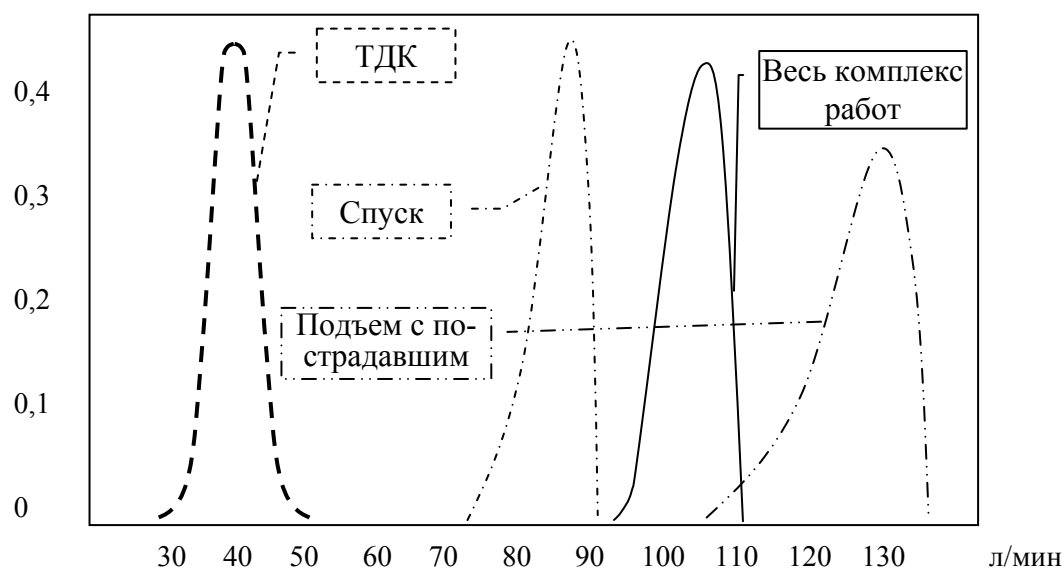


Рис. 1 – Распределение расхода воздуха при работе в АСВ

Анализ полученных результатов показал, что значения расхода воздуха ω_l при выполнении любой работы ограничены как сверху, так и снизу, т.е. всегда можно указать максимальное значение $\omega_{l \max}$, которое имеет место при стечении самых неблагоприятных обстоятельств, и минимальное $\omega_{l \min}$, которая понадобится для выполнения работы при наиболее благоприятном стечении обстоятельств. Расход воздуха при выполнении рассматриваемой работы может принять любое значение в интервале $[\omega_{l \min},$

$\omega_{l \max}$], т.е. является непрерывной случайной величиной. При этом расход воздуха при выполнении любой возможной операции зависит от большого числа случайных факторов, каждый из которых в отдельности является малозначительным.

Таблица 1 – Сравнительная оценка расхода воздуха при работе в АСВ в ходе АСР СМ

№ п/п	Выполняемая работа	$\bar{\omega}_l$, *10 ⁻³ м ³ /мин	G_{ω_l} , *10 ⁻³ м ³ /мин	α	β	Sk	Значение ω_l , рекомендуемое в справочной литературе, *10 ⁻³ м ³ /мин
1	Спуск	79	2,9	2,87	1,99	-0,95	40
2	Подъем по эскалатору (сопровождение “пострадавшего” в сознании)	91	3,1	2,75	2,01	-1,25	60
3	Переноска “пострадавшего” по эскалатору на карабинах	106	4,1	2,99	1,95	-1,7	84
4	Переноска “пострадавшего” без сознания по эскалатору	120	4,8	2,92	1,83	-1,92	84
5	Весь комплекс работ в непригодной для дыхания среде	99	3,4	2,83	2,15	-1,09	40
6	Работа в теплодымокамере	40	2,3	2,05	1,99	~ 0	40

Вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что в ходе вероятностной оценки расхода воздуха, при выполнении работ в аппаратах на сжатом воздухе АСР СМ, можно использовать β -распределение. Параметры последнего α и β (с уровнем значимости 0,95) определены с помощью пакета стандартных прикладных программ и приведены в таблице 1.

Из значений, приведенных в таблице, видно, что даже для работ средней тяжести (спуск по неподвижному эскалатору), не говоря уже о тяжелых и очень тяжелых, расход воздуха существенно отличается от показателей легочной вентиляции, рекомендованных [5,8] для использования при расчетах. То есть, допустимое время выполнения отдельных операций определяет не столько показатель легочной вентиляции, зависящий от степени тяжести конкретной работы, сколько расход воздуха при работе в АСВ, который также зависит и от уровня подготовленности спасателей. Об этом говорят и результаты использования подхода, приведенного в [6] и опирающегося на анализ показателя S_k скошенности. Из данных, приведенных в таблице 1 и на рисунке 1, видно, что с увеличением степени тяжести выполняемой работы увеличивается не только индивидуальный разброс в расходе воздуха, но и отрицательное значение показателя скошенности. Исходя из этого, можно считать, что спасатели при работе в АСВ в ходе АСР СМ недостаточно эффективно расходуют запас воздуха. Причиной этого является недостаточная подготовленность к проведению операций, характерных только для процесса ликвидации чрезвычайной ситуации в метрополитене.

Подтверждением последнего вывода могут служить результаты сравнения (см. рис.1) показателей расхода воздуха при выполнении операций, присущих АСР СМ, и при работе в теплодымокамере. Тренировки в последних являются самым сложным видом практических занятий, в которых регулярно учувствуют все спасатели. Соответствие у большинства из них при работе в теплодымокамере показателей расхода воздуха значениям легочной вентиляции, приведенным в нормативно-технической литературе [8], в то время как в ходе АСР СМ они существенно отличаются, говорит о необходимости повышения эффективности подготовки спасателей. Используемые упражнения требуют значительного увеличения интенсивности и сложности, чтобы в ходе совершенствования отдельных качеств организовать обучение и тренировку спасателей правильному (глубокому и ровному) дыханию при работе в аппаратах на сжатом воздухе.

Важной закономерностью работы спасателей в изолирующих аппаратах является создание при выполнении поставленной задачи в непригодной для дыхания среде запаса газовойоздушной смеси $Q_{вых}$ для возвращения. В [5] отмечается, что при работе в АСВ минимальное давление в баллонах на момент начала выхода $P_{вых}$ рассчитывается как сумма давлений расходуемой и резервной газовойоздушной смеси

$$P_{вых} = P_{вх} + P_{рез}, \quad (2)$$

где:

$P_{вх}$ - величина, на которую изменилось давление в баллонах АСВ за время движения, МПа;

$P_{рез}$ - давление, которое должно быть зарезервировано на случай непредвиденных обстоятельств во время возвращения (для АСВ-2 $P_{рез} = 3$ МПа, для остальных аппаратов на сжатом воздухе $P_{рез} = 5$ МПа).

В то же время, если учесть разницу в расходе воздуха при спуске спасателей $\bar{\omega}_{лвх}$ и подъеме по неподвижному эскалатору с пострадавшим без сознания $\bar{\omega}_{лвых}$ (см. таблицу 1), которая при одинаковом расстоянии S до места работы определяет время входа $t_{вх}$ и выхода $t_{вых}$ звена или отделения ГДЗС, можно увидеть, что без учета давления воздуха, который резервируется, отношение давлений газовой смеси в баллонах АСВ на начало и конец операции составляет

$$\begin{aligned} \frac{P_{вых}}{P_{вх}} &= \frac{Q_{вых} \cdot P_a / V_б}{Q_{вх} \cdot P_a / V_б} = \frac{\bar{\omega}_{лвых} \cdot t_{вых}}{\bar{\omega}_{лвх} \cdot t_{вх}} = \frac{\bar{\omega}_{лвых} \cdot S / \bar{v}_{вых}}{\bar{\omega}_{лвх} \cdot S / \bar{v}_{вх}} = \\ &= \frac{\bar{\omega}_{вых} \cdot \bar{v}_{вх}}{\bar{\omega}_{вх} \cdot \bar{v}_{вых}} \approx \frac{120 \cdot 19}{79 \cdot 12,5} \approx 2,3 \end{aligned} \quad (3)$$

где $\bar{v}_{вх} \approx 19$ м/мин., $\bar{v}_{вых} \approx 12,5$ м/мин. – средняя скорость движения спасателей при спуске и подъеме по эскалатору с пострадавшим, соответственно [6].

То есть, с учетом $P_{рез}$ и того, что давление в АСВ-2 (расчетное давление 20,0 МПа), при котором аппарат может стоять на дежурстве, должно быть больше 18,0 МПа, а в других АСВ (расчетное давление 30,0 МПа) – больше 24,0 МПа [4], минимальное давление $P_{вых}$ воздуха в баллонах АСВ, при котором надо начинать возвращение на свежий воздух, должно быть практически в три раза больше той величины $P_{вх}$, на которую упало давление за время движения к месту боевой работы. Одновременно из анализа соотношения (3) получаем практическую рекомендацию по определению момента, когда звену (отделению) ГДЗС необходимо прекратить разведку, – спасатели должны начать возвращение к посту безопасности при уменьшении давления в АСВ у любого из спасателей на одну четвертую начального $P_{нач}$ давления.

Кроме этого, если учесть то, что большинство используемых в оперативно-спасательных подразделениях АСВ имеют восьмилитровый (или

два четырехлитровых) баллон, постовой на посту безопасности может использовать для расчета времени работы спасателей не величину расхода воздуха и соответствующие соотношения, которые связывают количество воздуха, давление и время [5], а скорость падения давления.

Так, при спуске спасателей по неподвижному эскалатору давление уменьшается со скоростью, равной отношению величин изменения давления ΔP и времени движения Δt

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta Q \cdot P_a}{\Delta t \cdot V_{\bar{b}}} = \left| \begin{array}{l} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \omega \approx 80 \text{ л/мин}; \\ V_{\bar{b}} = 8 \text{ л}; P_a \approx 0,1 \text{ МПа} \end{array} \right| \approx 1 \text{ МПа/мин}, \quad (4)$$

а при подъеме пострадавшего по неподвижному эскалатору, соответственно,

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} \approx 1,5 \text{ МПа/мин}. \quad (5)$$

Сокращение продолжительности расчетов предполагаемого времени работы дает возможность постовому на посту безопасности уделить больше внимания подготовке звена и контролю его работы.

Существенное отличие в процессе АСР СМ показателей расхода воздуха при работе спасателей в АСВ от значений легочной вентиляции, приведенных в научно-технической литературе, поставило вопрос и о соответствии приведенных в [10] значений подачи кислорода в РДА, которые рекомендуются для расчетов времени работы звеньев и отделений газодымозащитной службы при тушении пожаров в метрополитене. Это объясняется тем, что в основу обоснования значений подачи кислорода при выполнении работ разной степени тяжести положены значения легочной вентиляции ω_l , при выполнении работ такой же степени тяжести

$$q = 0,041 \cdot \omega_l, \quad (6)$$

где 0,041 – разница между долей кислорода во вдыхаемом ($\eta_{O_2 \text{ в д}} = 0,205$) и выдыхаемом ($\eta_{O_2 \text{ в в д}} = 0,164$) воздухе.

В связи с этим во время тактико-специальных учений на станции "Пушкинская" Харьковского метрополитена были проведены исследования особенностей работы спасателей в РДА. Личный состав работал в аппаратах Р-30, которые имеют двухлитровые баллоны и экономную систему подачи кислорода [1]. В основе расчетных соотношений лежало выраже-

ние (1). При этом рассматривались изменения показателей давления в баллонах только по наиболее тяжелому виду работы (подъем пострадавшего без сознания по неподвижному эскалатору) и по всему комплексу работ в целом. Результаты расчета средней за рассматриваемый промежуток времени подачи \bar{q} кислорода и его среднеквадратичного отклонения G_q приведены на рисунке 2.

Анализ распределений, выполненный аналогично анализу, проведенному для расхода воздуха при работе в АСВ, учитывая их симметричность (в обоих рассматриваемых случаях $S_k \approx 0$), позволил сделать вывод о целесообразности использования нормального распределения для описания особенностей расхода кислорода при работе в РДА.

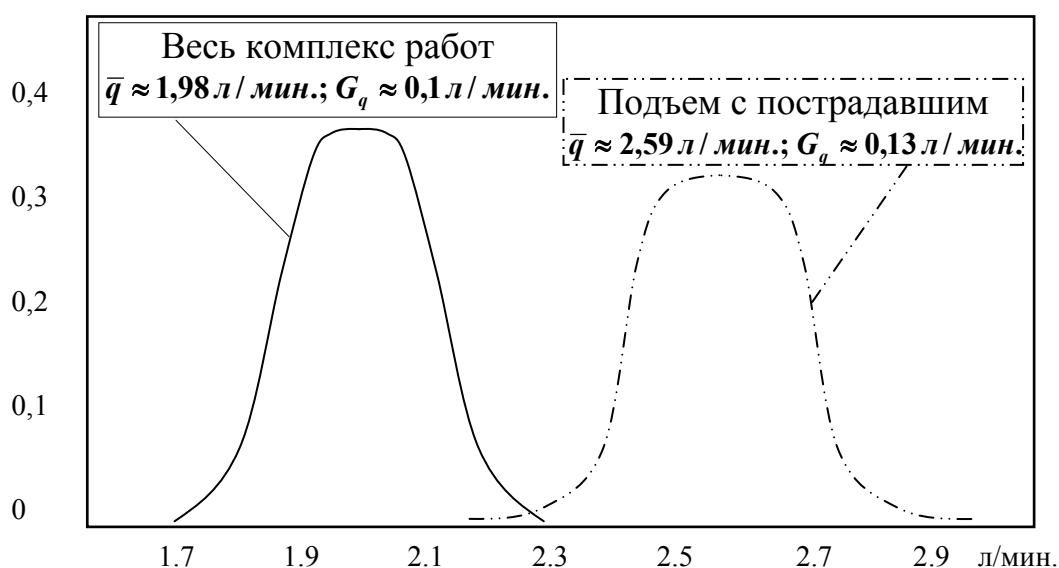


Рис. 2 – Распределение подачи кислорода при работе в РДА

Проверка по критерию Колмогорова подтвердила то, что полученные экспериментальные данные описываются нормальным распределением с уровнем значимости 0,99. В то же время, если использовать β -распределение (для всего комплекса работ расчет параметров дал $\alpha=1,98$; $\beta=2,01$, а для подъема пострадавшего без сознания – $\alpha=2,04$ и $\beta=1,91$), то уровень значимости будет равен 0,9.

Анализ расхода кислорода при работе в регенеративных дыхательных аппаратах Р-30 показал, что подача кислорода в воздухопроводную систему аппарата в среднем составляла $\bar{q} \approx 1,98$ л/мин. Такая подача, учитывая (6), обеспечивает легочную вентиляцию $\varpi_d \approx 43$ л/мин. Полученные результаты показывают, что конструкция РДА с экономной подачей кислорода обеспечивает более экономное расходование газовой смеси не

только за счет соответствующего конструктивного решения, но и за счет компенсации поверхностного дыхания при работе в таком аппарате сокращением количества углекислого газа, от которого необходимо очистить выдыхаемый воздух в регенеративном патроне. Поэтому для упрощения расчета необходимого запаса кислорода и времени работы в РДА можно рекомендовать среднюю подачу $\bar{q} \approx 2 \text{ л/мин}$, что для регенеративных дыхательных аппаратов с двухлитровым баллоном (например, респиратора Р-30, который стоит на вооружении в некоторых подразделениях Харькова) фактически соответствует уменьшению давления кислорода в баллоне со скоростью, равной отношению изменения давления в аппарате ко времени выполнения операции с учетом равенства $\Delta Q = \bar{q} \Delta t$, а именно

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta Q \cdot P_a}{\Delta t \cdot V_6} = \frac{\bar{q} \cdot \Delta t \cdot P_a}{\Delta t \cdot V_6} \approx \frac{1,98 \cdot 0,1}{2} \approx 0,1 \text{ МПа/мин}. \quad (7)$$

Использование выражения (7), как и в случае использования (4) и (5) при работе в АСВ, будет способствовать сокращению продолжительности расчетов постовым на посту безопасности времени работы в РДА спасателей в ходе АСР СМ.

Выводы:

- характеристики расхода запаса газозоудушной смеси спасателями при их работе в изолирующих аппаратах зависят как от характера выполняемой работы, так и от используемого изолирующего аппарата. В процессе АСР СМ распределение расхода воздуха при работе в АСВ является скошенным и описывается β -распределением, а распределение подачи кислорода в РДА – нормальным. Выполнение в АСВ работ повышенной сложности характеризуется большей отрицательной скошенностью;

- при проведении разведки в ходе АСР СМ в АСВ звено (отделение) ГДЗС должно начать возвращение к посту безопасности при уменьшении давления в баллонах у любого из спасателей на одну четвертую начального. В случае работы в аппаратах, которые имеют 8-литровый баллон, постовой на посту безопасности может использовать для расчета времени работы спасателей скорость падения давления от 1 МПа/мин для ситуации спуска звена по неподвижному эскалатору до 1,5 МПа/мин при подъеме пострадавшего без сознания по неподвижному эскалатору;

- подача кислорода в воздуховодную систему РДА в экономном режиме составляет в среднем почти 2 л/мин. Это позволяет постовому на посту безопасности для расчета времени работы спасателей в ходе АСР СМ использовать скорость падения давления кислорода в аппаратах, имеющих 2-литровые баллоны, равной приблизительно 0,1 МПа/мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ. – М.: Недра, 1984. – 296 с.
2. Перепечаев В.Д., Береза В.Ю. Газодымозащитная служба пожарной охраны./ Учебник. – Чернигов: РИК «Деснянська правда», 2000. - 468 с.
3. Ковальов П.А., Стрілець В.М. Методика розрахунку витрати повітря (кисню) при роботі в засобах індивідуального захисту органів дихання // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Вып.8. – Харьков, ХИПБ, 2000. – С. 172-174.
4. Настанова по газодымозахисній службі пожежної охорони МВС України. Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. – К.: МНСУ, 1994. – 128 с.
5. Ковалев П.А., В.М. Стрілець, О.В. Єлізаров, О.Є. Безуглов. Основи створення та експлуатація апаратів на стисненому повітрі./ Навчальний посібник. – Харків: АЦЗУ, 2005. – 317 с.
6. Ковальов П.А., Бородич П.Ю., Стрілець В.В., Чубар С.С. Розробка пропозицій щодо вдосконалення аварійно-рятувальних робіт при надзвичайних ситуаціях в метрополітені // Право і безпека. – 2002. – Вип. 1. – С. 156-161.
7. Сайт Internet www.metropliten.newmail.ru
8. Рекомендації для вивчення повітряних протигазів “Drager” PA 90 SERIES {PA 92} у підрозділах гарнізонів пожежної охорони. – К.: УДПО МВС України, 1995. – 19 с.
9. Боевой Устав Пожарной Охраны Украины. – К.: Десна, 1993. – 126 с.
10. Беляцкий В.П., Павлов Г.П. Методическое пособие по организации и тактике тушения пожаров на объектах метрополитена. – Ленинград: ЛФ ВНИИПО МВД СССР, 1986. – 156 с.





МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ

УДК 614. 84

*Кривошлыков С.Ф., ад'юнкт,
Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр.,
Тарасенко А.А., канд. техн. наук, ст. преп.*

Академия гражданской защиты Украины

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТАКТИКИ ТУШЕНИЯ ПРОСТОГО ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА

Сформулирована задача оптимизации параметров тактики тушения простого ландшафтного пожара. Критерий оптимизации - минимизация времени локализации. Параметрами модели является время прибытия к месту пожара подразделений, количество сил и тактико-технические характеристики средств тушения. Предложен оптимизационный алгоритм

Постановка проблемы. Успешная борьба с ландшафтным пожаром предполагает эффективную (как можно более малыми силами и средствами) и быструю (в кратчайший срок) его локализацию и тушение. Данные требования приводят к необходимости решения задачи об оптимальном сценарии борьбы с пожаром. Такое решение позволит избежать субъективизма в выборе тактических параметров со стороны руководителя тушения пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. Несмотря на то, что существуют и продолжают появляться новые модели развития ландшафтных пожаров, моделей их тушения гораздо меньше – отметим лишь [1]. При этом практически полностью отсутствуют модели оптимизации параметров тактики тушения ландшафтных пожаров. Возможность минимизации времени локализации низового лесного пожара на основании оптимального выбора начального местоположения сил пожаротушения при их движении вдоль контура пожара показана в [2]. При этом локализация осуществляется одним подразделением.

Постановка задачи и ее решение. Под ландшафтными пожарами будем подразумевать пожары степные, лесные и пожары на сельхозугодиях. Простым ландшафтным пожаром называется [3] пожар, который распространяется в однородных растительно-ландшафтных условиях при по-

стоянної швидкості вітру. Форма такого пожеги (для лісного пожеги обмежується лише випадком низового), згідно [3], близька до еліпсу. Модель контура такого пожеги розглядалась в [4]. Модель маршрутів руху сил і засобів пожеготушення при ліквідації ландшафтної пожеги отримана нами в [5], приклади маршрутів показані на рис. 1-4. В результаті активного впливу на пожегу форма пожегища буде більш складною, ніж більше підрозділів брало участь у тушенні. Площа, периметр і форма пожегища будуть визначатися як природними (швидкістю поширення $V_p(\varphi)$) так і антропогенними (зв'язаними з процесом тушення) факторами. Останні включають в себе кількість приваблених до тушення підрозділів (в даному прикладі чотири), тактико-технічні характеристики засобів тушення (в першу чергу це лінійна швидкість тушення V_T), час і координати точки початку тушення кожного з підрозділів. Вибір того чи іншого наявного в наявності технічного засобу, початкове місце розташування і напрямку руху сил вздовж краю пожеги є прерогативою керівника тушення пожеги. Прийняття тактичних рішень в цьому випадку здійснюється суб'єктивно, виходячи з його особистого досвіду. Різні сценарії проведення оперативних заходів будуть мати і різну ефективність, що видно з наведених малюнків. В зв'язі з цим виникає необхідність вибору оптимальної тактики тушення.

Розглянемо задачу в наступній постановці: локалізація пожеги складається в тушенні краю пожеги силами пожеготушення при їх русі вздовж контура пожеги. Локалізація здійснюється четним числом підрозділів (зв'язок). Кожна i -а пара (в даному прикладі $i=1 \div 2$) підрозділів починає локалізацію в момент часу t_i з точки з координатами $(R_i; \varphi_i)$, належачої контуру пожеги, задаваному в полярних координатах в вигляді $R(\varphi)$ [4]. При цьому зв'язки кожної пари рухаються в протилежних напрямках вздовж кривих $R_{Tij}(\varphi)$, рівняння яких знайдені в [5]. Локалізація вважається завершеною, коли відбувається перетин траєкторій руху зв'язок різних пар. Оскільки час початку тушення для кожної з пар зв'язок в загальному випадку різний, то і час участю в тушенні T_{ij} для кожного ij -ого підрозділу буде відрізнятися (i – номер пари; j – номер зв'язки в i -ій парі, $j=1 \div 2$). Час локалізації на кожному з ділянок буде визначатися відповідними виразами (для випадку двох пар)

$$t_1 + T_{12} = t_2 + T_{22}; \quad t_1 + T_{11} = t_2 + T_{21}, \quad (1)$$

а час повної локалізації T , з урахуванням (1), знайдемо з умови

$$T = \max\{t_1 + T_{12}; t_1 + T_{11}\}. \quad (2)$$

Используем следующий ряд допущений. Будем полагать, что каждое из звеньев может быть задействовано в тушении неограниченное время (т.е. работоспособность звена не зависит от времени предыдущей работы). Кроме того, полагаем, что скорость тушения V_T одинакова для всех звеньев и не зависит и от угла φ , т.е. одинакова для разных тактических частей кромки пожара. Очевидно, что в этом случае следует избегать простоя подразделений, который может иметь место при завершении локализации с одной из сторон пожара (к примеру, - с тыла на рис.1) при продолжении его развития с другой стороны (фронтально-правофланговая часть на том же рисунке). Таким образом, приходим к необходимости считать борьбу с пожаром эффективной, если все подразделения закончат работу по локализации одновременно в один и тот же момент времени T . В этом случае для тушения четырьмя звеньями, кроме условия (1), должно выполняться условие

$$T_{12} = T_{11}; T_{21} = T_{22}. \quad (3)$$

Тогда время локализации пожара T будет равно

$$T = t_1 + T_{12} = t_2 + T_{22} = t_1 + T_{11} = t_2 + T_{21}. \quad (4)$$

Очевидно, что $T = T(\varphi_1; \varphi_2; t_1; t_2; V_P; V_T)$. При этом влиять на величину V_P невозможно; величина V_T в данной постановке также является параметром; время начала тушения каждой из пар подразделений t_1 и t_2 лимитируется временем прибытия и боевого развертывания и должно быть как можно меньшими. Поэтому реальными управляемыми руководителем тушения параметрами остаются лишь начальные местоположения каждой из пар подразделений вблизи контура пожара, задаваемые азимутальными углами φ_1 и φ_2 . Таким образом, для данных допущений, именно расстановка сил пожаротушения будет определять степень эффективности борьбы с ландшафтным пожаром.

В то же время возможность выбора двух параметров φ_1 и φ_2 приводит к неоднозначности решения задачи (4). Тривиальный пример такой неоднозначности продемонстрирован на рис. 3-4.

Поэтому следует найти такой сценарий тушения кромки, который привел бы не к одновременному окончанию тушения, а к нахождению минимально возможного времени локализации. Т.е. требуется решить оптимизационную задачу - необходимо найти такие значения φ_1 и φ_2 (при фиксированных значениях других параметров), чтобы время локализации было минимально.

Кроме того, данную задачу можно сузить, если наложить дополнительное условие на выбор φ_1 . Сделать это можно из следующих соображе-

ний. Выбирать начальное местоположение первой пары звеньев так, чтобы: а) либо действовать в предположении, что подкрепление не прибудет и необходимо минимизировать время тушения одной парой подразделений; б) либо сразу пресечь распространение кромки пожара в наиболее опасном направлении, например, в сторону объекта, представляющего наибольшую материальную ценность. Осуществив такой выбор, руководителю тушения остается лишь выбрать значение φ_2 .

Время T_{ij} движения ij -ого подразделения вдоль маршрута следования, в условиях приведенных допущений, найдем как

$$T_{ij} = L_{ij} / V_T, \quad (5)$$

где L_{ij} – длина локализационной кривой, величина которой в полярной системе координат будет определяться как

$$L_{ij} = \int_{\varphi_i}^{\varphi_j} \sqrt{R_{Tij}^2 + \left(\frac{dR_{Tij}}{d\varphi} \right)^2}, \quad (6)$$

где φ_j – координата пересечения двух маршрутов (см. рис.)

Поскольку точки пересечения φ_j траекторий движения сил пожаротушения принадлежат одновременно обеим кривым, то

$$R_{Tnj}(\varphi_{i=n}; t_n; \varphi_j) = R_{Tmj}(\varphi_{i=m}; t_m; \varphi_j), \quad (n \neq m, j=1 \div 2). \quad (7)$$

Данные уравнения позволяют найти φ_j для каждой пары кривых.

Таким образом, решая задачу (4) – (7) можно отыскать φ_1 и φ_2 при условии, что $T \rightarrow \min$.

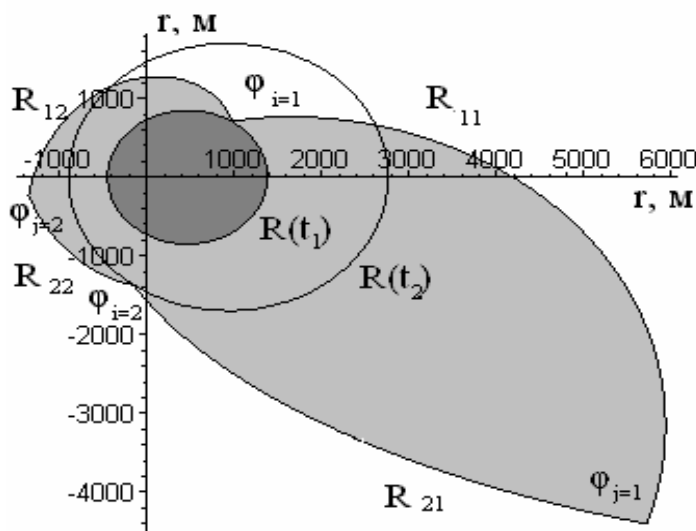


Рис. 1 – Локализация двумя парами команд. Скорость тушения кромки одинакова

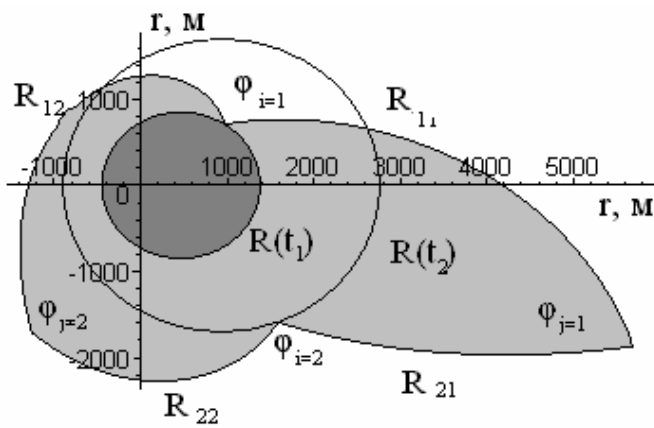


Рис 2 – Скорость тушения кромки одинакова, координаты начала тушения второй парой подразделений иные, нежели на рис. 1

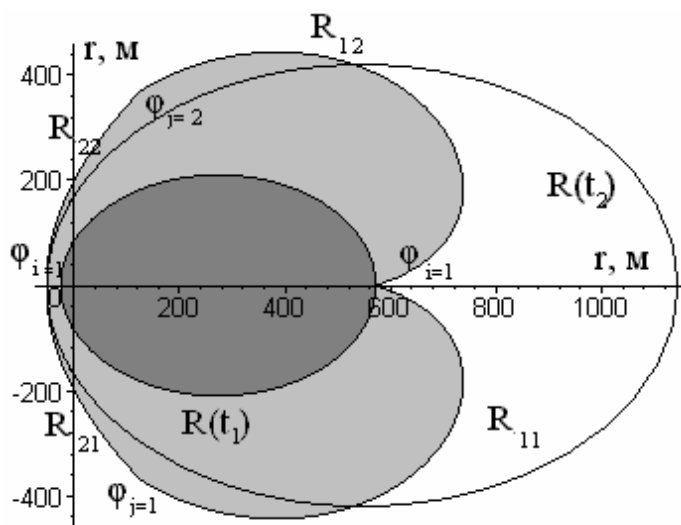


Рис 3 – Сценарий локализации, основанный на первоочередном тушении фронта. Вторая пара подразделений начинает тушить из тыла

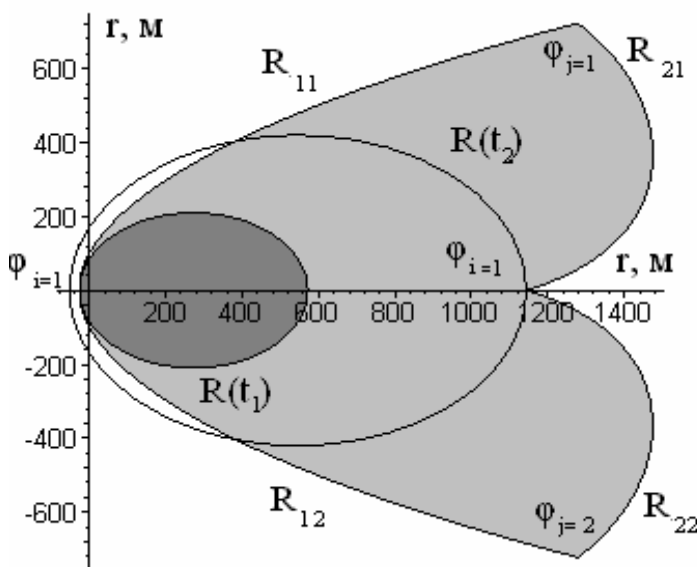


Рис. 4 – Сценарий локализации, основанный на первоочередном тушении тыла. Вторая пара подразделений начинает тушить с фронта. Скорости локализации для всех подразделений на рис. 3 и 4 одинакова

Выводы. Используя ряд допущений, нами сформулирована задача оптимизации параметров тушения простого ландшафтного пожара и получен алгоритм ее решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доррер Г.А. Теория распространения пожара как волнового процесса: Автореф.дис...д-ра техн. наук: 06.03.03./ ИЛИД СО АН СССР.- Красноярск, 1989.- 45 с.
2. Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Тарасенко А.А. Влияние пространственных флуктуаций пирологических параметров среды на интегральные характеристики низового лесного пожара и условия его тушения. Харьков: АГЗ Украины, 2004. – 142 с.
3. Валендик Э.Н. Условия возникновения и распространения крупных пожаров в лесах Сибири // Лесоведение, №6. – 1991.-С. 84-87.
4. Басманов А.Е. Созник А.П., Тарасенко А.А. Экспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара // Проблемы пожарной безопасности. Вып. 11. – Харьков: Фолио. - 2002. С. 17-25.
5. Абрамов Ю.О., Кривошликов С.Ф., Тарасенко О.А. Модельовання маршрутів руху сил та засобів пожежегасіння при локалізації низової лісової пожежі // Пожежна безпека. №6. - Львів: ЛПБ. – 2005. С.19-21.



УДК 162.3

*Калиновский А.Я., адъюнкт,
Созник А.П., д-р физ.-мат. наук, проф.*

Академия гражданской защиты Украины

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Предложена простая аналитическая модель для описания азимутальной зависимости скорости распространения контура низового лесного (степного) пожара. Проведены расчеты годографа скорости для различных горючих материалов.

Постановка проблемы. К настоящему времени проблеме лесных пожаров и пожарной безопасности лесов посвящено большое количество экспериментальных и теоретических исследований (см., напр. [1-7] и ссылки там же). Теоретические методы прогнозирования процесса выгорания при развитии лесного пожара можно условно разделить на два широких класса: локальные и глобальные модели распространения контура [1, 2]. Под глобальностью (в USA, Canada) понимают, согласно терминологии Доррера, оперативно-тактическое прогнозирование на основе упрощенных геометрических моделей, которые отвлекаются от сути процессов горения. Локальные же модели решают проблему описания лесного пожара исходя из уравнений [5], позволяющих учитывать динамику процессов горения. При этом учет вязкости, турбулентности, теплопроводности и излучения, диффузии, конвекции и целого ряда других факторов в сочетании с термодинамическими уравнениями состояния приводит к чрезвычайно сложным интегро-дифференциальным уравнениям. Необходимость задания определенных начальных и граничных условий еще более усложняет решение такой задачи.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время большое внимание уделяется глобальным (экспериментально-аналитическим [4, 7]) моделям.

В этом подходе, опираясь на известные усредненные эмпирические или теоретические значения основных параметров лесных пожаров, рассматривают относительно простые модели, которые позволяют описать распространение кромки пожара. При этом, не вдаваясь в тонкие физические детали процесса развития пожара, желательно учитывать такие основные факторы, как например, направление и скорость ветра, влажность, теплотворную способность и пространственное распределение горючего материала, топографию ландшафта и другие. В частности, широкое распрост-

ранение получили геометрические методы описания контура пожара [1, 2, 4, 6, 8-11].

Постановка задачи и ее решение. Для определения границы выгорания недостаточно знания только скоростей распространения фронтальной V_f , тыловой V_b и фланговой V_{fl} кромки пожара относительно направления скорости ветра V_w . Необходимо также ввести некоторые дополнительные предположения относительно азимутальной зависимости скорости V , то есть рассмотреть зависимость скорости движения контура от азимутального угла φ между направлением скорости ветра и направлением распространения кромки пожара. Такая зависимость будет описывать годограф скорости горения [4] или единичный контур горения [10].

Рассмотрим точечный очаг загорания и предположим, что нам известны скорости V_f, V_b, V_{fl} . Как отмечено в [4,8-10], наличие ветра приводит к деформации кругового контура выгорания (при $V_w=0$) в контур эллиптической формы. Исходя из этой гипотезы, будем описывать эллипс (рис. 1) большой осью $AB=2a=V_f+V_b$ и малой полуосью $O'C=b=V_{fl}$.

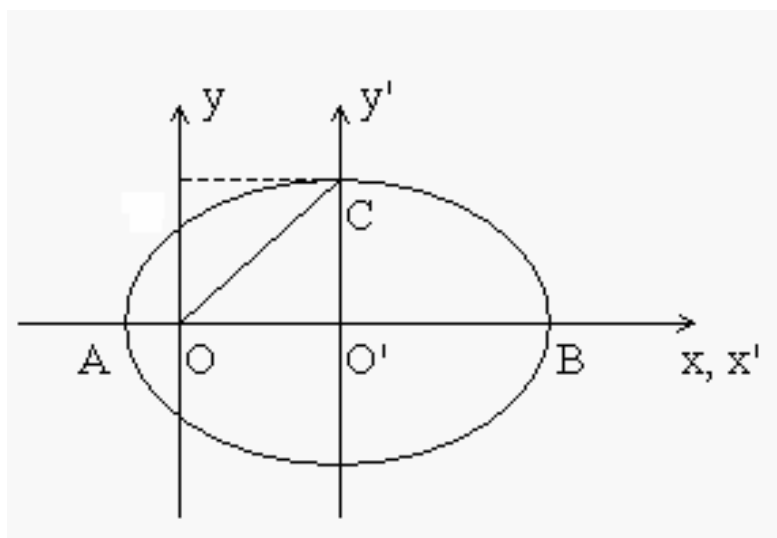


Рис. 1 – К построению годографа скорости $V(V_w, \varphi)$

Тогда в декартовой системе координат OXY' с началом в центре эллипса (рис. 1), получим уравнение:

$$\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} = 1, \quad (1)$$

В такой системе координат \vec{V}_w параллельна оси OX' . В системе координат с центром в т. О, которая сдвинута вдоль оси OX' на расстояние $OO' = \frac{V_f + V_b}{2} - V_b = \frac{V_f - V_b}{2} = \beta$, уравнение (1) имеет вид:

$$\frac{(x - \beta)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (2)$$

В новой системе координат OXY величины $AO = (V_f + V_b)/2 - ((V_f + V_b)/2 - V_b) = V_b$ и $OB = (V_f + V_b)/2 + ((V_f + V_b)/2 - V_b) = V_f$ определяют скорости V_f и V_b от центра пожара, расположенного в т. О. Подчеркнем, что т. О не совпадает с фокусом эллипса.

Переходя в (2) к полярной системе координат с полюсом в т. О, получаем выражение для годографа скорости кромки пожара

$$V(V_w, \varphi) = \frac{b^2 \beta \cos \varphi + \sqrt{b^4 a^2 \cos^2 \varphi + a^2 b^2 (a^2 - \beta^2) \sin^2 \varphi}}{b^2 \cos^2 \varphi + a^2 \sin^2 \varphi}, \quad (3)$$

где φ - полярный угол, а полярная ось совпадает с осью OX .

Данная формула, в принципе, и решает поставленную задачу, описывая искомый годограф скорости, который построен по четырем точкам в виде эллипса. Подставляя в данную формулу известные, из экспериментов для разных типов лесных горючих материалов (ЛГМ) значения V_f , V_b и V_{fl} , получаем годографы скорости распространения лесного низового пожара.

В [3] из экспериментальных исследований получены такие выражения для скоростей распространения низового лесного пожара:

$$\left. \begin{aligned} V_f &= V_0(1 + \alpha)^2 \\ V_b &= V_0(1 - \alpha)^2 \\ V_{fl} &= V_0 = v_0 + kV_w \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{V_w}{\sqrt{V_w^2 + c^2}}, \quad (5)$$

где v_0 - скорость движения огня при $V_w = 0$ м/с, k - коэффициент, учитывающий раздувающее действие ветра, c - коэффициент, связанный с удельной теплоемкостью горючих материалов, м/с. Значение параметров v_0 , k и c зависят от влажности и состава горящего материала.

Подставляя (4), (5) в (3) получаем выражение для годографа скорости

$$V(V_w, \varphi) = V_0 \frac{2\alpha \cos \varphi + (1 + \alpha^2) \sqrt{\cos^2 \varphi + (1 - \alpha^2)^2 \sin^2 \varphi}}{\cos^2 \varphi + (1 + \alpha^2)^2 \sin^2 \varphi}, \quad (6)$$

которое было найдено в [11]. Следовательно, полученная в [11] формула (6), является частным случаем выражения (3).

В [3] приведены числовые значения v_0 , k и c для следующих типов ЛГМ: сухая трава, лишайники, опад хвои и листьев, зеленые мхи. Формулы (4) и (5), а значит и (6), справедливы при $V_w \leq 8$ м/с.

В [9] для случая горения сосняков лишайниково-мшистых и вересковых в результате проведения экспериментальных измерений получены следующие выражения

$$\left. \begin{aligned} V_f &= A + BV_w^2 \\ V_b &= C + DV_w^2 \\ V_{fl} &= E \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где параметры A , B , C , D и E зависят от вида ЛГМ и влажности. Приведенные в [9] величины A , C , и E имеют размерность м/мин, B – с²/(м*мин), D – с/мин, а V_w – м/с, при этом V_f , V_b и V_{fl} – м/мин. Отметим, что формулы (7) справедливы при $V_w \leq 2$ м/с.

Подставляем (7) в (3) получаем следующее выражение для годографа скорости:

$$V(V_w, \varphi) = \frac{F_2 E^2 \cos \varphi + F_1 E \sqrt{E^2 \cos^2 \varphi + (A + BV_w^2)(C + DV_w^2) \sin^2 \varphi}}{2E^2 \cos^2 \varphi + F_1^2 \sin^2 \varphi}, \quad (8)$$

где $F_{1,2} = (A + DV_w^2) \pm (C + DV_w^2)$.

Таким образом, знание значений V_f , V_b и V_{fl} , полученных из экспериментальных или теоретических исследований, позволяет рассчитать согласно (3) годограф скорости распространения низового лесного (или степного) пожара.

Используя выражения (3), (6) и (8) нами рассчитаны годографы $V(V_w, \varphi)$ с параметрами, которые приведены в [3, 9].

На рис. 2 представлены результаты расчетов по формуле (8) при следующих значениях параметров [9]:

- контур 1 – $A=0,30$, $B=0,28$, $C=0,14$, $D=0,08$, $E=0,16$, сосняк лишайниково-мшистый, при $W=20\div 30\%$;
 - контур 2 – $A=0,25$, $B=0,54$, $C=0,20$, $D=0,06$, $E=0,17$, сосняк вересковый, при $W=20\div 25\%$;
 - контур 3 – $A=0,35$, $B=0,67$, $C=0,17$, $D=0,15$, $E=0,19$, сосняк лишайниково-мшистый, при $W=10\div 20\%$;
 - контур 4 – $A=0,30$, $B=0,76$, $C=0,25$, $D=0,09$, $E=0,21$, сосняк вересковый, при $W=10\div 20\%$,
- где W – влажность ЛГМ.

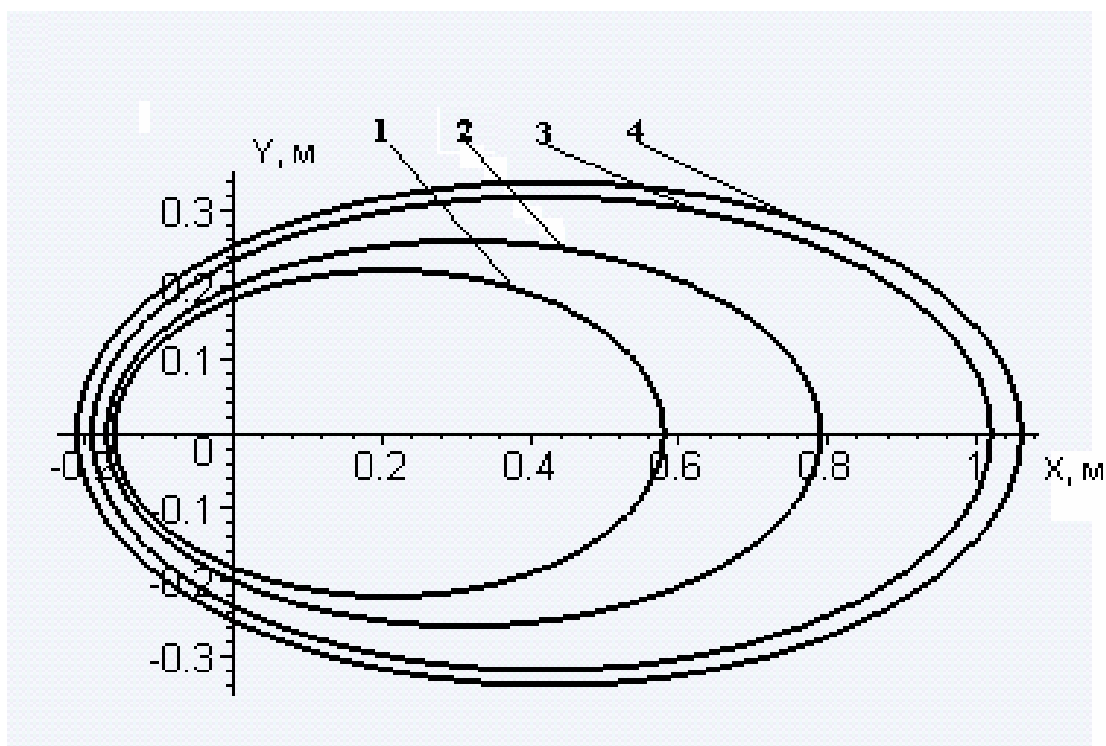


Рис. 2 – Годографы скорости, рассчитанные по формулам (3) и (8) при $V_w=1$ м/с, расстояние по осям в метрах

На рис. 3 изображены годографы скорости лесного низового пожара, рассчитанные по формуле (6) с параметрами [3]:

- контур 1 – $W>50\%$, $k=0,00267$, $c=180$, $V_0=0,3$ м/мин;
- контур 2 – $W=30\div 50\%$, $k=0,0045$, $c=198$, $V_0=0,3$ м/мин;
- контур 3 – $W>50\%$, $k=0,00083$, $c=108$, $V_0=0,3$ м/мин;
- контур 4 – $W=30\div 50\%$, $k=0,00167$, $c=132$, $V_0=0,3$ м/мин;
- контур 5 – $W<30\%$, $k=0,0075$, $c=210$, $V_0=0,5$ м/мин;
- контур 6 – $W<30\%$, $k=0,0033$, $c=144$, $V_0=0,5$ м/мин.

На рис. 2, 3 вдоль осей OX и OY отложены значения скоростей $V(V_w, \varphi)$ в м/мин. Представленные на рис. 2 расчеты показывают зависимость годографа скорости от состояния горючего материала для двух ви-

дов ЛГМ и трех вариантах средней влажности ЛГМ. На рис. 3 приведены расчеты $V(V_w, \varphi)$ при разных значениях влажности и коэффициентов k и c для четырех видов ЛГМ.

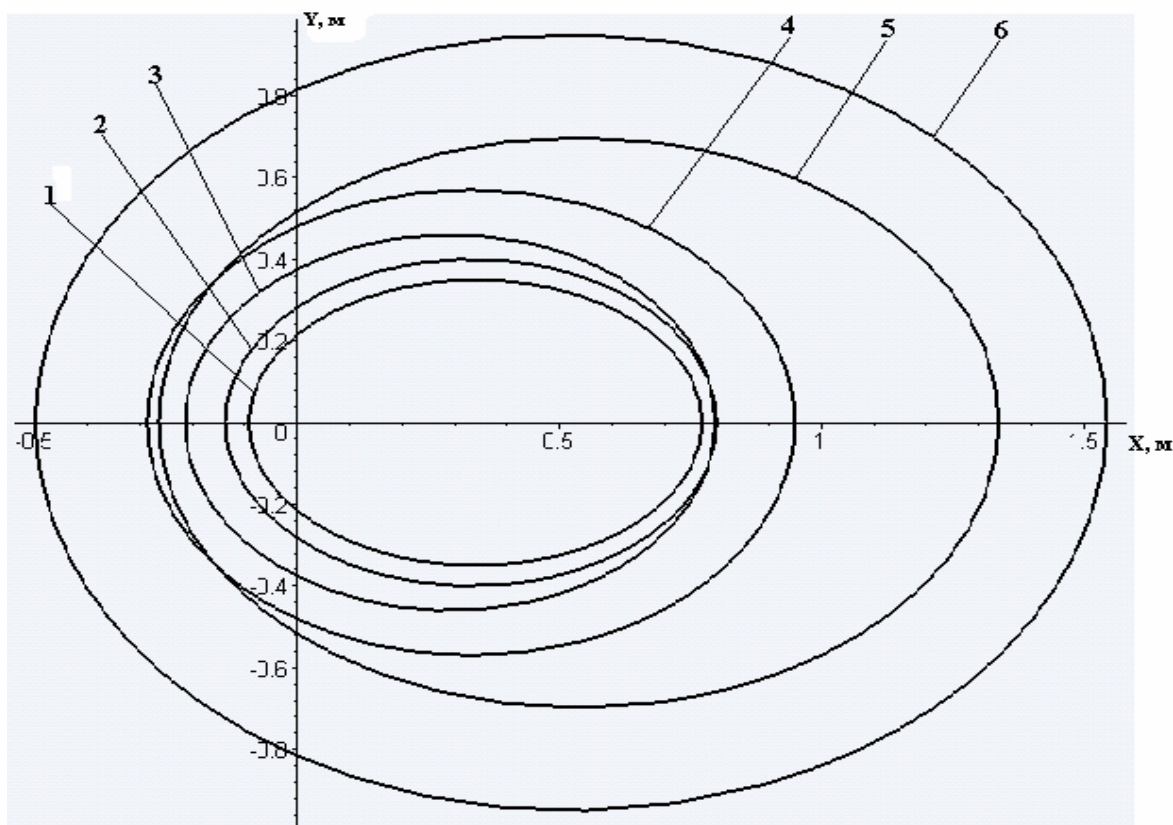


Рис. 3 – Годографы скорости, рассчитанные по формулам (4 - 6) при $V_w=1$ м/с, расстояние по осям в метрах

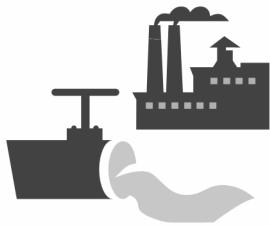
Выводы. Из результатов расчетов можно сделать следующие выводы. Во-первых, значения $V(V_w, \varphi)$ существенно зависят от параметров модели v_0, k, c [3] и A, B, C, D, E [9] и неявным образом от W . Во-вторых, влияние величины v_0 при данной влажности W , существенное при малых значениях V_w , уменьшается с увеличением V_w , оно больше при $W > 50\%$ и меньше при $W < 30\%$. Однако, главным фактором, влияющим на $V(V_w, \varphi)$, является, очевидно, величина W ; с ее увеличением значение $V(V_w, \varphi)$ значительно уменьшается. При этом увеличение V_w , и W оказывают на значение $V(V_w, \varphi)$ противоположное влияние, так что увеличение скорости ветра V_w , может быть полностью скомпенсировано увеличением влажности W .

Предложенная нами модель (3) годографа скорости $V(V_w, \varphi)$, является универсальной в предположении, что годограф имеет форму эллипса и что известны значения V_{f_2}, V_b и V_{fl} , для конкретного вида ЛГМ. Естествен-

но, модель (3) допускает обобщения и усовершенствования, например, при учете рельефа местности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rothermel R.C. A mathematical Model for fire Spread Predictions in Wildland Fuels. – Ogden: USDA Forest Service Res. Paper, 1972. – INT – H5. – 40p.
2. Van Wagner C.E. Condition for the start and spread of crown fire // Canadian J. of forestry research. – 1977. Vol. 7. – p. 23 – 24.
3. Телицын Г.П. Зависимость скорости распространения низовых пожаров от условий погоды // Сб. тр. ДальНИИЛХ, 1965, Вып. 7.– С. 391 – 405.
4. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесная пром-ность, 1979. – 160 с.
5. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск.: Наука, 1992.– 408 с.
6. Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Тарасенко А.А. Влияние пространственных флуктуаций пирологических параметров среды на интегральные характеристики низового лесного пожара и условия его тушения. – Харьков: АГЗ Украины, 2004. – 142 с.
7. Абрамов Ю.А., Рева Г.В., Росоха В.Е., Чучковский В.Н. Идентификация моделей скорости распространения фронта лесного пожара и их практические приложения. – Харьков: АГЗ Украины, 2004. – 114 с.
8. Луданов В.В. Применение математических методов и ЭВМ при проектировании и организации оперативных отделений авиационной охраны лесов от пожаров // Авт. дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Красноярск, 1975 г.
9. Коровин Г.Н. Методы расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров // Сб. научн.- исслед. работ по лесн. хоз-ву. – М.: Лесная промышленность, 1969. – С. 244 – 262.
10. Комяк В.А., Коссе А.Г., Откидач Н.Я., Шило С.А. Моделирование динамики развития лесного пожара с учетом ветрового воздействия // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр.– Вып. 5. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С. 108 – 117.
11. А.Е. Басманов, А.П. Созник, А.А. Тарасенко. Эспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара. // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. Вып. 11. Харьков: Фолио, 2002. – С. 17-25.



МОНІТОРИНГ СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ТА ТЕРИТОРІЙ

УДК 351.861

*Кірочкін О.Ю., наук. співр.,
Левтеров О.А., канд. техн. наук, пров. наук. співр.,
Тютюник В.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.*

Академія цивільного захисту України

ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТУ ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ ІМПУЛЬСНИХ ПОТОКІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ОБ'ЄКТАХ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ (представлено д-ром фіз.-мат. наук Яковлевим С.В.)

В статті розглянуті окремі положення теорії випадкових імпульсних потоків. Проведено аналіз існуючих небезпечних факторів на об'єктах паливно-енергетичного комплексу та можливість їх моделювання з наступним прогнозування часу появи надзвичайної ситуації

Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні загальносвітові втрати нафти та нафтопродуктів під час видобутку, транспортування, переробки та збереження оцінюються мільйонами тонн щорічно (табл. 1) [1], при цьому збитки оцінюються мільярдами доларів. Близько половини цих випадків припадає на підприємства паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), що свідчить про високу техногенну безпеку цих об'єктів та необхідність прогнозування на них умов виникнення надзвичайних ситуацій [2].

Особливого значення проблемі оцінки та прогнозування умов виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах ПЕК надає складність процесів безпечного функціонування об'єкту контролю (ОК) – надзвичайна ситуація є подією раптовою і виникає миттєво.

Тому контроль та прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій (НС) на об'єктах ПЕК є актуальною задачею як з соціальної, так і з техніко-економічної точок зору [3].

Постановка завдання та його вирішення. Під безпекою функціонування об'єктів паливно-енергетичного комплексу розуміють їх здатність

функціонувати під впливом небезпечних факторів (рис. 1). В результаті такого впливу може виникнути небезпечна подія, яка може привести до надзвичайної ситуації.

Таблиця 1 – Статистичний аналіз небезпечних подій в паливно-енергетичній галузі у 2001 – 2004 р.р.

Вид діяльності (причина збитку)	Дата	Місто (країна)	Збиток (млн. USD)
Нафтохімічний завод (вибух)	21.09.01	Франція	1300
Нафтопереробний завод (вибух)	14.08.01	Іллінойс (США)	490
Нафтопереробний завод (вибух)	16.04.01	Великобританія	260
Нафтопереробний завод (вибух)	09.04.01	Аруба	2250
Хімічний завод (вибух)	16.05.01	Великобританія	119
Нафтопереробний завод (вибух)	23.04.01	Каліфорнія (США)	99
Нафтопереробний завод (вибух)	21.09.01	Луїзіана (США)	85
Нафтопереробний завод (вибух)	06.06.01	ПАР	80
Нафтопереробний завод (землетрус)	26.01.01	Індія	46
Нафтопереробний завод (вибух)	08.10.01	Іспанія	45
Нафтопереробний завод (вибух)	29.04.01	Іллінойс (США)	40
Нафтопереробний завод (вибух)	15.05.01	Острів Сент-Кроїкс	24
Центр збору газу та компресорна станція (пожежа та вибух)	01.02.02	Кувейт	150
Нафтопереробний завод (пожежа)	25.11.02	Марокко	130
Виробничий комплекс на нафтових шахтах (вибух та пожежа)	06.01.03	Канада	233
Газопереробний завод	05.07.03	ПАР	185
Нафтопереробний завод (вибух та пожежа)	14.08.03	Іспанія	182
Газопереробний завод (вибух та пожежа)	01.01.04	Австралія	291
Газопереробний завод (вибух)	19.01.04	Алжир	470

При розгляді питань прогнозування ризику та підвищення безпеки функціонування ОК ПЕК необхідно мати справу з наступними математичними моделями: по-перше, процесів виникнення передумов до небезпечних подій; по-друге, умов виникнення небезпечних ситуацій; по-третє, процесів припинення розвитку надзвичайної ситуації. В даній роботі ми зупинимося на моделях, які характеризують умови виникнення небезпечних ситуацій. На сьогодні існує два підходи до розробки таких моделей [4].

Перший підхід – це індуктивні методи. Спочатку розглядаються окремі фактори, а потім визначають вплив цих факторів на безпечне функціонування ОК. Сполучення всіх, що впливають на функціонування об'єкту контролю, факторів дозволяє визначити можливі надзвичайні ситуації, а також ймовірність їх появи. При такому підході випадковий пропуск НС практично дорівнює нулю. Однак метод трудоємний, в особливості при аналізі об'єктів зі складною функціональною структурою.

Другий підхід – дедуктивні методи. Спочатку визначають одну або декілька найбільш небезпечних ситуацій. Перехід до такої НС є кінцевою подією, яка виникає в результаті появи визначених сполучень зовнішніх і внутрішніх факторів небезпечного функціонування ОК. Умови при яких виникає надзвичайна ситуація приводять до логічної схеми, яку зображують у вигляді орієнтованого графу – дерева надзвичайних ситуацій.

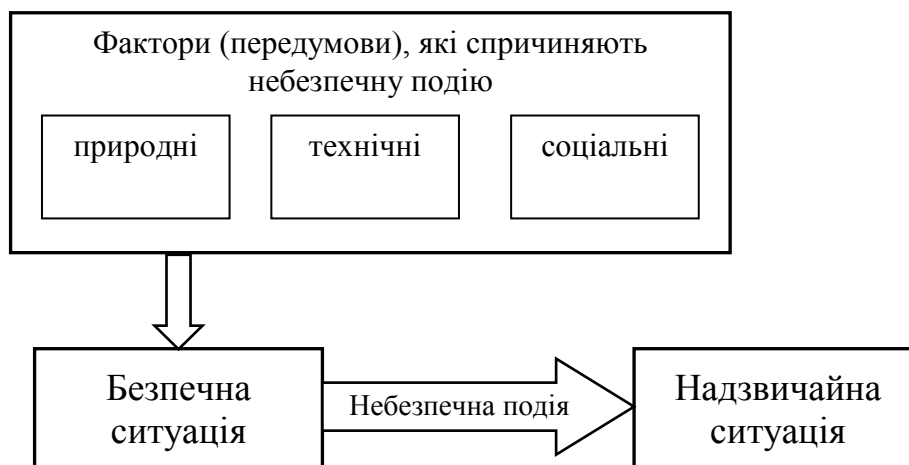


Рис. 1 – Схема розвитку надзвичайної ситуації на об'єктах паливно-енергетичного комплексу.

На рис. 2 наведено дерево надзвичайної ситуації пов'язаної з вибухом газової суміші на об'єктах ПЕК. У верхній частині дерева знаходиться надзвичайна подія, що досліджується, – вибух. Елементами графа є логічні символи та символи подій. Передумовами до виникнення НС є: 1 – витік та випаровування горючої речовини; 2 – поява іскри від електричного облад-

нання; 3 – поява вогню. Знаючи вірогідності P_1, P_2, P_3 появи передумов, враховуючи умови незалежності цих подій, вірогідність появи надзвичайної ситуації має вигляд:

$$P_{\text{вибух}} = P_1[1 - (1 - P_2)(1 - P_3)]. \quad (1)$$

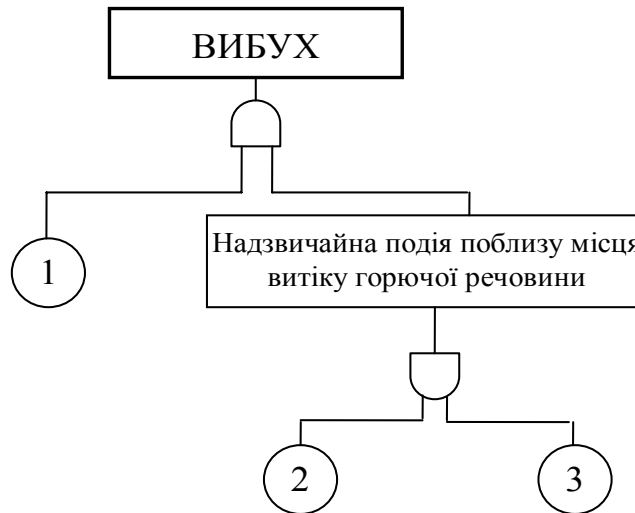


Рис. 2 – Дерево надзвичайної ситуації пов’язаної з вибухом на об’єктах паливно-енергетичного комплексу

Однак, необхідно підкреслити, що у дедуктивному методі враховуються тільки найбільш небезпечні стани об’єкту контролю. Таким чином, можливо оцінити не повну картину небезпечного стану ОК і всі можливі сполучення цих факторів не будуть враховані, що особливо важливо при розробці і створенні інтегрованої системи безпеки [5]. Крім того, у відповідних моделях відсутня у явному виді синхронізація дестабілізуючих факторів в залежності від часу їх появи та тривалості дії.

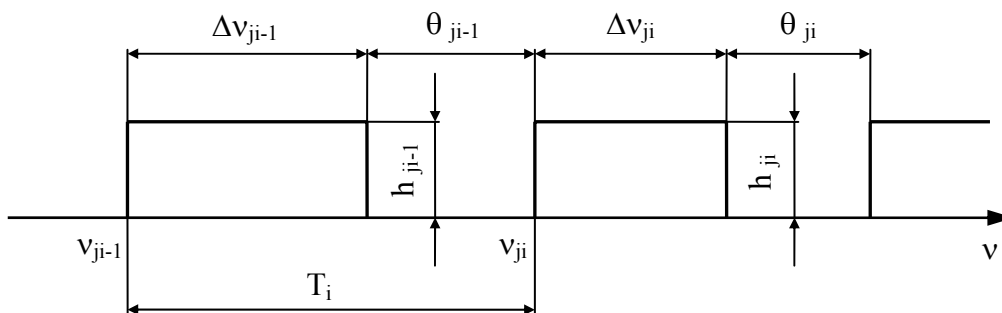


Рис. 3 – Моделювання стаціонарних випадкових потоків небезпечних факторів надзвичайних ситуацій

Для того щоб врахувати в умовах виникнення надзвичайних ситуацій характеристики часу появи факторів небезпеки необхідно використати теорію випадкових імпульсних потоків [6], де процес появи та дії дестабілізуючих факторів можливо представити у вигляді стаціонарних випадкових потоків – прямокутні імпульси, які взаємно рознесені у часі (рис. 3).

Позначимо через ν_{ji} та $\Delta\nu_{ji}$ момент появи та тривалість i -го імпульсу. Початок ν_{ji} імпульсу відповідає моменту появи j -го небезпечного фактора, тривалість $\Delta\nu_{ji}$ – тривалості його дії. Амплітуда h_{ji} пов'язана з втратами від i -ї появи j -го фактору.

У загальному виді потік $X(\nu)$ є щільність ймовірностей $f(\nu_1, \dots, \nu_n; \Delta\nu_1, \dots, \Delta\nu_n; h_1, \dots, h_n)$ величин: ν_{ji} , $\Delta\nu_{ji}$, h_{ji} , θ_{ji} (θ_{ji} – відстань між імпульсами).

Математичні сподівання випадкових величин мають вигляд: величина інтервалу між суміжними моментами появи фактору

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} tg(t)dt, \quad (2)$$

де $g(t)$ – щільність розподілу випадкової величини T ; тривалість дії фактору

$$\Delta\bar{\nu} = \int \Delta\nu\varphi(\Delta\nu)d(\Delta\nu), \quad (3)$$

де $\varphi(\Delta\nu)$ – щільність розподілу випадкової величини $\Delta\nu$; величина відстані між імпульсами

$$\bar{\theta} = \int_0^{\infty} \theta\delta(\theta)d\theta, \quad (4)$$

де $\delta(\theta)$ – щільність розподілу випадкової величини θ .

При стаціонарному потоці імпульсів, які взаємно рознесені у часі, вірогідність P того, що любий довільно вибраний проміжок часу виявиться на інтервалі дії фактору при $\nu \rightarrow \infty$ дорівнює

$$P = \frac{\Delta\bar{\nu}}{\bar{T}} = \mu\Delta\bar{\nu}, \quad (5)$$

де $\mu = \frac{1}{T} = \frac{1}{\Delta \bar{v} + \theta}$ – інтенсивність прояви фактору.

Доцільно розділити два типи моделей збігу часу дії дестабілізуючих факторів: 1) з аварійними випадковими наслідками; 2) з випадковими втратами. Розглянемо ці моделі на прикладі збігу двох небезпечних факторів.

Процес виникнення надзвичайної ситуації пов'язаної з витоком горючої речовини на об'єкті ПЕК представлено на рис. 4. Тут зображені можливі реалізації двох стаціонарних випадкових потоків: $x(v)$ – витік речовини та $y(v)$ – поява вогню. Характеристиками потоків є: $\Delta v_1, \theta_1, h_1$ та $\Delta v_2, \theta_2, h_2$.

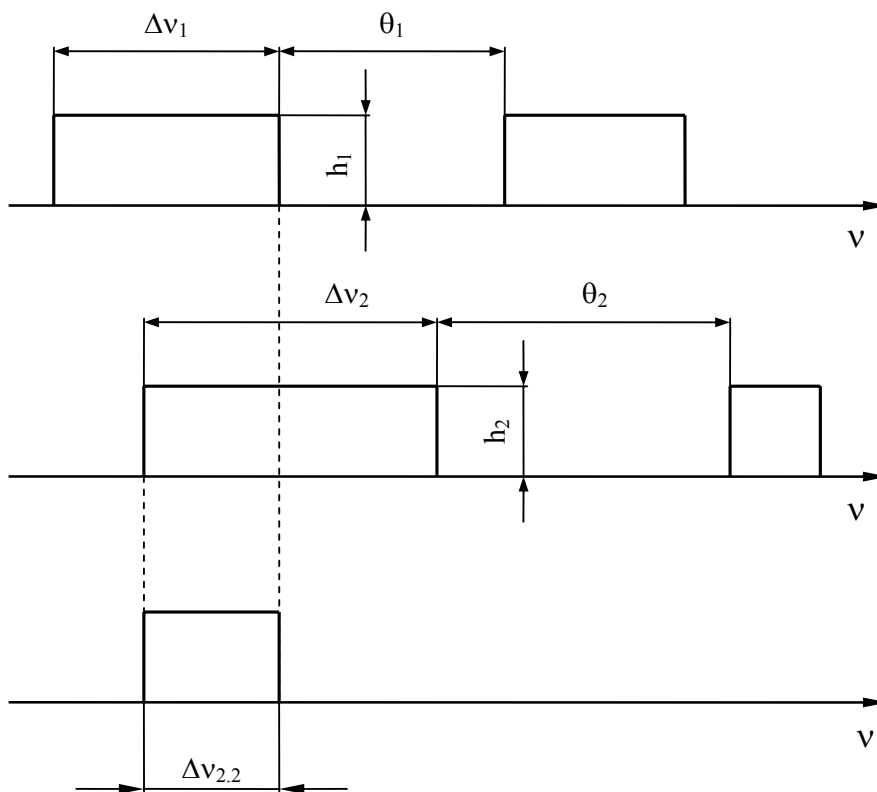


Рис. 4 – Моделі збігу часу дії дестабілізуючих факторів

Розглянемо можливість виникнення надзвичайної ситуації. За умов часткового збігання тривалостей Δv_1 і Δv_2 відбувається утворення потоків імпульсів збігу, що відповідає потоку аварійних наслідків. У зв'язку з тим, що виникнення надзвичайної ситуації є подією забороненою, то амплітуди імпульсів у першому наближенні можливо прийняти рівними 1.

У такому разі, інтенсивність потоку аварійних наслідків $\mu_{2,2}$ має вигляд:

$$\mu_{2.2} = \frac{\Delta \bar{v}_1 + \Delta \bar{v}_2}{(\Delta \bar{v}_1 + \bar{\theta}_1)(\Delta \bar{v}_2 + \bar{\theta}_2)}. \quad (6)$$

Середнє значення втрат $\Delta \bar{\omega}$ у випадку збігу небезпечних обставин можливо визначити як

$$\Delta \bar{\omega} = c_1 \mu_{2.2}, \quad (7)$$

де c_1 – середнє значення втрат при умові виникнення надзвичайної ситуації.

Модель функціонування системи безпеки з випадковими втратами аналогічна представленої раніше моделі. Різниця складається лише у тому, що втрати пропорційні з терміном збігу небезпечних обставин. Середня тривалість імпульсу потоку збігу обставин має вигляд:

$$\Delta v_{2.2} = \left(\frac{1}{\Delta \bar{v}_1} + \frac{1}{\Delta \bar{t}_2} \right)^{-1}. \quad (8)$$

Математичним сподіванням втрат ϵ

$$m \approx c_2 \Delta \bar{v}_{2.2} \mu_{2.2}, \quad (9)$$

де c_2 – середнє значення втрат за одиницю часу умов збігання дестабілізуючих систему безпеки факторів.

Висновки. Як бачимо, найбільшу складність становить визначення характеристик імпульсів, які моделюють небезпечні фактори надзвичайних ситуацій, а саме розмір та тривалість.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
2. Черняховский Э.Р., Шкидченко А.Н., Юматова О.А., Чушкина З.Ю. Применение различных технологий при ликвидации последствий аварийных разливов нефти, нефтепродуктов и продуктов нефтесодержащих отходов // Пробл. безо. при ЧС. ВИНТИ. – 2005. – вып. 2. – С. 34 – 41.
3. Брушлинский Н.Н., Кафидов В.В., Козлачков В.И. и др. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства. – М.: Стройиздат, 1988. – 416 с.

Застосування апарату теорії випадкових імпульсних потоків для прогнозування надзвичайних ситуацій на об'єктах паливно-енергетичного комплексу

4. Браун Дэвид Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности (Системный подход в технике безопасности): Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979. – 360 с.
5. Шевченко Р.І., Одарюк П.В., Тютюник В.В. Оцінка ефективності інтегрованої системи безпеки функціонування підприємств нафтопереробної промисловості. Проблеми пожежарної безпеки. Сб. научн. тр.– Вып. 18.– Харьков: Фолио, 2005.– С. 185 –191.
6. Седякин Н.М. Элементы теории случайных импульсных потоков. – М.: Сов. радио, 1964. – 260 с.



*Прохач Е.Ю., д-р техн. наук, директор,
Михальська Л.Л., канд. техн. наук, заст. директора,
Тимоніна А.Р., інженер*

*Харківська філія державного підприємства МО України
"Воєнконверс-43" – "Екоцентр-43"*

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДІЛЯНКИ ЗБЕРІГАННЯ БЛОКІВ ТВЕРДОПАЛИВНИХ РАКЕТ

Наведені результати трирічного моніторингу території Павлоградського хімічного заводу, де зберігаються небезпечні, з точки зору виникнення надзвичайних ситуацій, твердопаливні заряди. За результатами моніторингу встановлені найбільш чутливі та інформативні показники техногенного впливу на довкілля.

Постановка проблеми. На час розпаду СРСР в Україні на бойовому чергуванні в шахтах в районі м. Первомайськ Миколаївської області знаходилось 46 ракет СС-24. Відповідно до "Програми поетапного скорочення та ліквідації ядерної зброї наземного і повітряного базування" ракети було демонтовано та у вигляді окремих блоків доставлено на тимчасове зберігання до виробничого об'єднання "Павлоградський хімічний завод". На даний час на Павлоградському хімічному заводі (ПХЗ) зберігається біля 5000 тон твердого ракетного палива на основі перхлорату амонію та пінополіуретану.

Для утилізації твердого палива корпорація "Вашингтон Груп Інтернешнл" запропонувала використати метод вимивання твердого палива з корпусів ракет струменем води, що подається під надвисоким тиском. У 2001 році було почато монтаж устаткування та підготовка до експериментальних робіт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні працівниками підприємства „Екоцентр-43” завершена низка теоретичних досліджень з питань організації та проведення робіт з ліквідації частин балістичних ракет, які містять небезпечні хімічні речовини [1, 2]. Увага приділялась трьом напрямкам, це дослідження впливу небезпечних хімічних складових, які виникають під час знищення палива ракет на природне середовище [3], забезпечення захисту персоналу, безпосередньо задіяного в роботах з ліквідації окремих елементів ракет [4] та розробці оперативно-тактичних заходів у разі виникнення небезпечних ситуацій та аварій технологічного обладнання [5].

Постановка завдання та його вирішення. Зрозуміло, що зберігання твердого ракетного палива та роботи з його утилізації становлять серйозну потенційну екологічну загрозу для довкілля та населення міста Павлограда. Тому співробітникам "Екоцентру-43" було доручено проведення екологічного моніторингу території ПХЗ. Метою моніторингу був поточний контроль та прогнозування стану довкілля задля своєчасного прийняття заходів щодо гарантування безпеки населенню міста Павлоград та персоналу, який проводив роботи з утилізації твердого палива.

Об'єктами екологічного контролю були ґрунтові, поверхневі та стічні води, атмосферне повітря і ґрунт з поверхневих та підповерхневих шарів.

Відбір проб проводився відповідно до нормативних документів, аналіз проб – за атестованими методиками. Перелік забруднюючих речовин, вміст яких визначався, та обладнання, що використовувалося під час проведення аналізів, надано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Засоби вимірювальної техніки, що застосовувалися при проведенні аналізів

Речовина, що аналізується	Вимірювальна техніка
Загальні вуглеводні нафти	Газовий хроматограф HP 6890
Залізо, свинець, цинк, нікель, хром, марганець	Атомно-абсорбційний спектрофотометр "Perkin Elmer", модель 3100
Мідь	Атомно-абсорбційний спектрофотометр Varian Spektр AA – 200
pH	pH-метр лабораторний, pH - 150
Зважені частки, сухий залишок та сульфати (при вмісті більш 1000 мг/дм ³)	Ваги аналітичні лабораторні
Сульфати (при вмісті до 1000 мг/дм ³), амоній-іони, нітрати, нітриди, фосфати, перхлорат амонію, алюміній обмінний, хлористий водень, фтористий водень	Фотоелектроколориметр КФК-3
ХПК, БПК, хлориди	Бюретка
Оксид та діоксид азоту, водню фториди і хлориди, зважені частки	Аспіратори для відбору проб повітря УП-12 та М 822, фотоелектроколориметр КФК-3
Вологість і температура повітря	Психрометр аспіраційний
Швидкість руху повітря	Анемометр чашковий

За результатами дворічного екологічного моніторингу одержані наступні результати.

Вміст зважених часток, загальних вуглеводнів нафти, синтетичних поверхнево-активних речовин, азоту амонійного, нітратів і нітритів в ґрунтовій воді на протязі двох років знаходився нижче рівня ГДК. Діапазон параметрів ґрунтової води та вмісту інших речовин наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Діапазон параметрів ґрунтової води

Назва речовини (параметру)	Частка ГДК
Сульфати	0,66 ÷ 7,17
Хлориди	1,68 ÷ 2,27
Залізо загальне	0,13 ÷ 8,20
Сухий залишок	0,97 ÷ 4,79
Біологічне споживання кисню (БСК)	0,67 ÷ 10,83
Хімічне споживання кисню (ХСК)	1,67 ÷ 10,73

Значне перевищення гігієнічних нормативів за вмістом у ґрунтовій воді сульфатів, заліза, сухого залишку, БСК та БПК під час практично зупиненого процесу виробництва на території заводу вимагало пояснення.

Аналіз результатів гідрогеологічних досліджень показав, що підземні води регіону м. Павлограду мають підвищену мінералізацію, яка впливає на вміст сухого залишку, сульфатів та хлоридів. Встановлено, що мінімальний вміст сухого залишку, сульфатів і хлоридів простежується навесні після проходження паводку, коли концентрація вказаних речовин зменшується завдяки розбавленню талими водами. Відповідно максимальний вміст забруднюючих речовин зареєстровано у спекотний літній період, коли ґрунтові води частково випарюються, що призводить до концентрування компонентів, які визначаються.

Постійне перевищення допустимого рівня ХСК та БСК в пробах поверхневих вод в ранній весняний період (рис.1), на наш погляд, обумовлено гідрогеологічними особливостями території об'єкту та живленням першого від поверхні водоносного горизонту за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. Навесні відбувається гниття органічних складових під шаром снігу без доступу повітря і органічні залишки потрапляють у верхній водоносний горизонт. Крім того під час таїння снігу та льоду у цей горизонт вимиваються з ґрунту талою водою забруднюючі речовини.

Вміст зважених часток, загальних вуглеводнів нафти, нітратів та нітритів за весь час моніторингу, для поверхневих вод, знаходився нижче рівня ГДК. Діапазон вмісту інших речовин та параметрів наведено в таблиці 3.

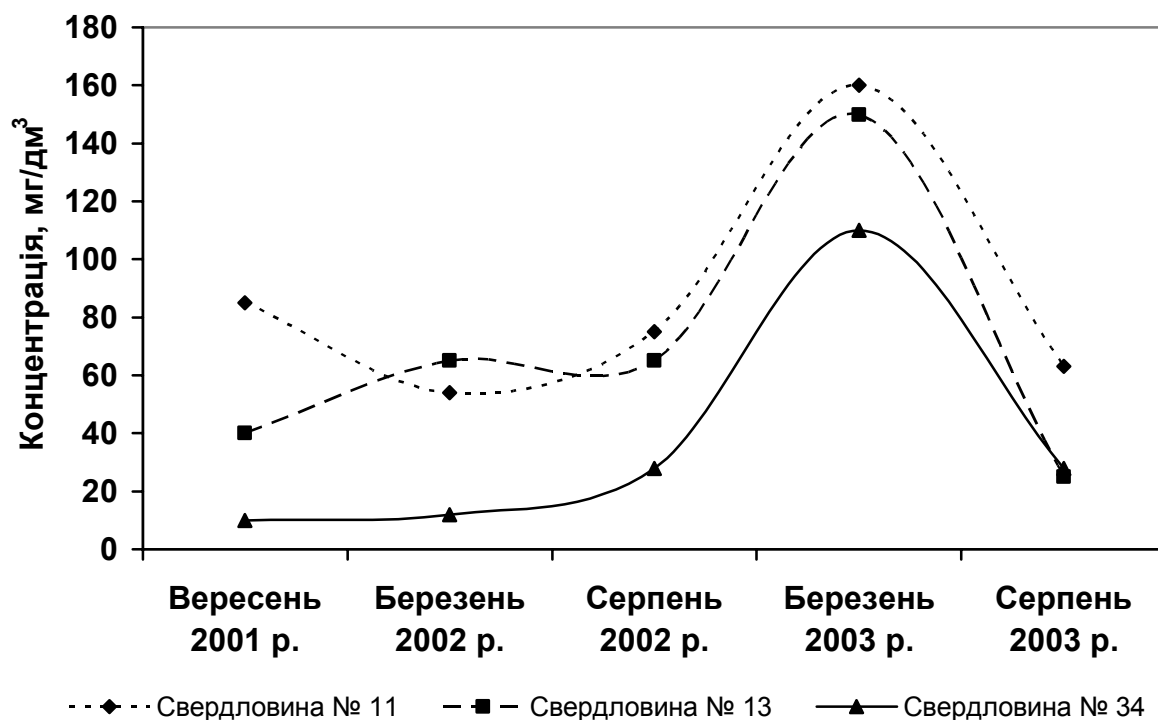


Рис. 1 – Динаміка зміни вмісту ХСК в ґрунтових водах

Таблиця 3 – Діапазон параметрів поверхневої води

Назва речовини (параметру)	Частка ГДК
Сульфати	0,03 ÷ 4,73
Хлориди	0,07 ÷ 12,60
Сухий залишок	0,14 ÷ 4,72
Біологічне споживання кисню	0,43 ÷ 33,47
Хімічне споживання кисню	0,49 ÷ 12,60

Перевищення гігієнічних нормативів за вмістом сухого залишку, сульфатів та хлоридів зумовлено, як було показано вище, підвищеною мінералізацією ґрунту в регіоні. Крім того встановлено, що мінімальний вміст сухого залишку, сульфатів і хлоридів простежується навесні після проходження паводку, коли концентрація вказаних речовин зменшується завдяки розбавленню талими водами. Відповідно максимальний вміст забруднюючих речовин зареєстровано у спекотний літній період, коли поверхневі води частково випарюються і відбувається концентрування компонентів, що визначаються (рис.2).

Постійне перевищення допустимого рівню ХСК та БСК в пробах поверхневої води ранньою весною обумовлене гниттям органічних складових під шаром льоду та снігу без доступу повітря, в весняний період – вими-

ванням забруднюючих речовин з ґрунту талими водами, що потрапляють до водоймищ, в літній період – "цвітінням" води, гниттям органічної маси та природним випарюванням води, наслідком чого є концентрування забруднюючих речовин в поверхневих водних джерелах.

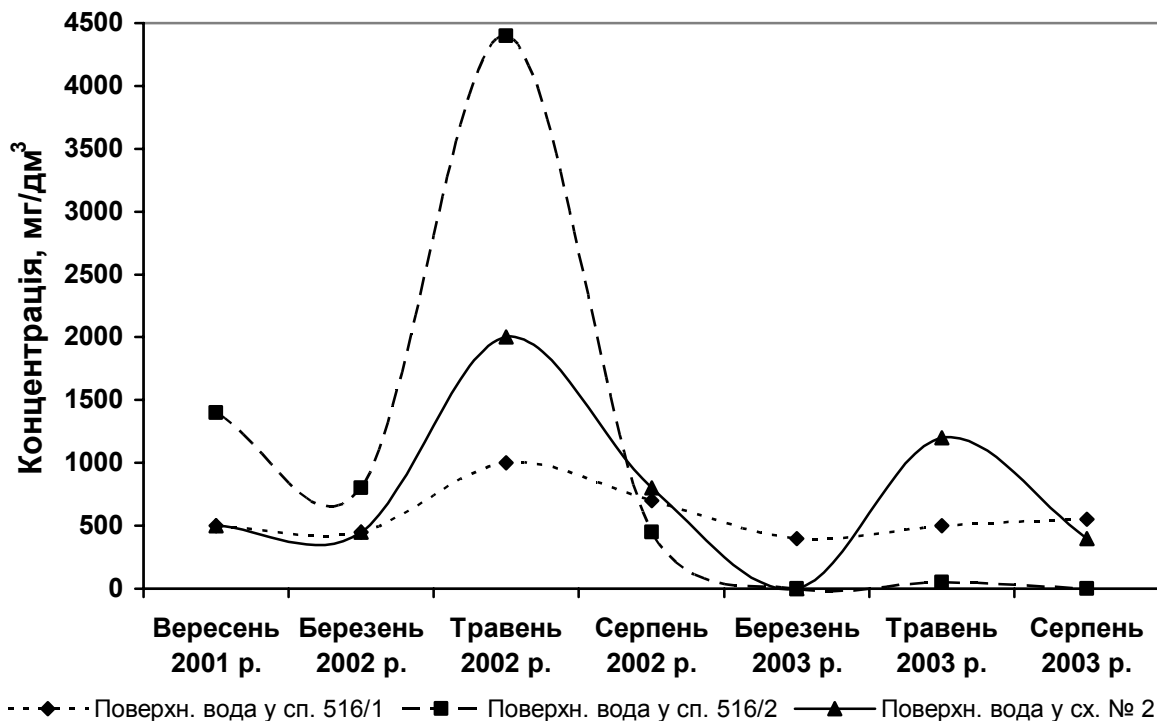


Рис. 2 – Динаміка зміни вмісту хлоридів в поверхневих водах

В пробах атмосферного повітря за весь дворічний термін моніторингу вміст оксидів азоту та вуглецю, твердих часток, хлористого та фтористого водню знаходився нижче ГДК. Така ситуація пояснюється низькою інтенсивністю виробництва та практичною відсутністю руху автотранспорту по території заводу. До того ж на території значна кількість зелених насаджень.

На протязі терміну екологічних обстежень відбувалися незначні коливання вмісту компонентів, що вимірювалися. Концентрації свинцю, міді та марганцю не перевищували ГДК. Практично на всьому протязі обстежень спостерігалось перевищення допустимого рівня вмісту цинку в діапазоні 1,30 ÷ 6,55 ГДК.

Висновки:

1. Техногенний вплив на концентрації забруднюючих речовин в об'єктах довкілля на території Павлоградського хімічного заводу за простежений період практично відсутній. Зміна концентрацій обумовлена сезонними природними явищами (таїння снігу та льоду, гниття органічної маси і т.і.).

2. За умови прийнятої періодичності вимірів (один раз на три місяці) найбільш чутливими і показовими є концентрації забруднюючих речовин в поверхневій та ґрунтовій воді. Стеження за концентраціями забруднюючих речовин у воді дозволяє надати об'єктивну оцінку техногенного впливу, у тому числі разового.

3. Оцінка техногенного впливу за характеристиками повітря має сенс при постійно діючих джерелах викидів.

4. Одержані дані слушно використати як фонові у наступному, коли буде налагоджена дослідна, а в подальшому промислова утилізація твердих ракетних палив.

ЛІТЕРАТУРА

1. Прохач Е.Ю., Михальська Л.Л., Попов М.П. Методика розрахунків розсіяння викидів під час роботи установок термічного розкладу токсичних речовин // Модели и системы. Вып. 1. – Харьков: ХВУ, 1999. – С. 58-60.
2. Михальская Л.Л., Попов Н.П. Математическая модель рассеяния выбросов при работе установок термического разложения токсичных веществ // Системы обработки информации. – Харьков: НАН Украины, Харьковский военный университет, 1998. – С. 133-138.
3. Михальская Л.Л. Оценка влияния на окружающую среду нейтрализации компонентов ракетного топлива // Информационные системы. – Вып. 3 (11). – Харьков: НАН Украины, Петровская академия наук и искусств, Харьковский военный университет, 1998. – С. 107-114.
4. Кузьменко В.А., Михальська Л.Л., Щербак С.М. Аналіз можливостей використання ізолюючих апаратів під час ліквідації аварії на об'єктах із сильнодіючими отруйними речовинами // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Вып. 12. – Харьков: АПБУ, 2002. – С. 121-124.
5. Прохач Э.Е., Михальская Л.Л. Оперативно-тактические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ при ликвидации пожаров на станциях нейтрализации // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Вып. 15. – Харьков: АПБУ, 2004. – С. 186-193.

*Гринченко Е.Н., науч. сотр.,
Левтеров А.А., канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
Чернуха А.А., науч. сотр.*

Академия гражданской защиты Украины

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

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

В работе проведен анализ возможных типов чрезвычайных ситуаций в результатах технологических аварий на объектах, создающих химически опасные вещества. Приведена усовершенствованная методика оценки безопасности прилегающих территорий.

Постановка проблемы, анализ последних исследований и публикаций. Последние десятилетия во всем мире наблюдался постоянный рост количества разрабатываемых и быстро входивших в обиход химических веществ. В настоящее время известны более 60 тыс. различных химических соединений. Ежегодно разрабатывается более 600 новых химических средств, среди которых более 30% представляют угрозу здоровью человека. Существует также доля тех, чье влияние на здоровье человека при их выбросе в окружающую среду неизвестно [1,2].

Так, только в период с 1988 по 1992 г. в США было зарегистрировано 34575 случаев выброса токсичных химических веществ, из них 2186 привели к смертельным исходам и массовым поражениям людей, что потребовало эвакуации населения. Во всех этих случаях в окружающую среду было выброшено 280 млн. кг токсичных химических веществ. Как показывает анализ, суммарно почти 2/3 случаев были связаны с выбросом 15 химических веществ. Первое место в этом списке занимает полихлорбифенил (РСВ), затем следуют ангидрид аммиака, серная кислота, хлор, соляная кислота, этиленгликоль, двуокись серы, радиоактивные вещества и сульфид водорода [3].

Эта печальная тенденция наблюдается и в других регионах. Так в 1976 г. в городе Севезо (Италия) произошел взрыв на химическом комбинате, в результате которого возникла необходимость в эвакуации 17 тыс. человек. Внезапный выброс метилизоцианида и других отравляющих веществ в результате аварии на химическом заводе в городе Бхопал (Индия) в 1984 г. явился причиной гибели тысяч людей, слепоты и тяжелых расст-

ройств здоровья еще нескольких тысяч людей, более 300 тыс. человек, проживавших в близлежащих районах, было эвакуировано [4].

В связи с этим возрастает необходимость совершенствования методики оценки путей повышения эффективности мероприятий по обеспечению безопасности химически опасных объектов, при транспортировке сильнодействующих ядовитых веществ, для обслуживающего персонала и населения, которое может попасть в зону поражения при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Постановка задачи и ее решение. К химически опасным объектам (ХОО) относятся предприятия, на которых выполняется условие [5]

$$\sum_{i=1}^n \frac{M_i A_i K_i}{100 C_i X_i} \geq 0,1, \quad (1)$$

где:

M_i – масса обращающегося на производстве продукта, т.

Например, вместимость резервуаров, в которых хранится АХОВ, ограничивается, например, хлор – 1000 т, аммиак – 30 тыс. т, синильная кислота – 200 т, сернистый ангидрид и сероуглерод – 100 т и т.д.

A_i – процент содержания аварийно химически опасного вещества (АХОВ) в продукте;

C_i – поражающая концентрация, мг/м³;

K_i – коэффициент, равный 1 при $C_i < 100$ мг/м³;
2 при $C_i = 101 - 500$ мг/м³;
3 при $C_i > 500$ мг/м³;

X_i – коэффициент условий хранения под землей, равный 1,5 (газообразные вещества) и 3 (жидкие и твердые вещества).

Безопасность функционирования ХОО зависит от физико-химических свойств АХОВ, характера технологического процесса, условий хранения, использования и транспортировки веществ. В зависимости от данных параметров при крупных авариях на ХОО могут возникать ЧС четырех основных типов, отличающиеся друг от друга характером воздействия поражающих факторов, организацией и технологией ведения аварийно-спасательных и других неотложных работ:

- 1) с образованием только первичного облака АХОВ;
- 2) с образованием пролива, первичного и вторичного облаков АХОВ;
- 3) с образованием пролива и только вторичного облака АХОВ;
- 4) с заражением территории (грунта, воды) малолетучими АХОВ.

Первый тип ЧС может возникнуть в случае мгновенной разгерметизации, например в результате взрыва, емкостей или технологического обо-

рудования с газообразными, криогенными, перегретыми сжиженными АХОВ, в результате чего образуется первичное парогазовое или аэрозольное облако АХОВ с высокой концентрацией токсичного вещества в воздухе. Пролива жидкостей, как правило, при этом не происходит или пролитое вещество быстро испаряется за счет тепла окружающей среды. В зависимости от метеоусловий облако АХОВ распространяется на прилегающую к аварийному объекту территорию, неся смертельную опасность для проживающего на ней населения.

Первый тип ЧС является наиболее опасным как с точки зрения интенсивности воздействия поражающих факторов, так и трудности быстрого реагирования на ЧС для предотвращения или снижения потерь. Основным поражающим фактором при этом является ингаляционное воздействие высоких концентраций паров АХОВ. При этом масштабы поражения зависят от размеров первичного облака (количества выброшенного в воздух АХОВ), концентрации ядовитого вещества в нем, скорости ветра, состояния приземного слоя атмосферы (инверсия или конвекция), плотности паров вещества, времени суток, характера местности, плотности населения, проживающего в вероятной зоне химического заражения и др. В этих условиях аварийно-спасательные работы необходимо проводить в максимально короткие сроки.

Второй тип ЧС может возникнуть при аварийных проливах АХОВ на ХОО, использующих сжиженные ядовитые газы (аммиак, хлор и др.), перегреты летучие токсичные жидкости с температурой кипения ниже температуры окружающей среды (окись этилена, фосген, окислы азота, сернистый ангидрид, синильная кислота и др.). При разгерметизации емкостей или технологического оборудования с указанными АХОВ часть вещества (обычно не более 10%) мгновенно испаряется, образуя первичное облако паров со смертельными концентрациями, а часть выливается в обваловку или на подстилающую поверхность и постепенно испаряется за счет тепла окружающей среды, создавая вторичное облако паров с поражающими концентрациями. В зависимости от времени года, метеоусловий, характера и геометрических размеров пролива время испарения может составить от десятков минут до нескольких суток.

Поведение облака АХОВ в воздухе зависит от его плотности по отношению к воздуху, концентрации и скорости ветра. Хлор, сернистый ангидрид тяжелее воздуха, поэтому облака данных веществ распространяются по ветру, прижимаясь к земле. В городах и населенных пунктах вследствие нагревания домов наблюдается распространение облака по магистральным улицам от периферии к центру. Это способствует проникновению АХОВ во дворы, тупики и создает опасность поражения людей.

Второй тип ЧС характеризуется ингаляционным поражающим воздействием (кратковременно) первичным облаком АХОВ со смертельными

концентраціями паров и более продолжительное время (часы и сутки) вторичным облаком с опасными поражающими концентрациями паров. Кроме того, пролитый продукт может заражать грунт и воду. Указанный тип ЧС также очень опасен для населения, но в отличие от первого позволяет по времени привлечь достаточное количество сил и средств для эффективного проведения аварийно-спасательных работ.

Третий тип ЧС может возникнуть при крупных авариях на ХОО в результате больших проливов в поддон (обваловку) или на подстилающую поверхность сжиженных или жидких АХОВ с температурой кипения ниже или близкой к температуре окружающей среды, когда, вследствие испарения пролитого продукта, образуется только вторичное облако паров токсичного вещества с поражающими концентрациями, которое, при благоприятных метеоусловиях, может распространиться на значительные расстояния от места аварии. Указанный тип ЧС может возникнуть, например, при аварийном проливе фосгена или компонента ракетного топлива - четырехокси азота и др. К этому типу ЧС могут быть отнесены и случаи крупномасштабного горения нитрофоски или комковой серы с образованием вторичного облака токсичных продуктов горения.

Третий тип ЧС менее опасен для населения, чем первые два, так как позволяет по времени принять эффективные меры по защите населения и ликвидации последствий аварии. Основными поражающими факторами при указанном типе ЧС являются ингаляционное воздействие вторичного облака АХОВ и заражение грунта и воды на месте пролива. В зависимости от физических свойств АХОВ, характера и размеров пролива, метеоусловий и эффективности работ по локализации и обезвреживанию пролива АХОВ, время его испарения может составлять от нескольких часов до нескольких суток, следовательно, будет достаточно времени для защиты населения и успешного проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Четвертый тип ЧС – при крупных авариях на ХОО может возникнуть в результате аварийного выброса (пролива) значительного количества мало летучего АХОВ (жидкого с температурой кипения значительно выше температуры окружающей среды или твердого), в связи с чем может произойти заражение местности (грунта, воды) с опасными последствиями для живых организмов и растительности. Вторичного облака паров с поражающими концентрациями при этом не образуется, но длительное пребывание на зараженной территории без средств индивидуальной защиты органов дыхания при определенных метеоусловиях может привести к ингаляционному отравлению. Основным поражающим фактором при указанном типе ЧС является возможное пероральное или в ряде случаев резорбтивное воздействие на организм.

К числу АХОВ, которые могут при авариях на ХОО стать причиной ЧС четвертого типа, могут быть отнесены несимметричный диметилгидразин, фенол, сероуглерод, ацетонитрил, диоксины, металлическая ртуть, соли синильной кислоты, ряд боевых отравляющих веществ и др.

При четвертом типе ЧС опасность поражения людей может быть сведена к минимуму, так как зона заражения при этом, как правило, невелика и может быть быстро локализована, если своевременно будут проведены работы по локализации и ликвидации последствий аварии. Наибольшую опасность при указанной ЧС представляет заражение АХОВ рек и водоемов, которые служат источниками питьевой воды для населения.

Указанные типовые варианты ЧС, особенно второй и третий, могут быть осложнены взрывами и пожарами, что станет причиной возникновения дополнительных поражающих факторов, таких, как ударная волна, обрушение зданий и сооружений с образованием завалов, прямое воздействие огня, тепловое излучение, задымление, образование токсичных продуктов горения и др. Взрывоопасны – окислы азота, гидразины, аммиак; пожароопасны – хлор и фосген. При горении серы выделяется сернистый ангидрид; полиуретана – синильная кислота; герметика – фосген, окись углерода и т.д. Таким образом, авария может носить комплексный характер, что может увеличить потери и ущерб от аварии на ХОО, а также значительно осложнить проведение аварийно-спасательных работ.

Особо отметим, что при проведении аварийно-спасательных работ большую роль играет прогнозирование обстановки при авариях на ХОО. Но из-за сложности последнего приняты следующие допущения:

1. Если нет данных о количестве разгерметизированного АХОВ считается, что емкости, содержащие АХОВ, при авариях разрушены полностью и все, содержащиеся в них, АХОВ попали в окружающую среду. При этом принято:

- в мирное время выброс АХОВ происходит из одного источника наибольшей емкости;
- для военного времени – из всех резервуаров.

2. Толщина h слоя жидкости для АХОВ определяется следующим образом:

- для разлившейся свободно на подстилающей поверхности принимается равной 0,05 м по всей площади разлива;
- для разлившейся в поддон или обваловку:

а) при разливах из емкостей, имеющих самостоятельный поддон (обваловку)

$$h = H - 0,2, \quad (2)$$

где H – высота поддона (обваловки), м;

б) при разливах из емкостей, расположенных группой, имеющих общий поддон (обваловку)

$$h = Q_0 / F d, \quad (3)$$

где:

Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т;

d – плотность АХОВ, т/м³;

F – реальная площадь разлива в поддон (обваловку), м².

3. Предельное время пребывания людей в зоне заражения и продолжительность сохранения неизменными метеорологических условий (степени вертикальной устойчивости атмосферы, направления и скорости ветра) составляет 4 ч. По истечении указанного времени прогноз обстановки должен уточняться.

4. При авариях на газо- и продуктопроводах выброс АХОВ принимается равным максимальному количеству АХОВ, содержащемуся в трубопроводе между автоматическими отсекающими. Например, для аммиакопроводов он составляет 275–500 т.

Далее рассмотрим методику прогнозирования и оценки обстановки при аварии на ХОО и транспортировке АХОВ в любом агрегатном состоянии при принятых допущениях.

На первом этапе необходимо определить эквивалентное количество АХОВ.

Эквивалентное количество ($Q_{э1}$) вещества в первичном облаке рассчитывается по формуле:

$$Q_{э1} = K_1 K_3 K_5 K_7 Q_0, \quad (4)$$

где:

K_1 – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (табл. 1); для сжатых газов $K_1 = 1$);

K_3 – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого АХОВ (см. табл. 1);

K_5 – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы: для инверсии принимается равным 1, для изотермии – 0,23; для конвекции – 0,08;

K_7 – коэффициент температуры воздуха (см. табл. 1). Для сжатых газов $K_7 = 1$;

Таблица 1 – Значения коэффициентов для прогнозирования обстановки

АХОВ	Плотность АХОВ, т/м ³		Значения коэффициентов						
	газ	жидк.	K ₁	K ₂	K ₃	K ₇ для температуры воздуха			
						- 40	- 20	0	20
Аммиак: под давлением изотермический	0,0008	-	0,18	0,025	0,04	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1
	-	0,681	0,01	0,025	0,04	1/1	1/1	1/1	1/1
Фторо-водород	-	0,989	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1
Окислы азота	-	1,491	0	0,04	0,4	0	0	0,4	1
Окись этилена	-	0,882	0,05	0,041	0,27	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1
Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	0,11	0,049	0,333	0/0,2	0/0,5	0,3/1	1/1
Сероводород	0,0015	0,964	0,27	0,042	0,036	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1
Сероуглерод	-	1,236	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1
Соляная кислота	-	1,198	0	0,021	0,3	0	0,1	0,3	1
Синильная кислота	-	0,7	0	0,026	3,0	0	0	0,4	1
Триметиламин	-	0,672	0,07	0,047	0,1	0/0,1	0,0/0,4	0/0,9	1/1
Формальдегид	-	0,815	0,19	0,034	1	0/0,4	0/1	0,5/1	1/1
Фосген	0,0035	1,432	0,05	0,061	1	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1
Фтор	0,0017	1,512	0,95	0,038	3	0,7/1	0,8/1	0,9/1	1/1
Фосфор хлористый	-	1,57	0	0,01	0,2	0,1	0,2	0,4	1
Хлор	0,0032	1,553	0,18	0,052	1	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1
Хлорциан	0,0021	1,22	0,04	0,048	0,8	0/0	0/0	0/0,6	1/1
Хлорпикрин	-	1,658	0	0,002	30	0,03	0,1	0,3	1
Этиленимин	-	0,8387	0	0,009	0,125	0,05	0,1	0,4	1
Этилмеркаптан	-	0,839	0	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1
Этиленсульфид	-	1,005	0	0,013	6	0,05	0,1	0,4	1

Примечание: в числителе приведены значения коэффициентов для первичного облака, в знаменателе – для вторичного.

Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т. При авариях на хранилищах сжатого газа Q_0 рассчитывается по формуле

$$Q_0 = d V_x, \quad (5)$$

где:

d – плотность АХОВ, т/м³ (см. табл. 1);

V_x – объем хранилища, м³.

При авариях на газопроводе Q_0 находят из уравнения

$$Q_0 = n d V_r / 100, \quad (6)$$

где:

n – содержание АХОВ в продукте, %;

V_r – объем секции газопровода между автоматическими отсекающими, м³.

При определении величины Q_{01} для сжиженных газов, не вошедших в табл.1, значение коэффициента K_7 принимается равным 1, а коэффициент K_1 рассчитывается по соотношению

$$K_1 = C_p \cdot \Delta T / \Delta H_{исп}, \quad (7)$$

где:

C_p – удельная теплоемкость жидкого АХОВ, кДж/(кг °С);

ΔT – разность температур жидкого АХОВ до и после разрушения емкости °С;

$\Delta H_{исп}$ – удельная теплота испарения жидкого АХОВ при температуре испарения, кДж/кг.

Эквивалентное количество вещества во вторичном облаке определяется по формуле

$$Q_{02} = (1 - K_1) K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 Q_0 / h d, \quad (8)$$

где:

K_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (см. табл. 1);

K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра (табл. 2);

Таблица 2 – Коэффициент K_4 в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
K_4	1,00	1,33	1,67	2,00	2,34	2,67	3,00	3,34	3,67	4,00	5,68

K_6 – коэффициент, зависящий от времени N , прошедшего после начала аварии (табл. 3). Значение коэффициента K_6 также можно выяснить после расчета продолжительности испарения вещества T , ч

$$K_6 = N^{0,8} \text{ при } N \leq T;$$

$$K_6 = T^{0,8} \text{ при } N > T; (9)$$

при $T < 1$ ч K_6 принимается для 1 ч;

h - толщина слоя АХОВ, м.

Таблица 3 – Значение коэффициента K_6 в зависимости от времени N , прошедшего после аварии

N , час	1	2	3	4
K_6	1,00	1,74	2,41	3,13

Таблица 4 – Глубины зон заражения, км

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т							
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10
1 и менее	0,3	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83
3	0,22	0,48	0,6,8	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46
5	0,17	0,3	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17
15 и более	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07

Продолжение таблицы 4

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т					
	20	30	50	70	100	500
1 и менее	29,56	38,13	52,7	65,23	82,00	231,0
2	16,44	21,00	28,80	35,35	44,10	121,0
3	11,94	15,20	20,60	25,20	31,80	84,5
4	9,62	12,18	16,43	20,00	24,80	65,90
5	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	54,67
6	7,20	9,06	12,14	14,80	18,20	47,10
7	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	41,63
8	5,92	7,42	9,90	12,00	14,68	37,50
9	5,60	6,86	9,12	11,03	13,50	34,24
10	5,31	6,50	8,50	10,23	12,54	31,61

При определении Q_{32} для веществ, не вошедших в таблицу 1, значение коэффициента K_7 принимается равным 1, а коэффициент K_2 определяется по формуле

$$K_2 = 8,1 \cdot 10^{-6} P \sqrt{\mu}, \quad (10)$$

где:

P – давление насыщенного пара при заданной температуре воздуха, мм рт. ст;

μ – молекулярная масса вещества.

Нахождение глубины зоны заражения первичным (вторичным) облаком АХОВ при авариях на технологических емкостях, хранилищах и транспорте ведется с использованием табл. 4.

В данной таблице приведены максимальные значения глубины зоны заражения первичным (Γ_1) или вторичным (Γ_2) облаком АХОВ, определяемые в зависимости от эквивалентного количества вещества и скорости ветра. Полная глубина зоны заражения Γ (км), обусловленной воздействием первичного и вторичного облака АХОВ, определяется как

$$\Gamma = \Gamma' + 0,5\Gamma'', \quad (11)$$

где Γ' - наибольший, а Γ'' - наименьший из размеров Γ_1 и Γ_2 .

Предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс $\Gamma_{\text{п}}$, рассчитывается по формуле

$$\Gamma_{\text{п}} = N \cdot V_{\text{п}}, \quad (12)$$

где:

N – время от начала аварии, ч;

$V_{\text{п}}$ – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при заданной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости атмосферы (табл. 5), км/ч (табл. 6).

Таблица 5 – Зависимость степени вертикальной устойчивости атмосферы от метеорологических факторов

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно, перем. облач.	Сплошная облач.	Ясно, перем. облач.	Сплошная облач.	Ясно, перем. облач.	Сплошная облач.	Ясно, перем. облач.	Сплошная облач.
0-0,5	ин	из	ин	из	к	из	ин	из
0,6 - 2	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	ин	из
2,1 - 4	ин	из	из (ин)	из	из	из	из (ин)	из
4-20	из	из	из	из	из	из	из	из

Примечание: ин – инверсия, из – изотермия, к – конвекция. В скобках приведены значения степени вертикальной устойчивости при снеговом покрове.

Таблица 6 – Скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха (км/ч) в зависимости от скорости ветра

Степень вертикальной устойчивости атмосферы	Скорость ветра, м/с														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Инверсия	5	10	16	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Изотермия	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
Конвекция	7	14	21	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Полученные из таблиц значения глубины зоны заражения Γ сравниваются с предельно возможной глубиной переноса воздушных масс $\Gamma_{\text{п}}$. За окончательную расчетную величину глубины зоны заражения принимается меньшее из этих значений.

В случае разрушения химически опасного объекта при прогнозировании глубины зоны заражения рекомендуется брать данные на одновременный выброс суммарного запаса АХОВ на объекте и следующие метеорологические условия: инверсия, скорость ветра 1 м/с.

Эквивалентное количество АХОВ в облаке зараженного воздуха определяется аналогично рассмотренному выше методу для вторичного облака при свободном разливе. При этом суммарное эквивалентное количество Q_3 рассчитывается по формуле:

$$Q_3 = 20K_4K_5 \sum_{i=1}^n (K_{2i}K_{3i}K_{6i}K_{7i} \frac{Q_i}{d_i}), \quad (13)$$

где:

K_{2i} – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств i -го АХОВ (см. табл. 1);

K_{3i} – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе i -го АХОВ (см. табл. 1);

K_{6i} – временной коэффициент i -го вещества, определяемый вышеописанным методом;

K_{7i} – поправка на температуру для i -го АХОВ (см. табл. 1);

Q_i – запасы i -го АХОВ на объекте, т;

d_i – плотность i -го АХОВ, т/м³ (см. табл. 1).

Время подхода облака зараженного воздуха к объекту получаем поделив расстояние от объекта до места аварии (км) на скорость переноса облака $V_{п}$, км/ч (см. табл. 6)

$$t_{\text{подх}} = L / V_{п}. \quad (14)$$

Продолжительность поражающего действия АХОВ определяется временем его испарения T (ч) с площадки разлива

$$T = \frac{hd}{K_2K_4K_7}. \quad (15)$$

Площадь зоны возможного заражения АХОВ для первичного (вторичного) облака рассчитывается по формуле

$$S_в = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma_{1,2}^2 \cdot \varphi, \quad (16)$$

где:

$S_в$ – площадь зоны возможного заражения АХОВ, км²,

$\Gamma_{1,2}$ – глубина зоны заражения первичным или вторичным облаком, км;
 φ – угловые размеры зоны возможного заражения, град. При скорости ветра менее 0,5 м/с зона имеет вид окружности $\varphi=360^\circ$; при скорости ветра от 0,6 до 1 м/с $\varphi=180^\circ$; от 1 до 2 м/с $\varphi=90^\circ$; и выше 2 м/с $\varphi=45^\circ$.

Площадь зоны фактического заражения S_ϕ (км²) вычисляется по следующему уравнению

$$S_\phi = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2}, \quad (17)$$

где K_8 – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости атмосферы: 0,081 – при инверсии, 0,133 – при изотермии, 0,235 – при конвекции.

В конце прогнозирования производят оценку обстановки и намечают наиболее целесообразные действия по защите людей.

Выводы. Основную сложность при получении прогноза возможных зон поражения при авариях на ХОО представляет неоднозначный выбор коэффициентов влияния, что, в свою очередь, может привести к существенной погрешности как при прогнозировании зон поражения, так и при определении сил и средств, необходимых для ликвидации возможных аварий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котляревский В.А., Кочетков К.Е., Носач А.А., и др. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 1995.
2. Серебровский А.Н. Об оценках ситуаций по потенциально опасным объектам на этапе превентивного мониторинга // Мат. машини і системи. – 2000. – № 1. – С. 57 – 64.
3. Ambient air monitoring system // Process Eng. (Austral.). – 1993. – v.21. – N.12. – P.16-18.
4. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
5. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982 г. – 320 с.

УДК 351.861

*Тарасова Г.В., канд. хим. наук, ст. преп.,
Тютюник В.В., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.*

Академия гражданской защиты Украины

МОЛЕКУЛЯРНО-ОПТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С АВАРИЙНЫМ ИСТЕЧЕНИЕМ ВЗРЫВООПАСНЫХ ГАЗОВ

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

В работе представлены результаты исследования возможности метода поляризационно-молекулярной оптики при решении задач мониторинга чрезвычайных ситуаций связанных с аварийным истечением взрывоопасных газов.

Постановка проблемы. Контроль и прогнозирование возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на промышленных объектах, которые вызваны выбросами взрывоопасных газов, является актуальной задачей как с социальной, так и с технико-экономической точки зрения.

Особая опасность промышленных объектов подтверждается неблагоприятными специфическими свойствами сырья, которое представляет собой сложную смесь, содержащую, наряду с углеводородами различного строения, растворенные газы метан-бутановой фракции [1].

Статистические данные, полученные в результате анализа причин чрезвычайных ситуаций на объектах промышленности, указывают, что возникновение ЧС связано с нарушением технологических процессов, в частности с утечкой опасных веществ [2].

Таким образом, очевидна необходимость раннего высокоточного обнаружения в реальном масштабе времени чрезвычайных ситуаций на данных объектах.

Анализ последних исследований и публикаций. Надежным способом определения аварийных утечек опасного сырья на промышленных объектах являются методы и средства качественно-количественного контроля газовоздушных сред и установление динамики их состава. Работа последних основана на определении опасных компонентов в составе воздуха производственной среды и скорости роста их концентраций относительно фонового уровня [3 ÷ 4].

Существующие методы газового анализа [5], в зависимости от принципа измерения, условно могут быть разделены на химические, биологические, физико-химические, а также физические. Наиболее распространенными являются физические методы, основанные на зависимости какой-

либо физической характеристики газоздушной смеси от концентрации определяемой компоненты. К таковым следует отнести электрическую проводимость, магнитную восприимчивость, теплопроводность, оптическую плотность, коэффициенты рассеяния и т.д.

Проведенный анализ [6 ÷ 10] методов качественно-количественного контроля многокомпонентных газовых и газоздушных сред показал, что не один из известных и технически реализованных физических методов не отвечает предъявляемым к ним требованиям по таким параметрам, как избирательность, чувствительность, быстродействие при проведении измерений в непрерывном автоматическом режиме. Например, одними из перспективных методов являются масс-спектроскопические, общим достоинством которых является прицезионность, избирательность и высокая чувствительность. Несмотря на это применение масс-спектрометрии для непрерывного контроля газоздушных сред в промышленных условиях, ограничивается технической сложностью и громоздкостью приборов, а также требованием высококвалифицированного обслуживания.

Хроматография также является одним из универсальных методов, предназначенных для определения идентификационного состава многокомпонентных газовых смесей и характеризуется сравнительно простым аппаратным решением. Основным недостатком этого метода является периодичность анализа.

Радиоспектроскопия и люминесценция, как и вышеперечисленные методы, характеризуются высокими метрологическими показателями, но наряду с этим и они предусматривают отбор и подготовку пробы, что ведет к увеличению времени проведения опыта, объему расходуемых материалов, а также к временной дискретности измерений.

Более простые методы анализа, имеющие небольшой предел обнаружения и сравнительно низкую разрешающую способность, не позволяют добиться таких высоких характеристик измерений, хотя некоторые из них и могут быть использованы для автоматического контроля. К таковым следует отнести измерение электрохимических, электрических, а также термодинамических характеристики среды. Созданные на этих принципах устройства применяются для анализа токсичных и отравляющих веществ, а также горючих газов.

Основным недостатком этих средств измерения является низкая чувствительность и разрешающая способность, большая инерционность и ограниченность диапазонов измерения.

Вместе с тем, известные теоретические и экспериментальные результаты исследования газовых и жидкофазных сред методами молекулярной оптики указывают на высокие эксплуатационные, метрологические характеристики этих методов [11 ÷ 12].

Основой предполагаемого решения является эффект электрического двойного лучепреломления (ЭДЛП).

Суть эффекта ЭДЛП заключается в том, что, будучи помещенное в сильное электрическое поле F , оптически изотропное и прозрачное вещество приобретает свойства, аналогичные оптическим свойствам одноосных кристаллов с плоскостью пропускания, направленной вдоль приложенного поля F . Падающий поляризованный луч света, проходя через исследуемую среду с искусственно созданной оптической анизотропией, разделяется на два луча – обыкновенный и необыкновенный, которые имеют различные скорости распространения, определяя этим различие показателей преломления в направлениях параллельном (n_{\parallel}) и перпендикулярном (n_{\perp}) полю F . Измерение разности $n_{\parallel} - n_{\perp}$ и определяет величину ЭДЛП. Очевидна также ее зависимость от состава измеряемой среды [13].

Постановка задачи и ее решение. Молярная константа Керра (${}_m K_{T_0}$) многокомпонентного ($j = \mathfrak{R}$) газофазного диэлектрика ($\mathfrak{R} \geq 4$) определяется в ориентационной теории Ланжевена-Борна [14] соотношением

$${}_m K_{T_0} = \sum_{j=1}^{\mathfrak{R}} x_j {}_m K_{T_j}, \text{ где } x_j \text{ и } {}_m K_{T_j} - \text{концентрация и молярная константа}$$

Керра компонент исследуемого газа.

Экспериментально наблюдаемая величина электрического двойного лучепреломления (ЭДЛП) газовой смеси $K_{\mathfrak{E}_0}$ обнаруживает, что

$$K_{\mathfrak{E}_0} \neq \sum_{j=1}^{\mathfrak{R}} x_j K_{\mathfrak{E}_j}, \text{ где } K_{\mathfrak{E}_j} - \text{величина ЭДЛП рассчитываемая по экспери-}$$

ментально определяемой в опыте константе Керра $B_{\mathfrak{E}_j}$ ($K_{\mathfrak{E}_j} = \lambda B_{\mathfrak{E}_j} n(\lambda)_j^{-1}$) компонент смеси (λ – длина волны луча света, зондирующего среду с показателем преломления $n(\lambda)_j$). Данное обстоятельство приводит к несовпадению величины ${}_m K_{T_0}$ с расчетной молярной константой Керра ${}_m K_{P_0}$ смеси:

$${}_m K_{P_0} = M_0 K_{\mathfrak{E}_0} \rho_0^{-1}, \quad (1)$$

где M_0 , ρ_0 – молярная масса и плотность газа. Причина этого, на наш взгляд, заключена в возможном проявлении заметной анизотропии ММВ молекул керровской среды [15, 16].

В этой связи целесообразно провести исследование возможности распространения модифицированной теории диэлектриков и модельного описания внутреннего поля [17] на керровские газофазные среды с целью определения электрооптических параметров (ЭОП) одной из компонент

смеси. Рассмотрим один из вариантов промышленного газа, характеристикой которого является различие концентрацией x_i его компонентов i . Определение поля индукции поляризующего электрического поля действующего в центре молекулы искомой (w -ой) компоненты и ее полной энергии выполним в рамках следующей модели: молекулу аппроксимируем онсагеровской полостью окруженной бесструктурным диэлектриком вплоть до сферы Лоренца за пределами которой – газовая смесь. Сферу Онсагера, содержащую в центре $\vec{\mu}_{0_w}$ – диполь w -ой молекулы в свободном состоянии, заполним континуумом, восприимчивость которого совпадают с восприимчивостью компоненты w и модельно описаны в [18]. Диэлькометрические параметры окружения онсагеровской сферы задаются соответствующими показателями наиболее представительной по концентрации k -ой компонентой газа ($x_k \gg x_i, i \neq k$). Индукция поляризующего внешнего электрического поля \vec{E}^e , действующего в центра шара есть векторная сумма поля полости ($\vec{G} = g_{Лорэн} g_{Онск} g_{uw} \vec{E}^e$) и реактивного поля ($\vec{R} = (f_{uw} + f_{Онск}) \vec{\mu}_0$). При этом g_{uw} и f_{uw} , $g_{Онск}$ и $f_{Онск}$, $g_{Лорэн}$ – коэффициенты поля полости и реактивного поля шара, его окружения и окружения полости Лоренца, определяемые согласно моделей внутреннего поля – [17], Онсагера и Лоренца [19], соответственно.

Ориентационную и индуцированную энергию молекулы (с электрической поляризуемостью – α_w^e) w -той компоненты газовой смеси запишем в виде:

$$\begin{aligned} U_{op} &= -\mu_{0_w}^* Z_1 G^* \\ U_{ind} &= -\alpha_w^e Z_2 G^* / 2 \end{aligned} \quad (2)$$

где:

$$\begin{aligned} G^* &= G / [1 - \alpha_w^e (f_{uw} + f_{Онск})]; \quad \mu_{0_w}^* = \mu_{0_m} / [1 - \alpha_w^e (f_{uw} + f_{Онск})]; \\ Z_1 &= 1 + \alpha_w^e (f_{uw} + f_{Онск}) - \alpha_w^{e^2} f_{Онск} (f_{uw} + f_{Онск}) + \alpha_w^{e^3} f_{Онск} (f_{uw}^2 + f_{Онск}^2); \\ Z_2 &= (1 + \alpha_w^{e^2} f_{Онск}^2). \end{aligned}$$

Молярную константу (${}_m K_{P_w}$) w -ой компоненты газовой смеси, в рамках следующего модельного описания (невзаимодействующие молекулы компоненты w окружены газом гипотетических молекул с концентрацией x_{gr-w}) определим как

$${}_m K_{P_0} = x_w {}_m K_{P_w} + x_{gr-w} {}_m K_{P_{gr-w}}. \quad (3)$$

Отметим, что ЭОП и диэлькометрические показатели газа гипотетических молекул: $B_{\mathcal{E}_{\text{гр-}w}}$, $n_{\text{гр-}w}$, $\varepsilon_{\text{гр-}w}$, $\rho_{\text{гр-}w}$ и $M_{\text{гр-}w}$ – величина ЭДЛП, показатель преломления, диэлектрическая проницаемость, плотность и молярная масса, – определяются соответствующими характеристиками исходной газовой смеси не содержащей исследуемую компоненту. Величина ${}_m K_{P_0}$ (3) рассчитывается по опытной величине ($B_{\mathcal{E}_0}$) константы Керра смеси; ${}_m K_{P_{\text{гр-}w}}$ определяется как ${}_m K_{P_{\text{гр-}w}} = \lambda M_{\text{гр-}w} B_{\text{гр-}w} \rho_{\text{гр-}w}^{-1} n(\lambda)_{\text{гр-}w}^{-1} F_{\text{Л}}^{o-1} F_{\text{H}}^{e-1}$ с $B_{\text{гр-}w}$ – величина ЭДЛП газа гипотетических молекул, $\vec{F}_{\text{Л}}^o$ и \vec{F}_{H}^e – эффективные величины оптического (заданного в виде поля Лоренца) и поляризующего электрического (определяемого предложенной выше моделью) полей.

В [20] задача восстановления ЭОП вещества в бинарной смеси была решена в приближении его конечного разбавления. Данный подход распространим и на наш случай при условии выполнения линейных зависимостей ЭОП ($B_{\mathcal{E}_0}$ – опытно наблюдаемая константа Керра) и диэлькометрических характеристик раствора от концентрации x_w вещества: $B_{\mathcal{E}_0} = B_{\mathcal{E}_{\text{гр-}w}} (1 + \xi_{\text{гр-}w} x_w)$, $\rho_0 = \rho_{\text{гр-}w} (1 + \beta_{\text{гр-}w} x_w)$, $n(\lambda)_0 = n(\lambda)_{\text{гр-}w} (1 + \gamma_{\text{гр-}w} x_w)$, $\varepsilon_0 = \varepsilon_{\text{гр-}w} (1 + \delta_{\text{гр-}w} x_w)$, где ε_0 и $n(\lambda)_0$ – диэлектрическая проницаемость и показатель преломления анализируемой газовой смеси. Молярную константа ${}_m K_{P_w}$ как результат дифференцирования (3) по x_w запишем в виде:

$$\begin{aligned}
 \infty ({}_m K_w) = A \frac{3\lambda n(\lambda)_{\text{гр-}w}^2 B_{\text{гр-}w} M_{\text{гр-}w}}{(g_{u_w} g_{\text{Онк}} g_{\text{Лор}_{\text{гр}}})^2 (n_{\text{гр-}w}^2 + 2) \rho_{\text{гр-}w}} & \left\{ 1 + \xi_{\text{гр-}w}^* + \gamma_{\text{гр-}w}^* \frac{2 - n_{\text{гр-}w}^2}{n_{\text{гр-}w}^2 + 2} - \right. \\
 - \beta_{\text{гр-}w}^* - 2 \left[(g_{u_{\text{гр-}w}} g_{\text{Онк}_{\text{гр-}w}})^2 - (g_{u_w} g_{\text{Онк}})^2 \right] & \left. \left(\frac{d}{dx_2} \ln g_{\text{Лор}_{\text{гр}}} \right)_{x_w \rightarrow 0} \right\} \quad (5)
 \end{aligned}$$

где $\xi_{\text{гр-}w}^*$, $\beta_{\text{гр-}w}^*$, $\gamma_{\text{гр-}w}^*$, $\delta_{\text{гр-}w}^*$ – экстраполяционные значения (при $x_w = 0$) коэффициентов $\xi_{\text{гр-}w}$, $\beta_{\text{гр-}w}$, $\gamma_{\text{гр-}w}$, $\delta_{\text{гр-}w}$ измеренных в диапазоне концентраций x_w ; $A = [1 - \alpha_w^e (f_{u_w} + f_{\text{Онк}_w})]^3 / Z_{1_w}^2$.

Методика опытной проверки, приведенной выше теории, включала два этапа – исследование возможностей метода ЭДЛП в контроле опасной компоненты в модельной газовой смеси и промышленного газа в составе воздуха. Первый этап исследований состоял в следующем. Составленный четырехкомпонентный растворитель включал следующие органические соединения: $\text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_4\text{H}_{10}$, спектральная чистота которых контролировалась спектральной аппаратурой фирмы Perkin Elmer: "Lambda-9" (УФ и видимый диапазон) и " FTJR 170X " (ИК-диапазон). Концентрация

растворенной компоненты (CH_4) контролировалась ХМС фирмы Finnigan – "Finnigan MAT B-461". Диэлькометрические характеристики "растворителя" – ($\mathfrak{R} - w$), растворенной компоненты – (w) и раствора в диапазоне концентраций растворенной компоненты определялись на стандартной аппаратуре физико-химического и аналитического анализа. Величина ЭДЛП – $B_{\mathfrak{O}}$ измерялась методом двулучевой компенсации (при $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ зондирующего излучения) на установке с фотоэлектрической регистрацией в диапазоне ($1 \div 0,3$ кВ) низкочастотного поляризующего синусоидальной формы напряжения [21]. Коэффициенты $\xi_{\mathfrak{R}-w}^*$, $\beta_{\mathfrak{R}-w}^*$, $\gamma_{\mathfrak{R}-w}^*$, $\delta_{\mathfrak{R}-w}^*$, входящие в (5) определялись по данным измерений соответствующих показателей "раствора" в диапазоне 5 ÷ 10 концентраций вещества CH_4 , обнаруживающего линейные зависимости $B_{\mathfrak{O}}$, ε_0 , $n(\lambda)_0$ и ρ_0 от x_w . Результаты определения минимальной концентрации регистрируемой компоненты при условии ее определения молярной константы Керра в диапазоне амплитуд поляризующего напряжения представлены в табл. 1.

Методика опытной проверки возможностей метода, основанного на использовании эффекта Керра, при решении задач концентрационного контроля газовых и газоздушных сред идентична описанной выше. Анализ проводился для реального промышленного газа растворенного в воздушной смеси. Результаты представлены (рис. 1) в виде графических зависимостей нормированной величины ЭДЛП газа ($\Delta B = \left| \frac{B_{\text{газ}} - B_{\text{возд}}}{B_{\text{возд}}} \right|$) от концентрации газа и величин поляризующего напряжения U .

Таблица 1 – Минимальная концентрация C исследуемого CH_4 в газовой смеси при которой возможна ее идентификация от величины поляризующего напряжения U

U, кВ	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
C, об. %	0,5	0,6	1,1	1,9	2,4	3,5	4,7	5,7

Минимальные концентрационные пределы обнаружения газа в газоздушной среде определяются: электрооптическими характеристиками молекул исследуемой среды, величинами приложенных поляризующих полей и оптических промежутков, а так же разрешающей способностью установки [21]. Как видно из графика, в нашем случае они составили следующие величины – таблица 2.

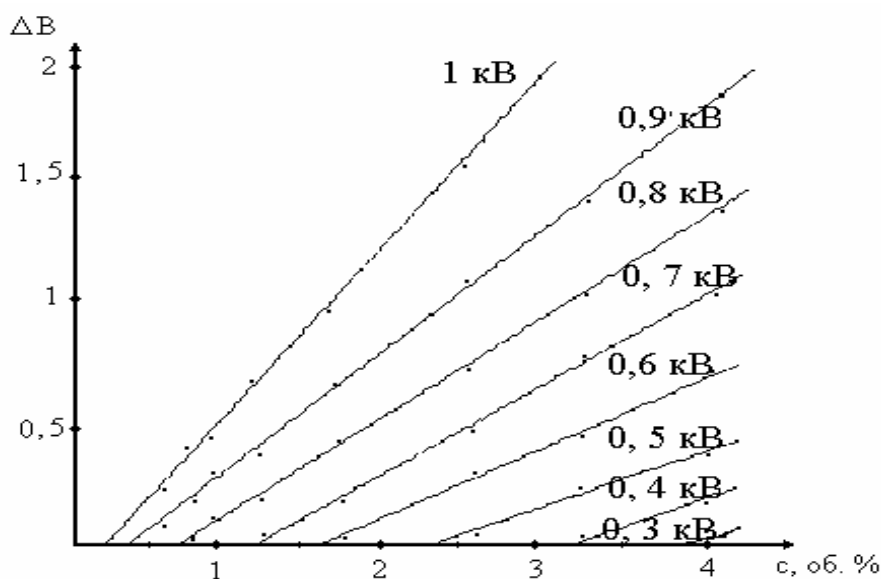


Рис. 1 – Залежність ΔB газу від його концентрації і величини поляризуючого напруги

Таблиця 2 – Минимальная концентрация C исследуемого промышленного газа в воздухе при условии его концентрационного обнаружения от величины поляризующего напруги U

U , кВ	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
C , об. %	0,3	0,4	0,7	1,3	1,6	2,3	3,1	3,8

Выводы. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о возможности и практической значимости метода, основанного на использовании эффекта Керра, в решении задач обнаружения процессов зарождения и развития чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазовой промышленности, а именно контроль начальной стадии утечки взрывоопасных жидкостей и их паров в схемах транспортировки (наземной, воздушной и морской), хранения и переработки. Вместе с тем, достаточно актуальны и задачи экологического мониторинга атмосферы и гидросферы: обнаружение методами молекулярной оптики источников залповых сбросов и выбросов высокотоксичных веществ по данным их следовых концентраций, в том числе и их идентификацию.

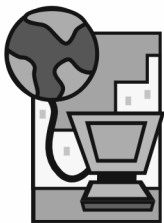
ЛИТЕРАТУРА

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
2. Черняховский Э.Р., Шкидченко А.Н., Юматова О.А., Чушкина З.Ю. Применение различных технологий при ликвидации последствий ава-

- рийных разливов нефти, нефтепродуктов и продуктов нефтесодержащих отходов // Пробл. безо. при ЧС. ВИНТИ. – 2005. – вып. 2. – С. 34 – 41.
3. Тютюник В.В. Молекулярно-оптический мониторинг среды возгорания 1. Анализ газов и проблемы пожарной безопасности. Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр.– Вып.5.– Харьков: ХИПБ МВС Украины, 1999.– С. 196 –203.
 4. Кириленко В. Обнаружение очагов зарождения пожаров // Охрана труда.-1996.-№10.- С. 32-34.
 5. Примак А.В., Щербань А.Н. Методы и средства контроля загрязнения атмосферы- Киев: Наукова думка, 1980.- С. 95-103.
 6. Васильев В.П. Аналитическая химия- М.: Высшая школа, 1989.- Ч.2.- С. 50-366.
 7. Злотин А.М., Ольхов Е.Н. Определение сверхмалых концентраций химических элементов в многокомпонентных средах // Экология промышленного производства.-1994.-№4.- С. 20-27.
 8. Кузнецов С.О., Ольхов Е.Н., Дугина Л.Е. Современные средства экологического контроля и мониторинга // Экология промышленного производства.-1994.-№2.- С. 18-23.
 9. Сушкевич Е.М., Талов А.В. Особенности технической диагностики взрывоопасных систем // Наука-производству.-1997.-№1.- С. 13-16.
 10. Бейерман К. Определение следовых количеств органических веществ- М.: Мир, 1987.- С. 267-337.
 11. Mantegassa F., Ciardini M., Piazza R., Degiorgio V. The Kerr effect in aqueous dispersions of anisotropic and electrically charged latex particles // J.Phys.: Condens.Matter.- 1992.-v.4.-N.45.- P. 8683-8696.
 12. Huang J.Y., Wu M.H. Nonlinear optical studies of binary mixtures of hydrogen bonded liquids // Phys.Rev.E.-1994.-v.50.-N.5.- P. 3737-3746.
 13. Преждо В.В., Хащина М.В., Замков В.А. Электрооптические исследования в физике и химии. – Харьков: Вища школа. Изд. при ХГУ, 1982. – 152 с.
 14. Langevin P. Sur les birefringences electrique et magnetique // Le Radium. – 1910. – v.7. – P.249 – 260.
 15. Blaszcak Z., Farhoud M. Solute-solvent interaction in aqueous solutions studied by optical Kerr effect // Acta phys. pol. Ser. A. – 1997. – v.91. – N.3. – P. 531 – 542.
 16. Basilevsky M.V., Parsons D.F. An advanced continuum medium model for treating solvation effects: nonlocal electrostatics with a cavity // J. Chem. Phys. – 1996. – v.105. – N.9. – P. 3734 – 3746.

17. Тютюник В.В., Светличная С.Д., Тарасова Г.В., Тюрин С.А. Явление Керра в жидкофазных диэлектриках. Вестник ХГПУ. – Вып. 128. – Харьков: ХГПУ, 2000. – С. 134 – 142.
18. Тютюник В.В., Тарасова Г.В., Тюрин С.А. Молекулярно-оптический мониторинг среды возгорания 2.2. Модификация модели внутреннего поля Онсагера. Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр.– Вып.8.– Харьков: АПБУ МВС Украины, 2000.– С. 150 –157.
19. Я.И. Френкель, А.И. Губанов Современное состояние теории поляризации диэлектриков // УФН – 1940. – т.24. – вып.1. – С. 68 – 108.
20. Тютюник В.В., Светличная С.Д., Тарасова Г.В., Тюрин С.А. Явление Керра в бинарных жидкофазных органических соединениях// Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 3 (13). – С. 92 – 101.
21. Тютюник В.В., Говаленков С.В., Тарасова Г.В., Тюрин С.А., Иванов Н.И. Установка Керра – первичный оптоэлектронный преобразователь // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 2 (12). – С. 172 – 181.





ПИТАННЯ РОЗБУДОВИ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

УДК 351.861

¹Кулешов М.М., канд. техн. наук, проф.,
²Одарюк П.В., канд. техн. наук, нач. ГУМНСУ

¹Академія цивільного захисту України
²Головне управління МНС України в Харківській області

ВДОСКОНАЛЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

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

Проведено аналіз існуючої системи цивільного захисту України. Наведені рекомендації щодо вдосконалення діяльності системи цивільного захисту

Постановка проблеми. Тенденції розвитку природних, технічних, екологічних небезпек і загроз та їх прогноз на перспективу свідчать про те, що на території України буде зберігатись досить високий ступінь ризику виникнення крупномасштабних надзвичайних ситуацій (НС) різного характеру.

Тільки прогнозовані надзвичайні ситуації будуть вести до збільшення збитків, які вже зараз становлять майже 1 млрд. грн. на рік [2].

Найбільшу небезпеку в природній сфері становлять надзвичайні ситуації, які зумовлені географічними чинниками: паводками, зсувами, ураганами, лісовими пожежами, а в техногенній сфері - аваріями, які пов'язані з викидами хімічно і біологічно небезпечних речовин, вибухами, пожежами, гідродинамічними аваріями та аваріями на системах комунально-енергетичного господарства.

Метою державної політики у сфері захисту населення і території від надзвичайних ситуацій на найближче десятиріччя є забезпечення гарантованого захисту здоров'я людей, земельного, водного, повітряного простору, відповідних територій, об'єктів виробничого і соціального призначення [4].

У зв'язку з цим постає питання щодо спроможності державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації, ефективно і надійно

забезпечити захист населення і території від негативних наслідків НС як техногенного, так і природного характеру, та адекватно реагувати на них.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досвід організації діяльності системи цивільного захисту деяких закордонних держав під час виникнення крупномасштабних аварій і стихійних лих свідчить про їх невисокий рівень надійності.

Прикладом того можуть бути дії Федерального агентства з управління у надзвичайних ситуаціях Міністерства національної безпеки США під час затоплення міста Новий Орлеан. На розгортання рятувальної операції знадобилось декілька днів.

Слід зазначити також те, що за останні п'ятнадцять років в Україні розроблено і прийнято ряд законодавчих і нормативних актів, які регулюють діяльність органів виконавчої влади і місцевого самоврядування, МНС України у сфері запобігання і ліквідації надзвичайних ситуацій.

Серед них Закони України: „Про аварійно-рятувальні служби”, „Про цивільну оборону України”, „Про захист населення і території від надзвичайних ситуацій”; Укази президента: „Про заходи щодо підвищення рівня захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій технічного характеру”, „Про затвердження державної програми перетворення військ цивільної оборони України, органів і підрозділів державної пожежної охорони в оперативно-рятувальну службу цивільного захисту”; Постанови Кабінету Міністрів України: „Про затвердження положення про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру” тощо.

На перший погляд створено непогану нормативно-правову базу, яка враховує та охоплює усі сторони функціонування системи цивільного захисту як на державному, так і на регіональному, місцевому і об'єктовому рівнях, та передбачає порядок здійснення заходів із запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків.

Разом з тим проведений аналіз законодавчої і нормативно-правової бази стосовно діяльності в сфері цивільного захисту свідчить про те, що деяка частина документів у багатьох питаннях суперечить один одному як за змістом і визначенням окремих термінів, так і за функціями окремих систем.

Прикладом цього є існування на цей час трьох систем:

- системи цивільної оборони України;
- єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру;
- єдиної державної системи цивільного захисту.

Усі вони створені з метою забезпечення безпеки та захисту населення, територій, матеріальних та культурних цінностей, довкілля від негативних наслідків надзвичайних ситуацій.

Усе це свідчить, що сьогодні нарізла необхідність приведення до взаємної відповідності і скасування деяких вищезазначених законодавчих та підзаконних актів.

Постановка завдання та його вирішення. Безперечним є той факт, що умовою ефективного функціонування будь-якої державної системи, в тому числі і системи цивільного захисту, є чіткий розподіл повноважень та організація взаємодії між усіма гілками виконавчої влади.

Система взаємодії являє собою складну динамічну систему, яка складається із взаємопов'язаних і взаємодіючих державних, господарчих, громадських організацій, а також громадян, які покликані вирішувати питання цивільного захисту. Успішне функціонування будь-якої системи можливе тільки за умови установаження між складовими її елементами стійких, постійно діючих зв'язків. Без цих зв'язків, без взаємодії частин і чіткого керівництва ними будь-яка система під впливом зовнішніх і внутрішніх негативних чинників, які заважають її розвитку, розпадається [1]. Вищевикладене є задачею дослідження.

Відповідно до діючого законодавства в Україні створена єдина державна система цивільного захисту (ЄДСЦЗ), структуру якої становлять центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування і створювані ними функціональні та територіальні підсистеми [4].

На жаль існуючі підходи до організації функціонування ЄДСЦЗ не дають чіткого уявлення роботи цієї системи як єдиного цілісного механізму з чітким розподілом завдань, функцій, і повноважень кожної складової частини цього механізму, зв'язків і шляхів взаємодії між ними, особливо на територіальному рівні. Одним з прикладів є нез'ясованість між собою і дублювання завдань та функцій підрозділами територіального органу управління спеціального центрального органу виконавчої влади з питань цивільного захисту і структурними підрозділами з питань цивільного захисту створеними у складі місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування, необхідність існування яких не підлягає сумніву. Нез'ясованість дій і дублювання функцій між двома цими структурами, насамперед, стосується реалізації державної політики у сфері цивільного захисту населення і території від надзвичайних ситуацій з питань інженерного, хімічного, біологічного, екологічного захисту та евакуації населення, а також інших протиріч, пов'язаних з контролюючими і управлінськими функціями.

Не висловлюючи в статті своїх думок щодо розподілу повноважень з вищевикладених питань все ж таки слід зупинитися на одному з них: це евакуація населення у разі виникнення НС. Безумовно до цього процесу повинні бути причетними як органи місцевої виконавчої влади, так і територіальні органи і підрозділи МНС України і, в першу чергу, як безпосере-

дні організатори і виконавці заходів з евакуації людей під час виникнення загрози від НС.

Разом з тим такі питання як планування евакуаційних заходів, визначення зон, придатних для розміщення евакуйованого населення, організація сповіщення про початок евакуації, управління проведенням евакозаходів, створення необхідних умов для життєдіяльності евакуйованого населення, навчання населення діям при проведенні евакуації, мабуть, є компетенцією і завданням місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування та їх управлінь з НС, які вже мають багатий позитивний досвід з цього напрямку. Згадаємо чорнобильські події 1986 р., коли за лічені години за прийнятим рішенням з ураженої зони було евакуйовано 45 тис. осіб.

До речі, зараз питання щодо розмежування функцій між відповідними управліннями місцевих органів виконавчої влади і територіальних органів управління МНС України та організації чіткої взаємодії між ними активно обговорюються на рівні Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи сумісно з державними адміністраціями АР Крим, міст Києва, Севастополя, областей із залученням науково-дослідних установ та вищих навчальних закладів МНС, і є впевненість, що всі протиріччя найближчим часом будуть усунутими.

Розглядаючи проблеми надійності функціонування системи цивільного захисту, неможливо не зазначити той факт, що успішне виконання завдань із захисту населення від наслідків НС великою мірою залежить від компетенції і рівня підготовки керівного складу сфери цивільного захисту і, зокрема керівників ліквідації надзвичайних ситуацій. Саме вміння керівника орієнтуватися в складній обстановці, приймати управлінські рішення і брати на себе відповідальність за їх реалізацію є запорукою надійності системи управління.

В цьому аспекті необхідно визначити роль і місце спеціального уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань цивільного захисту і його територіальних органів управління.

За останні три роки у складі і структурі цього органу виконавчої влади (МНС України) відбулися докорінні зміни, які пов'язані з передачею до сфери управління МНС Державної пожежної охорони та реформуванням військ цивільної оборони. Зараз, саме на базі підрозділів пожежної охорони, створено оперативно-рятувальну службу цивільного захисту, яка в процесі реформування стикнулася з великою низкою проблем від матеріально-технічного забезпечення до організації управління нею. Адже пожежні підрозділи прибувають перші за викликом на будь-які НС, і від їх початкових дій залежить, яких розмірів і наслідків набуде та чи інша надзвичайна ситуація.

Враховуючи актуальність і важливість цього питання, в Академії цивільного захисту України поряд з курсовою підготовкою керівного складу служби цивільного захисту декілька років тому запроваджено підготовку управлінців за освітньо-кваліфікаційним рівнем „магістр” за спеціальністю „Пожежна безпека”. Разом з тим сфера діяльності керівників, яких готують в академії, виходить далеко за межі проблем пожежної безпеки, тому система підготовки керівників потребує переорієнтації на сферу цивільного захисту.

Висновки. Система цивільного захисту України потребує подальшого вдосконалення і розвитку. Держава повинна мати систему цивільного захисту, яка спроможна своєчасно реагувати на будь-які НС та підкріпити свої дії відповідними ресурсами.

Провідна роль в процесі удосконалення системи цивільного захисту повинна належати науці. Зокрема, необхідно розвивати науку управління, в тому числі управління ризиками, системою моніторингу і прогнозування. При цьому система ЦЗ повинна готуватись і до НС, ризики яких ще неідентифіковані, але можуть у майбутньому бути загрозою для населення (кризи в техногенному середовищі, глобальні епідемії тощо).

ЛІТЕРАТУРА

1. Касимов Б.Є. Организационные и правовые основы пожарной безопасности. - Ташкент, 1990. – 140 С.
2. Рева Г.В. Методичні основи теорії і практики захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій. - Київ, 2004. – 25 С.
3. Закон України „Про правові заходи цивільного захисту” 1859- 24.06.04
4. Національна доповідь „Стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2002 році”. – К.: Чорнобильінтерінформ, 2003. – 291 С.



УДК 612.397:681.322

*Докучаев В.П., преп.,
Николаев И.М., канд. техн. наук, ст. преп.,
Щербак Г.В., канд. техн. наук, нач. каф.*

Академия гражданской защиты Украины

СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

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

Рассмотрены структура и задачи подсистемы управления Единой системы гражданской защиты, а также пути использования информационных технологий для подготовки и поддержки управленческих решений на разных этапах управления силами и средствами гражданской защиты

Постановка проблемы. В условиях роста количества чрезвычайных ситуаций (ЧС) эффективное управление силами и средствами гражданской защиты (СС ГЗ) может быть достигнуто лишь при скоординированной и целенаправленной деятельности МЧС, органов исполнительной власти и местного самоуправления.

Для достижения этой цели предполагается создать Единую систему гражданской защиты (ЕСГЗ), которая должна представлять собой специализированную организационно-техническую систему, обеспечивающую выработку и поддержку управленческих решений по рациональному использованию сил и средств гражданской защиты (ГЗ) в соответствии со складывающейся техногенно-природной обстановкой (ТПО) в регионах и в Украине в целом.

Для эффективного выполнения этой функции ЕСГЗ должна представлять собой специализированную информационно-техническую систему, в которой должны использоваться современные информационные технологии для подготовки и поддержки управленческих решений, формируемых на основе данных о состоянии техногенно-природной обстановки (ТПО) в регионах и на особо опасных объектах. При этом под информационной технологией (системой) будем понимать совокупность взаимосвязанных технических и программных средств, предназначенных для решения определенного круга задач сбора, анализа, обработки, хранения, передачи и/или отображения информации.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что вопросу использования в ЕСГЗ информационных технологий управления силами и средствами гражданской защиты в известной научно-технической литературе не уделяется должного внимания [1-3].

Постановка задачі и ее решение. Целью статьи является обоснование с системных позиций структуры и задач подсистемы управления ЕСГЗ.

Структура и способы технической реализации как ЕСГЗ в целом, так и ее подсистемы управления в значительной мере будут зависеть от состава функций и задач, которые должна выполнять данная система.

Анализ целевого назначения ЕСГЗ показывает, что ее подсистема управления должна обеспечивать эффективное функционирование процедур формирования, координации, согласования, корректировки и контроля выполнения планов использования сил и средств ГЗ, а также алгоритмов решения учетных, информационно-аналитических и расчетных задач.

Структура подсистемы управления ЕСГЗ по составу выполняемых функций и задач должна быть согласованна с организационными структурами центральных и региональных органов МЧС и органов местного самоуправления. Исходя из этого, подсистема управления ЕСГЗ должна содержать достаточно большое число и взаимодействующих органов управления (ОУ), оснащенных соответствующим комплексом взаимосвязанных технических средств. Взаимодействие между органами и элементами подсистемы управления должно осуществляться по различным каналам связи с использованием управляющей информации. При реализации подсистемы управления особое внимание должно быть обращено на адаптацию ее структуры и алгоритмов функционирования на различных уровнях управления.

Проведенный анализ показал, что наиболее приемлемой для создания подсистемы управления является иерархическая структура с четырьмя уровнями управления (рис. 1), достоинством которой является возможность сочетания централизованного управления с локальным управлением отдельными объектами (либо группой объектов). При этом в состав подсистемы управления ЕСГЗ должны входить:

- ОУ разных уровней, каждый из которых представляет собой совокупность лиц, принимающих решения (ЛПР), оргтехники и технических средств контроля и управления;
- совокупность информационных (ИС) и автоматизированных систем, помогающих ЛПР принимать верные решения на различных этапах управления.

Весомым фактором в пользу применения иерархического принципа построения подсистемы управления является широкое использование в контуре управления ПЭВМ, объединенных в локальные вычислительные сети (ЛВС). Иерархическая структура обладает высокой живучестью и надежностью, более высокой по сравнению с централизованной структурой гибкостью управления; удобством и простотой взаимодействия ЛПР с компьютерными системами, входящими в состав в подсистемы управления

ЕСГЗ.

Таким образом, подсистема управления ЕСГЗ должна представлять собой иерархическую совокупность территориально-распределенных ОУ и средств автоматизации, обеспечивающих эффективное использование сил и средств ГЗ в условиях изменяющейся ТПО.

В техническом плане подсистема управления должна представлять собой информационно-управляющую систему (ИУС), в которой часть функций выполняется автоматически, а часть автоматизированно - на основе современных информационных технологий с участием ЛПР, к которым относятся должностные лица ОУ, эксперты и другие пользователи ЕСГЗ.

В системном плане процесс управления использованием сил и средств ГЗ включает в себя комплекс технических, организационных и экономических мероприятий и связанных с ними управленческих воздействий (решений), направленных на качественное функционирование ЕСГЗ. Этот процесс включает четыре основных этапа - прогнозирование, планирование, оперативное управление и мониторинг (контроль), различающихся спецификой решаемых задач и временными показателями формирования управляющих воздействий.

Этап прогнозирования является начальным этапом управления и имеет своей целью оценку распределения и использования имеющихся сил и средств ГЗ в прогнозируемых условиях ТПО с учетом текущих и перспективных потребностей регионов, гарнизонов и частей МЧС. На данном этапе осуществляется оценивание возможности возникновения ЧС и формирование соответствующих рекомендаций и прогнозных решений. Исходя из этого, современные информационные технологии на этапе прогнозирования могут быть использованы для эффективного решения следующих основных задач управления:

- прогнозирование условий ТПО в регионах, гарнизонах или на особо опасных (важных) объектах;
- прогнозирование вариантов распределения сил и средств ГЗ по регионам (гарнизонам) в количественном и процентном отношении;
- оценка возможности размещения частей и подразделений МЧС в заданном регионе, гарнизоне или на особо опасном объекте с учетом их взаимодействия с другими ранее размещенными сил и средств ГЗ;
- оценка потребности регионов (гарнизонов) в силах и средствах ГЗ;
- прогнозирование характеристик информационных потоков в сетях телефонной и радиосвязи;
- прогнозирование эффективности решения задач ликвидации и расхода сил средств ГЗ в заданном районе в случае возникновения техногенной или природной ЧС того или иного вида;

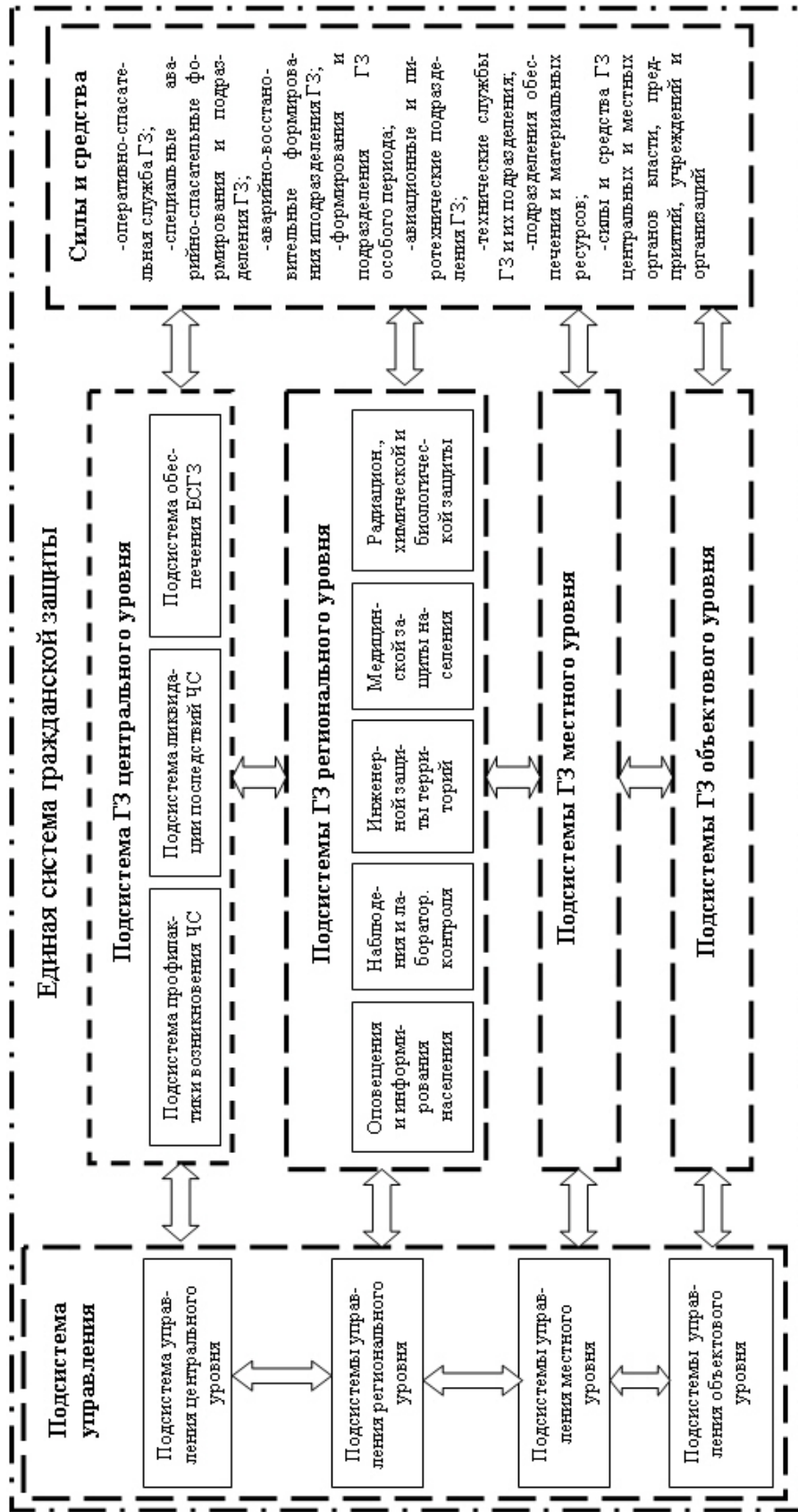


Рис. 1 – Структура подсистемы управления и ее взаимосвязь с другими подсистемами ЕСГЗ

- разработка предложений по внесению изменений в планы использования сил и средств ГЗ по результатам прогнозирования;
- оценка возможных последствий от прогнозных решений.

Анализ этих задач показывает, что современные информационные технологии в первую очередь должны быть использованы для решения одной из центральных задач данной группы - прогнозирования ТПО на ближайшую и среднесрочную перспективу, так как результаты решения именно этой задачи будут оказывать существенное влияние на качество решения многих других задач ГЗ.

Этап планирования является основополагающим в контуре управления силами и средствами ГЗ. Основной целью данного этапа является разработка оптимального плана распределения сил и средств ГЗ при максимизации (минимизации) некоторого обобщенного (или частного) показателя эффективности (ПЭ) функционирования ЕСГЗ. Исходя из этого, использование информационных систем и технологий на данном этапе управления должно обеспечивать:

- определение потребностей гарнизонов и частей МЧС в силах и средствах ГЗ и разработку планов их всестороннего обеспечения;
- разработку планов рационального распределения сил и средств ГЗ по регионам, гарнизонам и объектам и их эффективного использования для предотвращения и ликвидации последствий ЧС в зависимости от их вида и масштаба;
- разработку планов подготовки частей и подразделений МЧС и контроля их выполнения;
- разработку планов государственного надзора и контроля за состоянием и правилами эксплуатации пожаровзрывоопасных и других опасных объектов;
- расчет (оценку) пространственно-временных характеристик ЧС техногенного или природного характера по данным измерений (наблюдений) и вероятностно-временных характеристик ликвидации их последствий;
- оценку возможных последствий (эффекта) от принимаемых (прогнозных) решений.

Необходимость внедрения информационных технологий для решения перечисленных задач на данном этапе формирования управляющих решений по использованию сил и средств ГЗ обусловлена большим объемом исходной информации и высокой сложностью используемых математических моделей и методов. В основу решения задач данного этапа должны быть положены алгоритмы назначения и распределения сил и средств ГЗ с учетом современных тенденций и особенностей их совместного использования при ликвидации ЧС различного характера. В связи с этим решение задач планирования требует создания информационных систем

(ИС) специального назначения с развитой базой данных (БД).

Оперативное управление использованием сил и средств ГЗ должно осуществляться в масштабе реального времени и в тех случаях, когда в результате наблюдения, анализа или контроля возникли предпосылки для возникновения ЧС. Основной целью использования информационных технологий на данном этапе управления является перераспределение сил и средств ГЗ в случае возникновения крупных ЧС, требующих для ликвидации их последствий оперативной коррекции планов использования частей и подразделений МЧС.

Проведенный анализ показал, что информационные технологии на данном этапе управления силами и средствами ГЗ должны обеспечивать:

- непрерывный сбор, отображение и анализ информации о состоянии ТПО, параметрах состояния и эксплуатации опасных объектов;
- подготовку решений по мониторингу опасных объектов, а также гарнизонов, служб, частей и подразделений МЧС;
- доведение задач мониторинга до подчиненных органов и подразделений надзора или контроля;
- непрерывный контроль за режимами работы опасных объектов различной ведомственной принадлежности;
- гарантированное доведение команд (информации, сообщений) до всех органов управления, частей и подразделений МЧС.

В основу информационных технологий, обеспечивающих эффективное решение задач оперативного управления силами и средствами ГЗ, должны быть положены методы динамического программирования, теории систем автоматического управления и теории адаптивного управления. При реализации этих методов должны быть учтены особенности процедур выработки и принятия решений, характеризующихся наличием оператора или лица, принимающего решение (ЛПР). Для формального описания и учета поведенческой модели ЛПР целесообразно использовать методы ситуационного управления, основанные на логико-лингвистических моделях.

Этап мониторинга (контроля) заключается в осуществлении постоянного или периодического государственного контроля и надзора за состоянием пожаровзрывоопасных объектов. Он предполагает ведение учета, хранение и обработку данных о параметрах и характеристиках ТПО и принятие соответствующих решений. В связи с этим информационные системы и технологии на данном этапе формирования управляющих решений должны обеспечивать:

- сбор информации и ведение баз данных о ТПО в регионах, гарнизонах и на особо опасных объектах;
- контроль (измерение) параметров опасных объектов и ведение баз данных опасных объектов;
- ведение баз данных нормативно-правовых актов и иных норма-

тивних документів, действующих в сфері ГЗ;

- збір і ведення баз даних о результатах ліквідації наслідків ЧС і ефективності використання сил і засобів ГЗ;

- збір і ведення баз даних по виявленим і потенціальним джерелам виникнення ЧС;

- контроль дотримання правових норм по забезпеченню безпеки об'єктів і населення, а також безпеки використання сил і засобів ГЗ.

Из изложенного следует, что реализация процесса управления силами и средствами ГЗ базируется на решении множества информационно-аналитических, информационно-расчетных, распределительных и учетных задач. Характерными особенностями этих задач являются многопараметричность, ориентация на обработку больших объемов измерительной и статистической информации, динамичность, адаптация к условиям ТПО, различия в объемах исходных данных и затратах времени, необходимых для их решения.

Управление силами и средствами ГЗ происходит, как правило, в условиях неполноты и нечеткости исходных данных, в связи с чем взаимодействие элементов в подсистеме управления и с внешней средой носит стохастический и неопределенный характер. Поэтому математические модели, используемые в подсистеме управления ЕСГЗ должны обладать свойствами динамичности и адаптивности, т. е. изменять свои параметры в зависимости от изменений параметров объектов и ТПО и учитывать различную степень неопределенности при решении тех или иных задач управления. Исходя из этого, в основу разработки подсистемы управления ЕСГЗ целесообразно положить принципы построения экспертных систем и систем поддержки решений (ЭС и СППР), основным преимуществом которых является их ориентация на обработку неопределенных данных и знаний и поддержка принятых решений на высоком интеллектуальном уровне.

Необходимо также учитывать, что управление силами и средствами ГЗ происходит в условиях неопределенного динамического изменения параметров контролируемых объектов, ТПО и внешних воздействий. Поэтому реальные математические модели, а, следовательно, и реализующие их информационные технологии, должны быть динамическими и адаптивными, т. е. изменять свои параметры в зависимости от изменений параметров объектов и ТПО, а также учитывать различную степень неопределенности при решении различных задач управления силами и средствами ГЗ. В связи с этим в основу разработки информационно-управляющих технологий для ЕСГЗ целесообразно положить принципы построения экспертных систем и систем поддержки решений (ЭС и СППР), ориентированных на обработку неопределенных данных и знаний и поддержку принятых решений

на високому інтелектуальному рівні.

Выводы

1. Подсистема управління ЕСГЗ представляє собою складну ієрархічну багатофункціональну інформаційно-управляючу систему, орієнтовану на якісний аналіз складившихся умов і формування оптимальних рішень по ефективному використанню сил і засобів ГЗ. Розробка даної підсистеми повинна здійснюватися з урахуванням особливостей взаємодії органів управління МЧС різних рівнів з органами державного і місцевого самоврядування.

2. Створення ЕСГЗ вимагає чіткого визначення складу і змісту завдань, покладених на дану систему, а також переліку інформаційних технологій, що забезпечують ефективне рішення цих завдань.

3. В процесі розробки ЕСГЗ широке застосування повинні знайти сучасні інформаційні технології, базуючі на ієрархічності процесів функціонування, уніфікації і стандартизації програмного забезпечення, сучасного комп'ютерного, комутаційного, управляючого і зв'язного обладнання.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Росоха, В. Ком'як, О. Соболев. Єдина державна система цивільного захисту населення і територій як складна динамічна система відкритого типу.- "Надзвичайна ситуація", 2005, №2, с. 24-25.
2. Шаровар Ф.И. Автоматизированные системы управления и связь в пожарной охране. –М.: Радио и связь, 1987.
3. Степаненко В. Про розвиток і ефективне використання реєстру ПНО.- "Надзвичайна ситуація", 2004, № 7, с. 22-24.



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

Академія цивільного захисту України

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ РОЗБИВАННЯ, ХАРАКТЕРНИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНО РОЗПОДІЛЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ І ТЕРИТОРІЙ

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

В роботі розглянуто основні задачі геометричного проектування, які відносяться до класу задач розбивання точкової множини на підмножини і є характерними для підсистем Єдиної державної системи цивільного захисту населення і територій. Наведено математичну модель та метод їх розв'язання.

Постановка проблеми. В останні десятиріччя в усьому світі спостерігається неперервне збільшення кількості техногенних та природних надзвичайних ситуацій, які призводять до збільшення соціальних та економічних збитків. Велику роль в Україні у забезпеченні природної та техногенної безпеки відіграє Єдина державна система цивільного захисту населення і територій (ЄСЦЗ), причому більшість підсистем ЄСЦЗ являють собою територіально розподілені системи. В зв'язку з цим, визначення оптимальних районів обслуговування для різноманітних служб територіально розподілених підсистем ЄСЦЗ, що впливає на час прибуття підрозділів вказаних служб до місця виникнення надзвичайної події, призводить до зменшення соціальних та економічних збитків, тобто є актуальною проблемою сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1], відповідно до цілей, принципів та завдань цивільного захисту [2], було виконано декомпозицію ЄСЦЗ на основні підсистеми. В роботі [3] формалізовано глобальний критерій ефективності функціонування ЄСЦЗ та її підсистем, формалізовано взаємозв'язки між підсистемами. В роботі [4] наведено основні задачі геометричного проектування, що характерні для підсистем ЄСЦЗ:

1. Задача раціонального розбивання області на підобласті обслуговування пунктами зв'язку.

2. Задача раціонального розбивання області на підобласті ефективного функціонування постів моніторингу.

3. Задача раціонального розбивання області на підобласті ефективного функціонування захисних споруд.

4. Задача раціонального розбивання області на підобласті обслуговування медичними закладами.

5. Задача раціонального розбивання області на підобласті обслуговування підрозділами служби цивільного захисту.

6. Задача раціонального розміщення потенційно небезпечних об'єктів.

7. Задача раціонального вибору території під забудову.

Очевидно, що більшість з наведених задач відноситься до класу задач розбивання точкової множини на підмножини з урахуванням певних обмежень. Методи та алгоритми розбивання множини на підмножини з урахуванням обмежень у вигляді рівностей та нерівностей наведено в роботі [5], але дані методи не враховують всю специфіку задач, що характерні для сфери цивільного захисту.

Постановка завдання та його вирішення. Здійснимо змістовну постановку задачі розбивання множини на підмножини з урахуванням обмежень у вигляді рівностей та нерівностей.

Нехай задана деяка множина S_0 у просторі R^2 , яка у загальному випадку є неопуклою та багатозв'язною і являє собою φ - об'єкт [6]. Необхідно розбити задану множину (рис. 1) на мінімальну кількість підмножин S_i , $i = 1, \dots, n$, таким чином, щоб функція мети досягала свого екстремального значення, підмножини не перетиналися, виконувалися додаткові умови розбивання (обмеження) у вигляді рівностей та нерівностей, та будь яка точка множини S_0 належала певній підмножині S_i .

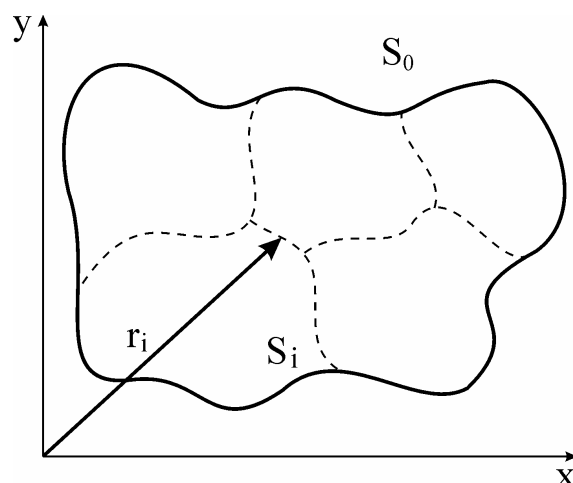


Рис. 1 – Задача розбивання множини на підмножини

Математична модель цієї задачі має наступний вигляд:

$$\min_{x \in W} F(x), \quad n \rightarrow \min; \quad (1)$$

де W :

$$\xi_{\Sigma_1}^0(\{s_0, s_1, \dots, s_n\}, \{m_0, m_1, \dots, m_n\}) = S^{\Sigma_1} - S^{\Sigma_1 0} = 0, \quad (2)$$

$$S^{\Sigma_1} = S\left(\left(\bigcup_{i=1}^n S_i\right) \cap cS_0\right), \quad (3)$$

$$S^{\Sigma_1 0} = 0, \quad (4)$$

$$\xi_{\Sigma_2}^0(\{s_0, s_1, \dots, s_n\}, \{m_0, m_1, \dots, m_n\}) = S^{\Sigma_2} - S^{\Sigma_2 0} = 0, \quad (5)$$

$$S^{\Sigma_2} = S\left(\left(\bigcup_{i=1}^n S_i\right) \cap S_0\right), \quad (6)$$

$$S^{\Sigma_2 0} = S^0, \quad (7)$$

$$\xi_{ik}^0(\{s_i, s_k\}, \{m_i, m_k\}) = S^{ik} - S^{ik0} = 0, \quad (8)$$

$$S^{ik} = S(S_i \cap S_k), \quad (9)$$

$$S^{ik0} = 0, \quad (10)$$

$$\xi_i^j(s_i, m_i) = S^i - S^{ij} = 0 (> 0, \geq 0, \neq 0, \leq 0, < 0), \quad (11)$$

де $i, k = 1, \dots, n$; $i \neq k$; $j = 1, \dots, q$; S^i - площа певної точкової множини; $S(\cdot)$ - функція обчислення площі точкової множини; cS_0 - доповнення множини S_0 до простору R^2 ; $\{s_i\}$ - сукупність просторових форм підмножин розбивання; $\{m_i\}$ - сукупність метричних характеристик підмножин розбивання.

Необхідно відзначити, що обмеження (2)÷(4) являють собою умову належності підмножин множині розбивання, обмеження (5)÷(7) – умову

розбивання всієї множини, обмеження (8)÷(10) – умову взаємного неперетину підмножин розбивання, обмеження (11) та (12) – додаткову умову розбивання, що пов’язана з розповсюдженням на заданій множині q певних характеристик (наприклад, щільність населення і т. ін.), причому S^{ij} – задана площа для i -тої підмножини, що відповідає j -тій характеристиці. Область припустимих рішень у загальному випадку є обмеженою та неперервною.

Розглянемо метод розв’язання задачі (1)÷(12).

Вибір того чи іншого методу розв’язання задачі оптимізації, перш за все, залежить від типу цільової функції $F(x)$ (гладка або негладка, лінійна або нелінійна, функція однієї або кількох змінних) та обмежень (у вигляді рівностей або нерівностей, являють собою гладкі або негладкі функції, лінійні або нелінійні) [7]. В даній роботі розглянемо випадок, коли цільова функція є нелінійною. Обмеження задачі мають вигляд рівностей та нерівностей і являють собою лінійні та нелінійні функції:

$$Q(x) = 0, \quad (12)$$

$$C(x) \geq 0. \quad (13)$$

Необхідні та достатні умови мінімуму цільової функції для такого випадку наведено в [7].

Нехай цільова функція являє собою суму максимальних діаметрів відповідних підмножин розбивання. Така цільова функція має практичне застосування при проектуванні територіально розподілених систем, що є підсистемами ЄСЦЗ. Очевидно, що час прибуття підрозділів тієї чи іншої підсистеми цивільного захисту до місця виникнення надзвичайної події є пов’язаним саме із просторовою формою та метричними характеристиками підмножини обслуговування. Тому мінімізація вказаної цільової функції призводить до зменшення часу прибуття підрозділів і, відповідно, до зменшення соціальних та економічних втрат у разі виникнення надзвичайної події.

Враховуючи вищевикладене, математичну модель задачі можна переписати наступним чином:

$$\min_{x \in W} F(x), \quad (14)$$

$$F(x) = \sum_{i=1}^n D_i, \quad (15)$$

де W :

$$Q(x) = 0, \tag{16}$$

$$C(x) \geq 0. \tag{17}$$

Тут D_i - максимальний діаметр i - ї підмножини.

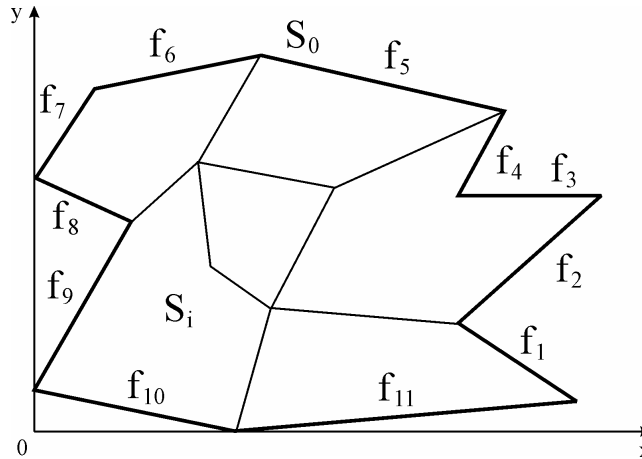


Рис. 2 – Множина розбивання

Значна кількість методів мінімізації цільової функції є пов'язаною з визначенням початкового наближення до локального мінімуму x^* . Для визначення початкового наближення в задачах розбивання точкової множини на підмножини будемо застосовувати так зване «дерево наближень». Розглянемо побудову цього «дерева».

Нехай множина розбивання наведена на рис. 2. Тоді «дерево наближень» матиме наступний вигляд:

$$S_1 : \begin{matrix} f_1, \dots, f_{11}, (f_1, f_2), \dots, (f_{11}, f_1), \dots, (f_{11}, f_1, \dots, f_{10}) \\ f_1, \dots, f_{11}, (f_1, f_2), \dots, (f_{11}, f_1), \dots, (f_{11}, f_1, \dots, f_{10}) \end{matrix}$$

$$S_2 : \begin{matrix} f'_1, \dots, f'_l, (f'_1, f'_2), \dots, (f'_l, f'_1), \dots, (f'_l, f'_1, \dots, f'_{l-1}) \\ f'_1, \dots, f'_l, (f'_1, f'_2), \dots, (f'_l, f'_1), \dots, (f'_l, f'_1, \dots, f'_{l-1}) \end{matrix}$$

$$\vdots$$

$$S'_0 = S_0 \setminus S_1, \dots$$

Принцип побудови наступний: на першій парі рівнів «дерева» (для підмножини S_1) записано відповідні сторони та комбінації сторін множини S_0 , що розбивається. Наступна пара рівнів «дерева» для підмножини S_2 формується в залежності від того, які елементи обрані на попередніх рівнях «дерева», тобто в залежності від побудованої підмножини S_1 . На рівнях «дерева», що відповідають підмножині S_2 , записано сторони та комбінації сторін «поточної» множини розбивання $S'_0 = S_0 \setminus S_1$. Процес побудови «дерева наближень» продовжується до тих пір, доки не будуть виконані всі обмеження задачі. Таким чином, отримуємо динамічне «дерево наближень».

Після повного перебору певної пари рівнів «дерева наближень», що відповідають підмножині S_i , розглядаються рівні для підмножини S_{i-1} . На цих рівнях обираються певні елементи і знов будуються рівні «дерева» для підмножини S_i . Процес перебору рівнів «дерева наближень» закінчується тоді, коли здійснено повний перебір першої і наступних пар рівнів.

Для відтинання безперспективних «гілок» використовуються правила відтинання.

Процес побудови початкового наближення ґрунтується на наступних властивостях:

Властивість 1. Кожна підмножина має одну «внутрішню» вершину, тобто вершину, що належить «поточній» множині розбивання.

Властивість 2. Для визначення «внутрішньої» вершини P (рис. 3) використовується наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} \xi_i = 0; \\ r_i^1 - r_i^2 = 0. \end{cases} \quad (18)$$

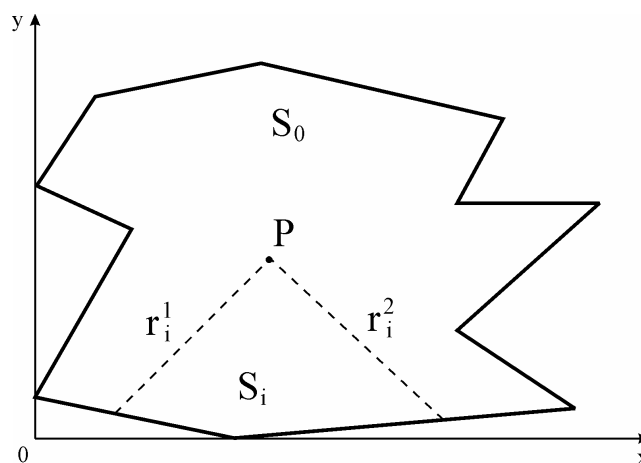


Рис. 3 – Побудова «внутрішньої» вершини

Математична модель та метод розв’язання задач розбивання, характерних для проектування територіально розподілених елементів системи цивільного захисту населення і території

Отже, отримавши певне початкове наближення до x^* , необхідно записати модифіковану цільову функцію, тобто звести поставлену задачу до задачі (послідовності задач) безумовної мінімізації. У якості модифікованої цільової функції можна, наприклад, використовувати комбінацію абсолютної штрафної функції [7]

$$P_A(x, \rho) = F(x) + \rho \sum |Q(x)|, \quad (19)$$

та бар'єрної функції [7]

$$B(x, r) = F(x) - r \sum \ln(C(x)). \quad (20)$$

Тут ρ - параметр штрафу, r - параметр бар'єру.

Необхідно відзначити, що перші похідні від $P_A(x, \rho)$ мають розриви у будь-якій точці, де хоча б одна з функцій $Q(x)$ обертається у нуль, але ця функція є добре обумовленою. Також слід зауважити, що для пошуку x^* необмежено збільшувати ρ не потрібно: існує кінцеве порогове значення $\bar{\rho}$, таке, що x^* буде точкою безумовного мінімуму $P_A(x, \rho)$ при будь-якому $\rho > \bar{\rho}$. Але якщо серед обмежень задачі є обмеження у вигляді нерівностей, то для них функція (20) є непристосованою. Тому для таких обмежень записуються бар'єрні функції, наприклад, у вигляді (21). Логарифмічну бар'єрну функцію (21) побудовано так, що добавки до цільової функції $F(x)$ являють собою «бар'єри», що утримують процедуру мінімізації від порушення обмежень задачі.

Отже, для пошуку x^* необхідно розв'язувати послідовність задач безумовної мінімізації модифікованої цільової функції одним з відомих методів, наприклад, методом Ньютона або квазіньютонівськими методами.

Таким чином, в результаті повного перебору рівнів «дерева наближень» отримуємо не тільки всю можливу множину наближень, але й множину локальних мінімумів цільової функції. Із множини локальних мінімумів цільової функції визначаємо розв'язок поставленої задачі.

Висновки. В даній роботі розглянуто задачі геометричного проектування, що відносяться до класу задач розбивання точкової множини на підмножини і є характерними для підсистем ЄСЦЗ. Наведені математична модель та метод розв'язання вищевказаних задач дозволять розробити ефективне алгоритмічне та програмне забезпечення для вирішення поставлених задач.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.О. Росоха, В.М. Комяк, О.М. Соболев. Єдина державна система цивільного захисту населення і територій як складна динамічна система відкритого типу / Науковий вісник будівництва №30. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2005. – Т. 2 – С. 252-255.
2. Закон України від 24.06.2004 р. №1859-IV “Про правові засади цивільного захисту”.
3. В.М. Комяк, А.Г. Коссе, О.М. Соболев. Глобальний критерій ефективності діяльності органів управління та підрозділів служби цивільного захисту / Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: Фолио. – 2005. – Вып. 18 – С. 87-92.
4. В.М. Комяк, О.М. Соболев. Єдина державна система цивільного захисту населення і територій та задачі геометричного моделювання, що характерні для її підсистем / Геометричне та комп’ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ. – 2005. - Вип. 11. – С. 25-30.
5. Е.М. Киселева. Математические методы оптимального разбиения множеств и их приложения. – Днепропетровск: ДГУ, 1982. – 108 с.
6. Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. – Киев: Наукова думка, 1986. – 268 с.
7. Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. Практическая оптимизация. – М.: Мир, 1985. – 509 с.





АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

УДК 614.8:681.3

*Садковой В.П., канд. психол. наук, ректор,
Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр.*

Академия гражданской защиты Украины

ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ СО СФЕРИЧЕСКИМ ТЕРМОРЕЗИСТИВНЫМ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Получены математические модели датчиков первичной информации систем автоматического пожаротушения, с помощью которых проведена оценка быстродействия таких датчиков.

Постановка проблемы. Системы автоматического пожаротушения (САП) получают все большее распространение, что обусловлено рядом их преимуществ по сравнению с традиционными методами тушения пожаров. В частности, одним из основных преимуществ САП является их высокая оперативность, что обуславливает минимизацию прямого ущерба от пожара. В [1, 2] приводятся данные о том, что среднеобъемная температура в помещении с пожарной нагрузкой, величина которой лежит в диапазоне $(25 \div 1500)$ МДж/м², за первые $(5 \div 15)$ мин. развития пожара может достигать порядка $(150 \div 700)$ К. В общем случае такое изменение температуры в начальной стадии пожара возможно обнаружить только с использованием датчиков первичной информации (ДПП) САП. При этом принципиальным является то, что САП одновременно с получением такой информации формирует команду на тушение пожара. Реализация такой команды в САП может осуществляться с использованием различных алгоритмов тушения пожара, в частности, и с помощью адаптивных. В этом случае обеспечивается снижение косвенных ущербов от пожаров.

Анализ последних исследований и публикаций. В [3] приводятся данные о том, что одним из основных опасных факторов пожара является температура и этот информационный параметр используется для построе-

ния примерно 40% ДПИ САП. Анализ [4] свидетельствует о том, что для построения таких ДПИ предпочтение следует отдать терморезистивным чувствительным элементам, использование которых позволяет расширить функциональные возможности таких датчиков. Следует заметить, что для построения САП, в которых реализован адаптивный принцип их функционирования, необходимо располагать быстродействующими ДПИ. В [5] получены модели терморезистивного чувствительного элемента ДПИ САП, который выполнен в виде сплошного цилиндра. Анализ показывает, что повышение быстродействия терморезистивных чувствительных элементов ДПИ возможно за счет использования других форм чувствительных элементов.

Постановка задачи и ее решение. Рассмотрим ДПИ САП с терморезистивным чувствительным элементом в виде сферы. Пусть R_1 и R_2 – внутренний и внешний радиусы сферы соответственно.

Получим оценки быстродействия ДПИ САП с терморезистивным чувствительным элементом, который выполнен в виде сферы.

ДПИ такого типа включает в свой состав чувствительный элемент (ЧЭ), датчик съема информации (ДСИ) и усилитель (У).

Тепловые процессы в терморезистивном ЧЭ описываются уравнением [6]

$$\frac{\partial \theta(r, t)}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} \right) \quad (1)$$

с начальными и граничными условиями

$$\theta(r, 0) = 0; \quad \frac{\partial \theta(R_1, t)}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial \theta(R_2, t)}{\partial r} = -h(\theta(R_2, t) - \theta_0), \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности материала ЧЭ; h – относительный коэффициент конвективного теплообмена между ЧЭ и окружающей средой; $\theta_0 = T_c - T_0$; T_c, T_0 – температура на поверхности ЧЭ и температура окружающей среды соответственно; $\theta(r, t) = T(r, t) - T_0$; $T(r, t)$ – температура ЧЭ в произвольной точке.

Применим к уравнению (1) интегральное преобразование вида [7]

$$\bar{\theta}(\mu_n, t) = \int_{R_1}^{R_2} r^2 \theta(r, t) \Psi_n(r, \mu_n) dr, \quad (3)$$

где

$$\Psi_n(r, \mu_n) = \frac{1}{r} \sin \frac{\mu_n(r - R_1)}{R_2 - R_1} + \frac{\mu_n R_1}{r(R_2 - R_1)} \cos \frac{\mu_n(r - R_1)}{R_2 - R_1}, \quad (4)$$

а μ_n – положительные корни уравнения

$$\operatorname{ctg} \mu = \frac{\mu R_1 R_2}{(R_2 - R_1 + h R_1 R_2)} - \frac{(h R_2 - 1)(R_2 - R_1)}{\mu(R_2 - R_1 + h R_1 R_2)}, \quad (5)$$

в результате чего получим

$$\frac{d\bar{\theta}(\mu_n, t)}{dt} = a \left[R_2^2 \sin \mu_n h \theta_0 \frac{(R_2 - R_1)^2 + \mu_n^2 R_1^2}{(R_2 - R_1)^2 (R_2 - R_1 + h R_1 R_2)} - \left(\frac{\mu_n}{(R_2 - R_1)} \right)^2 \bar{\theta}(\mu_n, t) \right]. \quad (6)$$

Решением уравнения (6) является

$$\bar{\theta}(\mu_n, t) = \frac{h R_2^2 \sin \mu_n}{\mu_n^2} \cdot \frac{(R_2 - R_1)^2 + \mu_n^2 R_1^2}{R_2 - R_1 + h R_1 R_2} \theta_0 \left(1 - \exp \left(- \frac{a \mu_n^2}{(R_2 - R_1)^2} t \right) \right). \quad (7)$$

Применяя к (7) формулу обращения

$$\bar{\theta}(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Psi_n(r, \mu_n)}{\|\Psi_n\|^2} \bar{\theta}(\mu_n, t), \quad (8)$$

где

$$\|\Psi_n\|^2 = \left(\begin{aligned} & \left[\mu_n^2 R_1^2 + (R_2 - R_1)^2 \left[\mu_n^2 R_2^2 + (R_2 - R_1)^2 (h R_2 - 1) + \right. \right. \\ & \left. \left. + R_2 (h R_2 - 1)(R_2 - R_1) \right] + \right. \\ & \left. + R_1 (R_2 - R_1) \left[\mu_n^2 R_2^2 + (R_2 - R_1)^2 (h R_2 - 1)^2 \right] \right) \times \\ & \times \left(2(R_2 - R_1) \left[\mu_n^2 R_2^2 + (R_2 - R_1)^2 (h R_2 - 1) \right]^2 \right)^{-1}, \end{aligned} \right) \quad (9)$$

окончательно получим

$$\begin{aligned}
 \theta(r, t) = & 2\theta_0 \sum_{n=1}^{\infty} hR_2^2 \frac{\sin \mu_n}{\mu_n^2} \cdot \frac{(R_2 - R_1)^2 + \mu_n^2 R_1^2}{R_2 - R_1 + hR_1 R_2} (R_2 - R_1) \times \\
 & \times \left(\mu_n^2 R_2^2 + (R_2 - R_1)^2 (hR_2 - 1)^2 \right) \times \\
 & \times \left[\frac{1}{r} \sin \frac{\mu_n (r - R_1)}{R_2 - R_1} + \frac{\mu_n R_1}{r(R_2 - R_1)} \cos \frac{\mu_n (r - R_1)}{R_2 - R_1} \right] \times \\
 & \times \left(1 - \exp \left(- \frac{a\mu_n^2}{(R_2 - R_1)^2} t \right) \right) \times \\
 & \times \left\{ \left[\mu_n^2 R_1^2 + (R_2 - R_1)^2 \right] \left[\mu_n^2 R_2^2 + (R_2 - R_1)^2 (hR_2 - 1)^2 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + R_2 (hR_2 - 1)(R_2 - R_1) \right] + \right. \\
 & \left. + R_1 (R_2 - R_1) \left[\mu_n^2 R_1^2 + (R_2 - R_1)^2 (hR_2 - 1)^2 \right] \right\}^{-1}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Это выражение по смыслу [8] представляет собой локальную переходную функцию терморезистивного ЧЭ. Информация на выходе таких ЧЭ соответствует среднеобъемному значению входного сигнала, т.е.

$$\theta(t) = \frac{3}{R_2^3 - R_1^3} \int_{R_1}^{R_2} r^2 \theta(r, t) dr. \tag{11}$$

Если в этом выражении под знаком интеграла используется (10), то выражение (11) представляет собой усредненную по объему переходную функцию терморезистивного ЧЭ, выполненного в виде сферы.

Подставляя (10) в (11), после ряда преобразований получаем выражение для переходной функции ЧЭ в следующем виде

$$\begin{aligned}
 \theta(t) = & \theta_0 \frac{6Bi}{1 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^3} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n}{\mu_n^3} \cdot \frac{\left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) + \mu_n^2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2}{1 - \frac{R_1}{R_2} (1 - Bi)} \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) \times \\
 & \times \left[\left(\mu_n^2 \frac{R_1}{R_2} + \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)^2 \right) \sin \mu_n - \mu_n \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)^2 \cos \mu_n \right] \times \\
 & \times \left(1 - \exp \left(- \frac{a\mu_n^2}{R_2^2} \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)^{-2} t \right) \right) \times \\
 & \times \left\{ \left[\mu_n^2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 + \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)^2 \right] \left[1 - \frac{(1 - Bi) \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)}{\mu_n^2 + (1 - Bi)^2 \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)^2} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{R_1}{R_2} \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) \right] \right\}^{-1},
 \end{aligned} \tag{12}$$

где $Bi = hR_2$ – критерий Био.

С учетом обозначений, принятых в (12), уравнение (5) трансформируется к виду

$$ctg \mu = \frac{\mu^2 \frac{R_1}{R_2} + (1 - Bi) \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right)^2}{\mu \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) \left(1 - \frac{R_1}{R_2} (1 - Bi)\right)}, \quad (13)$$

В табл. 1 приведены значения первого корня μ_1 уравнения (13) для $0,01 \leq Bi \leq 1,0$ и $0,2 \leq \frac{R_1}{R_2} \leq 0,9$.

Анализ данных этой таблицы свидетельствует о том, что с уменьшением толщины сферы, т.е. при $R_1 \rightarrow R_2$, значения корней уравнений (13) уменьшаются.

Определим локальную передаточную функцию ЧЭ, которая согласно [8] имеет вид

$$W(r, p) = \theta_0^{-1} pL(\theta(r, t)), \quad (14)$$

где L – оператор интегрального преобразования Лапласа.

Таблица 1 – Значения корней μ_1

$\frac{R_1}{R_2}$	Bi				
	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0
0,2	0,1392	0,3059	0,4367	0,9377	1,2648
0,4	0,1076	0,2384	0,3366	0,7278	0,9857
0,6	0,0783	0,1749	0,2458	0,5354	0,7352
0,8	0,0496	0,1342	0,1563	0,3446	0,4801
0,9	0,0328	0,0743	0,1052	0,2336	0,3267

Применение интегрального преобразования Лапласа к (10), а также учет (14) приводит к следующему выражению

$$W(r, p) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{D_n}{T_n p + 1}, \quad (15)$$

где

$$\begin{aligned}
 D_n = & \frac{2hR_2^2 \sin \mu_n}{\mu_n^2} \cdot \frac{(R_2 - R_1)^2 + \mu_n^2 R_1^2}{R_2 - R_1 + hR_1 R_2} (R_2 - R_1) \times \\
 & \times \left(\mu_n^2 R_2^2 + (R_2 - R_1)^2 (hR_2 - 1)^2 \right) \times \\
 & \times \left[\frac{1}{r} \sin \frac{\mu_n (r - R_1)}{R_2 - R_1} + \frac{\mu_n R_1}{r(R_2 - R_1)} \cos \frac{\mu_n (r - R_1)}{R_2 - R_1} \right] \times \\
 & \times \left\{ \left[\mu_n^2 R_1^2 + (R_2 - R_1)^2 \right] \left[\mu_n^2 R_2^2 + (R_2 - R_1)^2 (hR_2 - 1)^2 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + R_2 (hR_2 - 1)(R_2 - R_1) \right] + \right. \\
 & \left. + R_1 (R_2 - R_1) \left[\mu_n^2 R_2^2 + (R_2 - R_1)^2 (hR_2 - 1)^2 \right] \right\};
 \end{aligned} \tag{16}$$

$$T_n = \frac{R_2^2}{a\mu_n^2} \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)^2. \tag{17}$$

Величины D_n и T_n имеют смысл n -х коэффициентов передачи и постоянной времени соответственно.

Использование модели (15) позволяет по известному закону изменения температуры окружающей среды определять распределение температуры в произвольной точке ЧЭ.

При построении ДПИ на основе таких ЧЭ их выходной сигнал определяется среднеобъемным значением температуры, вследствие чего целесообразно перейти от (15) к передаточной функции ЧЭ, усредненной по объему. В этом случае будет иметь место

$$W(p) = \frac{3}{R_2^3 - R_1^3} \int_{R_1}^{R_2} r^2 W(r, p) dr = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{M_n}{T_n p + 1}, \tag{18}$$

где M_n – n -й коэффициент передачи, определяемый выражением

$$M_n = \frac{6Bi \sin \mu_n}{\left[1 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^3 \right] \mu_n^3} \cdot \frac{\left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) + \mu_n^2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2}{1 - \frac{R_1}{R_2} (1 - Bi)} \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) \times$$

$$\begin{aligned} & \times \left[\left(\mu_n^2 \frac{R_1}{R_2} + \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) \right) \sin \mu_n - \mu_n \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)^2 \cos \mu_n \right] \times \\ & \times \left\{ \left[\mu_n^2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 + \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)^2 \right] \left[1 - \frac{(1 - Bi) \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)}{\mu_n^2 + (1 - Bi)^2 \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)^2} \right] + \frac{R_1}{R_2} \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) \right\}^{-1} \end{aligned} \quad (19)$$

Следует заметить, что ряд (19) для малых значений критерия Био сходится достаточно быстро. Поэтому в первом приближении можно ограничиться первым членом этого ряда, а для оценки быстродействия ЧЭ такого типа можно использовать соотношение [8]

$$\tau \cong 3T_1, \quad (20)$$

где T_1 определяется выражением (17) при $n = 1$.

На рис. 1 приведена зависимость относительной постоянной времени $T_1 R_2^{-2}$ от критерия Био – Bi и отношения радиусов сферы – R_1/R_2 . Эта зависимость приведена для медного ЧЭ, для которого $a = 1,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$.

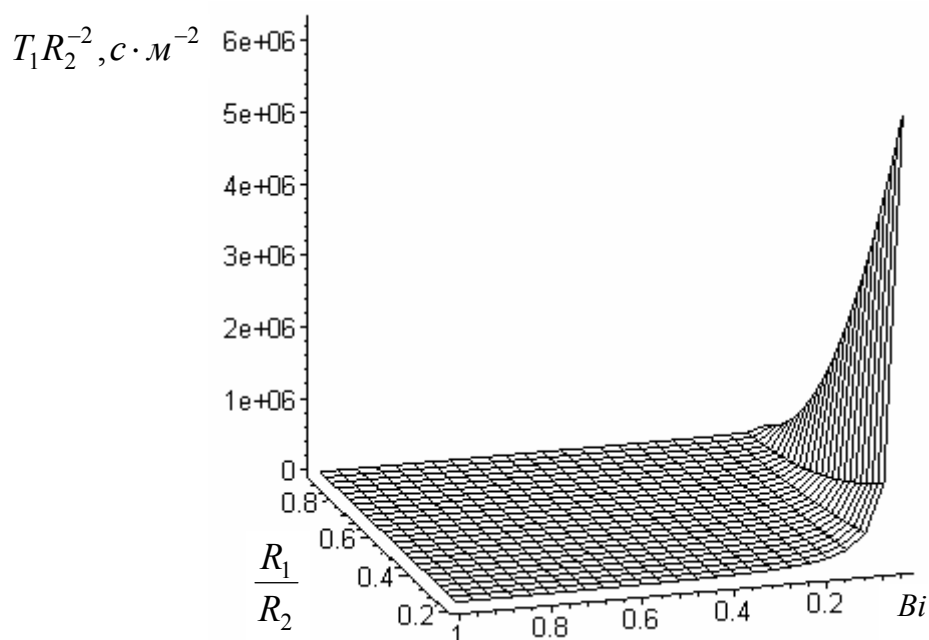


Рис. 1 – Зависимость $T_1 R_2^{-2} = \varphi(Bi, R_1/R_2)$

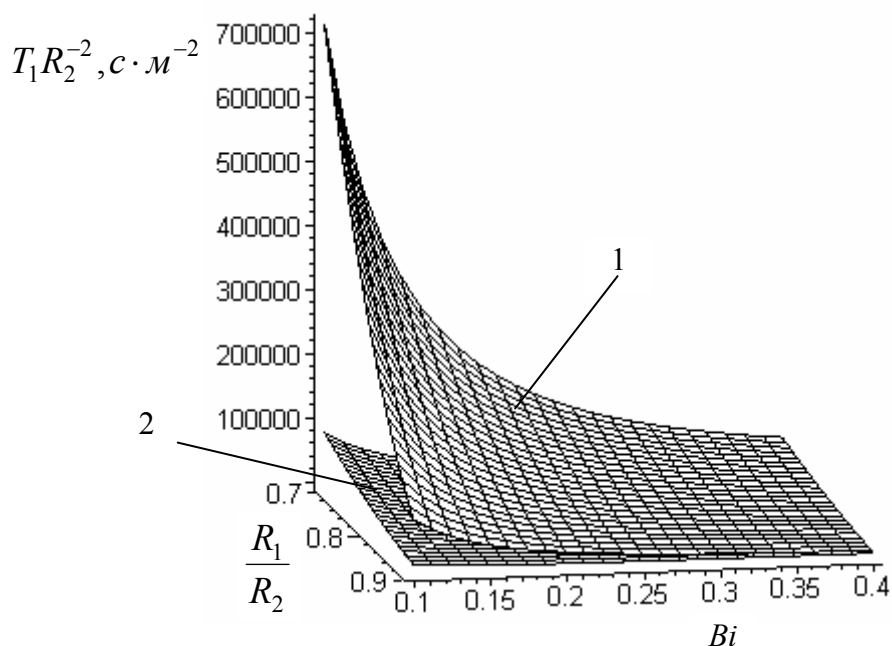


Рис. 2 – Зависимость $T_1 R_2^{-2} = \varphi(Bi, \frac{R_1}{R_2})$: 1 – сталь; 2 – медь

Анализ этой зависимости свидетельствует о том, что быстродействие терморезистивного ЧЭ, выполненного в виде сферы, уменьшается с увеличением стенки сферы и с уменьшением значения критерия критерия Био. В частности, при $Bi < 0,2$, быстродействие таких ЧЭ может уменьшаться на несколько порядков.

На рис. 2 приведены зависимости $T_1 R_2^{-2} = \varphi(Bi, \frac{R_1}{R_2})$, полученные для стального ($a = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$) и медного ЧЭ. Из анализа этой зависимости следует, что для тонкостенных сферических ЧЭ ДПИ при $Bi \geq 0,3$ их быстродействие практически не зависит от теплофизических характеристик материала чувствительного элемента.

Для съема информации с ЧЭ целесообразно использовать ДСИ в виде мостовой измерительной схемы постоянного тока – рис. 3. С целью реализации равноплечного моста необходимо, чтобы имело место

$$R_0 = R_1 + R_{\text{ЧЭ}}, \quad (21)$$

где R_1 – балластное сопротивление; $R_{\text{ЧЭ}}$ – электрическое сопротивление ЧЭ при температуре T_0 .

На схеме ДСИ введены следующие обозначения: $R_{\text{П}}$ – сопротивление измерительно-преобразовательного тракта; U – напряжение электропитания; $U_{\text{ВЫХ}}$ – выходной сигнал, который равен

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_{\text{П}} U}{4R_0(R_0 + R_{\text{П}}) + \Delta R(3R_0 + R_{\text{П}})} \Delta R, \quad (22)$$

где $\Delta R = R_{\text{ЧЭ}} \alpha \theta$ – приращение сопротивления ЧЭ, обусловленное изменением температуры на величину θ (α – температурный коэффициент сопротивления (ТКС) материала ЧЭ).

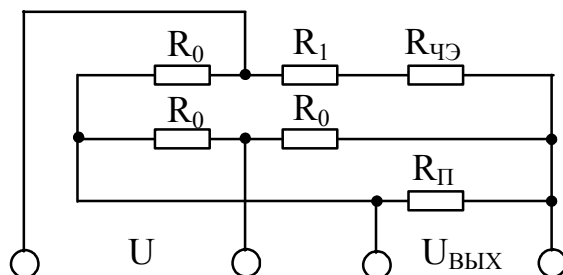


Рис. 3 – Схема датчика съема информации с терморезистивного ЧЭ

Вследствие малости величины ΔR , выражение (22) можно записать в виде

$$U_{\text{ВЫХ}} = K_{\text{Д}} \theta, \quad (23)$$

где $K_{\text{Д}} = \frac{R_{\text{П}} R_{\text{ЧЭ}} \alpha U}{4R_0(R_0 + R_{\text{П}})}$ – коэффициент передачи датчика съема информации.

Из этого выражения следует, что ДСИ является безынерционным звеном.

Учитывая, что выходным каскадом ДПИ является усилитель, т.е. тоже безынерционное звено, то быстродействие ДПИ будет определяться инерционными свойствами терморезистивного ЧЭ. В частности, для сферического терморезистивного ЧЭ, выполненного из меди и имеющего параметры – $R_2 = 2 \cdot 10^{-3}$ м, $Bi = 0,1$, $R_1/R_2 = 0,2$ и $R_1/R_2 = 0,9$, оценка быстродействия ДПИ будет составлять для толстостенного варианта порядка 40 мс и порядка 12 мс для тонкостенного варианта исполнения чувствительного элемента.

Выводы. Применительно к ДПИ САП, в качестве чувствительного элемента которого используется сфера, показано, что быстродействие датчика определяется инерционными свойствами терморезистивного ЧЭ. Получены математические модели таких ЧЭ, которые принадлежат к классу

локальных и усредненных по объему сферы моделей. Оба класса моделей представлены в виде переходных функций и в виде передаточных функций, что позволило выразить оценку быстродействия ДПИ такого типа через величину постоянной времени ЧЭ.

Установлено, что повышение быстродействия ДПИ такого типа целесообразно повышать за счет применения тонкостенных чувствительных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Walton D.W., Thomas P.H., Estimating Temperatures in Compartment Fires // SEPE Handbook of Fire Protection Engineering. Section 3, Chapter 06, 3rd Edition, 2002.
2. Ми Зуй Тхань. Возникновение и развитие пожаров в жилых помещениях // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. – Т.14. – № 3. – С. 59 – 63.
3. Буцынская Т.А. Анализ направлений совершенствования пожарной сигнализации на основе патентной информации // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. – Т.14. – № 3. – С. 75 – 77.
4. Абрамов Ю.А., Куриный Е.В. Точечные тепловые пожарные извещатели максимального типа. – Х.: АГЗУ, 2005. – 129 с.
5. Садковой В.П., Абрамов Ю.А., Одарюк П.В. Модели терморезистивных чувствительных элементов систем автоматического пожаротушения // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр.-ов. – Х.: АГЗУ, 2005. – Вып. 18. – С. 215 – 222.
6. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
7. Карташов О.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердого тела. – М.: Высшая школа, 2001. – 550 с.
8. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики. – Харьков: Мин. образ. Украины, 1993. – 288 с.



УДК 351.861

*Левтеров А.А., канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
Шевченко Р.И., канд. техн. наук, нач. лаб.*

Академия гражданской защиты Украины

ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСА ПО РАСЧЕТУ И ОПТИМАЛЬНОМУ ВЫБОРУ АВАРИЙНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

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

Проведен анализ существующих систем аварийного газоудаления из зданий и сооружений повышенной этажности. Раскрыты возможности многофункционального компьютерного комплекса по расчету и оптимальному выбору аварийных вентиляционных систем

Постановка проблемы. Аварии с последующим возгоранием, распространением дыма и опасных токсических веществ в зданиях во многих случаях становятся причиной гибели людей и значительного ущерба имущества. Несмотря на весь опыт и многолетние исследования в этой области, до сих пор остается некоторая неопределенность и технического, и чисто нормативного характера в вопросе о том, каким образом обеспечить защиту людей и минимизировать последствия техногенных аварий (пожаров, пролива опасных токсических веществ) в здании.

В связи с тем, что именно токсические продукты горения в большинстве случаев является причиной потерь человеческих жизней, краеугольным камнем для проектировщика аварийных вентиляционных систем становится тщательный анализ возможностей вентиляционных сетей и систем отвода продуктов горения для обеспечения безопасности и защиты здоровья граждан и сохранения имущества. Эта задача усложняется несовершенством и громоздкостью методики [4,5], которая содержит большое число условно подбираемых коэффициентов в широком диапазоне возможных значений. С одной стороны необходимо проводить исследования направленные на совершенствование существующей методики расчета, с другой стороны необходимо максимально автоматизировать процесс непосредственного подбора параметров системы аварийного вентилирования с учетом всей номенклатуры производимых вентиляционных систем.

Анализ последних исследований и публикаций. Современная практика [5,6] борьбы с задымлением, как одного из элементов аварийного газоотведения, берет начало в 40-х годах, когда стало очевидным, что по воздуховодам систем вентиляции продукты сгорания распространяются далеко за пределы очага пожара. Это предопределило появление огнеза-

щитных клапанов и статических систем дымозащиты [1]. Дымозащитные клапаны и динамические системы газоотведения стали появляться в 1970-х годах, когда стало ясно, что перекрытие путей распространения дыма в статической системе борьбы с задымлением входит в противоречие с необходимостью подачи свежего воздуха. Первые серьезные рекомендации по проектированию систем газоотведения были опубликованы в середине 1980-х годов [2-4]. При наличии определенных стандартов изготовители оборудования смогут указывать в спецификациях производительность вентиляторов как при нормальной, так и при повышенной температуре. Это позволит проектировщикам подбирать вентиляторы с учетом их характеристик как при нормальной эксплуатации, так и в режиме газоудаления. Необходимым инструментом, используемым при проектировании систем газоудаления, являются компьютерные системы расчета и подбора устройств дымоудаления [7].

Постановка задачи и ее решение. Время эвакуации людей из здания, где произошла техногенная авария с образованием опасных токсических веществ, исчисляются секундами. В тоже время для больших потоков людей быстро покинуть здание практически невозможно. Для таких случаев системы аварийной вентиляции и газоудаления и обеспечивают необходимую защиту.

Назначение систем состоит в следующем:

- предотвращение распространения токсических газов от источника аварии или возгорания;
- предотвращение поступления опасных газов на пути эвакуации (обеспечение допустимых условий для эвакуируемых из здания людей);
- обеспечение микроклимата вне очага аварии, позволяющего нормально работать персоналу пожарно-аварийных подразделений;
- защита жизни людей;
- защита имущества от повреждения.

Системы защиты от дыма и опасных газов могут быть как статическими, так и динамическими. При наличии задымления здания статический способ предусматривает остановку всех вентиляторов, в результате этого распространение токсических продуктов замедляется из-за изоляции помещений при прекращении воздухообмена (базовый метод борьбы с задымлением). В динамической системе при возникновении задымления все или какие-то определенные вентиляторы продолжают работать в нормальном или специальном режиме, создавая области избыточного давления в соответствии со сценарием управления распространением дыма. Вентиляторы в динамических системах могут быть отдельными для удаления дыма и подачи чистого воздуха для создания избыточного давления либо выполнять обе эти функции в определенной последовательности.

Динамические системы могут применяться отдельно или в сочетании с дымозащитными барьерами. Примером отдельной динамической системы может служить воздушная завеса, создающая воздушный поток как преграду для распространения дыма. Более распространенными являются системы, эффективность которых зависит от надежности дымозащитных конструкций. В качестве примера можно привести атриум с вытяжкой, лестничную клетку с избыточным давлением, создание избыточного давления в лифтовых шахтах и убежищах, создание избыточного давления по зонам «сэндвич». В типичных системах «сэндвич» этаж с очагом аварии находится в зоне вытяжки, а один или два этажа сверху и один этаж снизу – в зоне избыточного давления. Зонирующие системы газоудаления с единой приточной установкой для всех зон очень сложны. Для упрощения монтажа, наладки и долговременной эксплуатации проектировщики должны предусматривать отдельную вентустановку для каждой зоны.

Все системы газоудаления взаимодействуют с другим инженерным оборудованием здания, наибольшее значение при этом имеют электросеть и система пожарной безопасности. Для проектировщика механической системы газоудаления очень важно координировать свою работу с другими специалистами, чтобы убедиться в надежности и правильном размещении защитных перегородок, проверить электропитание оборудования, связь с пожарной сигнализацией и системой пожаротушения. Корректное функционирование газовой системы пожаротушения может быть нарушено работой системы газоудаления, т. к. перемещение воздуха, необходимое для газоудаления, может привести к снижению концентрации газа до уровня, недостаточного для тушения пожара.

Оборудование систем газодымоудаления может быть как специального, так и общего назначения. Специальное оборудование используется только в случае возникновения аварии. Оборудование общего назначения обычно используется для других нужд ОВК и, кроме того, служит для удаления дыма в случае пожара.

Специальное оборудование газоудаления, как правило, не заменяется в течение срока службы здания, оно эксплуатируется всегда одинаково, в соответствии с назначением. Примерами специального оборудования являются вентиляторы для создания избыточного давления в лестничных клетках и для вытяжки вредных газов из атриумов. Сооружения, в которых обычно применяются системы газоудаления, – высотные здания, больницы, крытые рынки, подземные сооружения, транзитные тоннели. Помещения внутри зданий с необходимостью установки указанных систем – атриумы, лестницы для эвакуации, лифтовые шахты, убежища, театральные сцены, другие технологические помещения. При проектировании систем вентиляции и газоудаления также необходимо учитывать экономическую

сторону, которая должна удовлетворять как условиям заказчика, так и нормативным требованиям.

В настоящее время для вентиляции помещений зданий повышенной этажности используются три системы вентиляции:

- механическая вентиляция;
- естественная вентиляция;
- естественная вентиляция с использованием механических средств (приточных и вытяжных устройств).

Для механической вентиляции, используется вентилятор, предназначенный для системы естественной вентиляции с применением механических средств, а именно одного двигателя с крыльчаткой., подключенного к блоку питания, который включается при помощи таймера и датчика температуры.

Вентилятор может быть установлен на любом индивидуальном или коллективном воздуховоде, действующем независимо от других, или объединенных при помощи вытяжки.

В связи с этим расчет и системы газоудаления необходимо выполнять из условия оптимального сочетания технологических и экономических параметров, что на современном этапе целесообразно выполнять с помощью компьютерных многофункциональных расчетных комплексов.

Для решения широкого спектра задач по расчету и выбору систем аварийного удаления токсических опасных газов, был разработан комплекс расчета и выбора вентиляторов по заданным параметрам «Аварийное газоудаление».

На рис. 1 представлен внешний вид интерфейса пользователя для расчета параметров вентилятора газоудаления. При расчете искомыми являются значения напора(давления) и расхода воздуха. Результаты расчета приведены на рис. 2. В данном примере из базы данных, насчитывающей более 400 вентиляторов газоудаления, выбраны два, наиболее оптимальные как с технологической, так и с экономической точки зрения, крышных вентилятора.

Для каждого автоматически подобранного вентилятора показаны параметры двигателя. В данном комплексе предусмотрен выбор системы газоудаления по заданным параметрам, непосредственно проектировщиком.

В автоматической базе данных насчитывается более 650 наименований вентиляторов различного типа. Интерфейс окна «ручного» выбора приведен на рис 3. При выборе системы определяются значения расхода, напора воздуха и КПД при заданных параметрах. При выборе вентилятора учитываются его технические характеристики, и выбор производится по минимальному отклонению от рабочей характеристики вентилятора. Для этого все характеристики аппроксимированы полиномами 3 и 6 степени со среднеквадратичным отклонением менее 0,02. Степень полинома опреде-

ляется характером изменения давления от расхода газо-воздушной среды. Например, для крышных вентиляторов используется полином 6-ой степени, который имеет следующий вид:

$$P_v = C_n Q^n + C_{n-1} Q^{n-1} + C_{n-2} Q^{n-2} + \dots + C_0,$$

где:

P_v – приведенное давление к температуре 20°C, Па;

Q – расход, тыс.м³/час;

n – степень полинома;

C_n – коэффициенты, полученные с помощью метода наименьших квадратов.

Рис. 1 – Окно расчета параметров системы газоудаления

Значение давления для выбора вентилятора при температуре 20°C, рассчитывается по следующей формуле:

$$P_v = P_{vz} \left(\frac{273 + Tr}{273 + 20} \right),$$

где:

T_r – значення температури, полученное в результате расчета по методике [5];

P_{vz} – заданное или расчетное давление, полученное для температуры T_r .

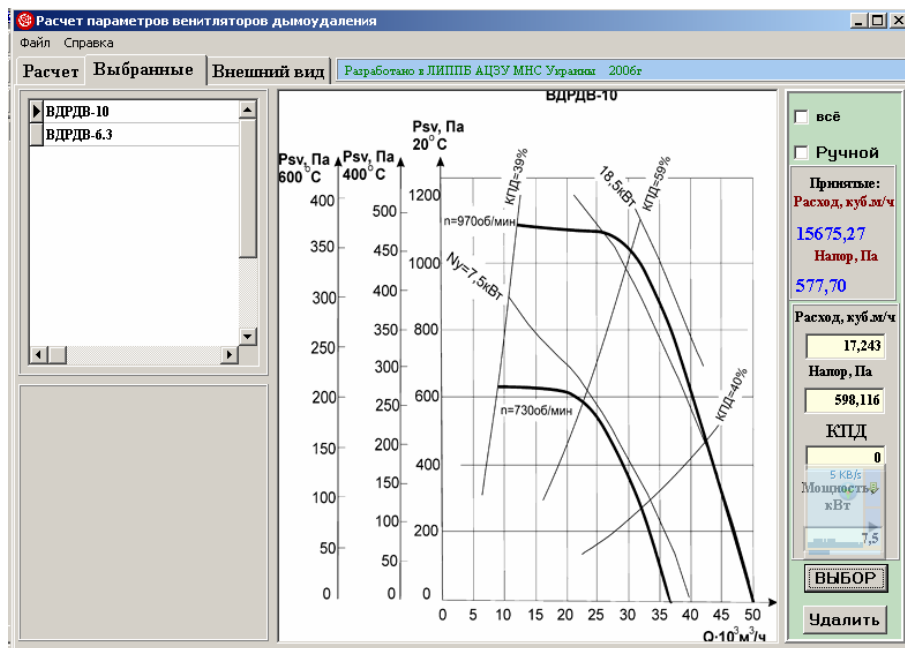


Рис. 2 – Окно результатов выбора оптимальных параметров системы газоудаления

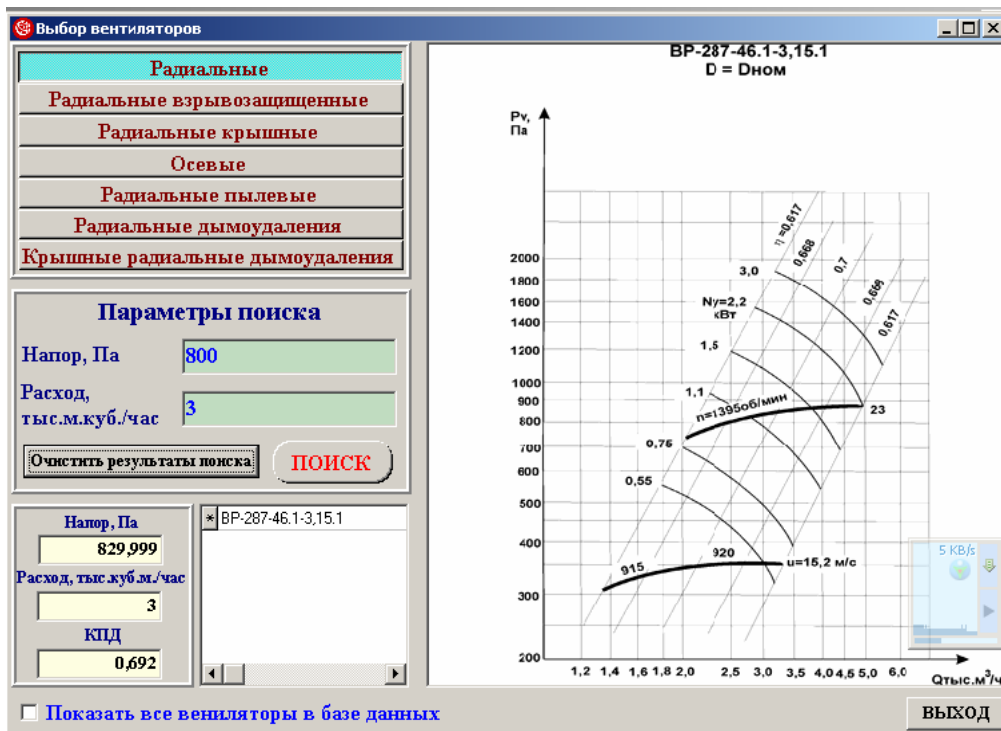


Рис. 3 – Окно выбора оптимальных параметров вентилятора

При расхождении задаваемых проектировщиком параметров и характеристик более, чем на 5% от ТТХ реально существующих вентиляторов, выбор осуществляется из всех имеющихся в базе, данного типа, с учетом его характеристики, где отклонение составляет не более 10%. Чем ближе расчетные характеристики вентилятора к реально существующим характеристикам, тем меньше энергопотребление при его использовании для поддержания необходимых значений давления и расхода газо-воздушной среды.

Выводы. Проведенный анализ эффективности работ по проектированию систем газоудаления показал существенное сокращение времени необходимого для проведения проектировочных расчетов, а также возможность постоянного обновления и пополнения автоматизированной базы данных характеристиками разрабатываемых отечественных и зарубежных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 150 с.
2. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосфер. –Л: Гидрометеиздат, 1985. – 285 с.
3. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля – К: Академія, 2006. – 360 с.
4. ОНД-86. Методика расчета в атмосферном воздухе концентраций вредных веществ, что содержатся в выбросах предприятий – М.: Госгидромет, 1987. - 35 с.
5. Пономаренко В.С., Стельмах О.А. Практическое пособие по расчету и использованию оборудования для систем противодымной защиты зданий –Харьков: Типография КТиК, 2002, - 196 с.
6. Примак А.В., Кафаров В.В., Качиашвили К.И. Системный анализ контроля и управления качеством воздуха и воды –К.: Наукова думка, 1991, - 290 с.
7. Стельмах О.А., Уваров Ю.В., Шевченко Р.И., Гринченко Е.Н. Расчет вентиляционного оборудования систем дымоудаления и подпора воздуха при пожаре – Харьков: АГЗУ, 2005, - 87 с.

*Кривцова В.И., д-р техн. наук, проректор,
Левтеров А.А., канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
Грушко А.И., ад'юнкт*

Академия гражданской защиты Украины

АНАЛИЗ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ И ПОДАЧИ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ РЕАКЦИЙ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ

Проведен анализ пожаровзрывобезопасности систем хранения и подачи водорода на основе твёрдых водородсодержащих веществ, в частности, с использованием реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Показано, что уровень пожаровзрывобезопасности таких систем должен определяться не только физико-химическими свойствами водорода, но и технологическими параметрами процесса получения водорода

Постановка проблемы. В настоящее время одним из популярных экологически безопасных вторичных энергоисточников с широкими концентрационными пределами воспламенения и высокой скоростью сгорания является водород [1]. Его низшая теплотворная способность в 3 раза больше, чем у нефтяных моторных топлив и составляет $120 \cdot 10^3$ кДж/кг. Однако эффективность использования водорода должна определяться не только свойствами водорода, но и технологическими параметрами его системы хранения и подачи (СХП). Кроме того, эффективность использования водорода определяется уровнем пожаровзрывоопасности (ПВО), как самого водорода, так и ПВО СХП.

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний день существуют принципиально различные способы хранения водорода: сжиженное состояние, газообразное состояние, хранение в химически связанном состоянии [1-3]. Эти способы хранения водорода находят своё применение в разнообразных схемах СХП, классификация которых представлена на рис. 1.

Наиболее изученными и широко используемыми являются газобаллонные и криогенные СХП водорода. Наиболее безопасными СХП являются системы, в которой водород хранится в виде твёрдых водородсодержащих веществ, в частности в форме гидридов металлов и интерметаллидов.

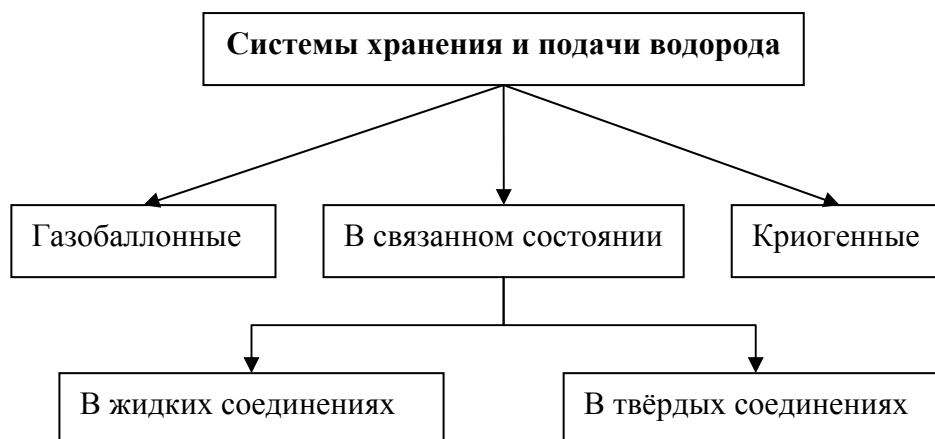


Рис. 1 – Классификация СХП по способу хранения

Более подробно рассмотрим СХП в связанном состоянии, с использованием твёрдых водородсодержащих веществ, в частности гидридов металлов и гидридов интерметаллидов. СХП данного типа одновременно содержат хранилище исходного твердого водородсодержащего вещества и реактор, в котором реализуется разложение этого вещества на водород и остаточный продукт. При необходимости СХП данного типа имеют систему очистки водорода от сопутствующих газов или примесей.

Водород в связанном состоянии находится в большом количестве твердых соединений, однако лишь некоторые из них пригодны в качестве источников чистого водорода, выделяющегося при небольших энергозатратах. Выбор исходного водородсодержащего вещества производится исходя из анализа массового содержания водорода в нём и энергозатрат, требуемых на его выделение.

В таблице 1 приведены данные о твердых гидридах металлов и интерметаллидов относительно их пригодности для хранения водорода [1,4].

Аккумуляция водорода в форме гидридов металлов и интерметаллидов является альтернативой традиционным методам его хранения в газообразном и жидком состояниях. Данный вид хранения имеет ряд преимуществ, основными из которых являются высокое удельное содержание водорода, технологически приемлемое давление, возможность длительного хранения, простота в эксплуатации, а также более высокий уровень безопасности [4].

При хранении водорода в форме гидридных соединений определяющим является процесс его выделения, который осуществляется при определенных термодинамических условиях или с помощью реакций взаимодействия гидридов с другими веществами, например, с водой, щелочами, кислотами и т.д.

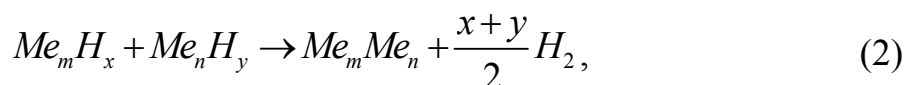
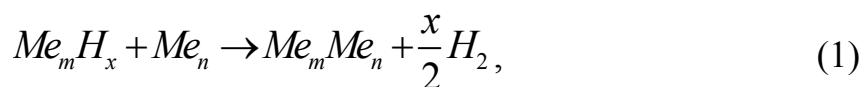
Таблиця 1 – Свойства твёрдых водородосодержащих веществ

№ п/п	Гидриды	Молек. масса гидрида, кг	Масс. доля H ₂ , %	Плотность гидрида, кг/м ³	Число атомов H в см ³ , N _H ·10 ²²	Температура разложения, К
1	LiH	7.950	12.68	0800	5.30	1138
2	NaH	23.99	4.200	1400	2.30	703
3	CaH ₂	42.09	4.790	1800	5.10	1347
4	B ₁₀ H ₄	124.0	11.23	0250	-	-
5	MgH ₂	26.32	7.660	1400	6.70	600
6	VH ₂	52.94	2.100	4150	10.3	-
7	NaAlH ₄	54.00	7.470		-	-
8	LiAlH ₄	37.95	10.62	0910	5.74	-
9	NaBH ₄	37.83	10.66	1075	-	600
10	LiBH ₄	21.78	18.51	6810	-	550
11	TiH ₂	49.88	4.010	3912	9.00	1073
12	AlH ₃	29.98	10.04	1480	8.90	393
13	LaNi ₅ H _{6,7}	426.36	1.500	8250	7.58	298
14	FeTiH _{1,98}	105.66	1.820	5470	6.00	298
15	MgNiH ₄	111.30	3.800	2330	-	-

Основными методами, используемыми для выделения водорода из твердых водородосодержащих веществ, являются:

- термическое разложение с подводом необходимого количества теплоты;
- организация реакции замещения;
- организация реакции гидролиза.

К числу перспективных методов получения водорода следует отнести метод, основанный на использовании реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) интерметаллидов [5-7]. Особенностью данного метода получения водорода является использование внутренней энергии процесса взаимодействия реагирующих компонентов, протекающего в режиме послойного горения или взрыва. Это позволяет снизить энергозатраты по выделению водорода, путём подвода тепла только в начальной стадии процесса генерации водорода с целью инициации СВС реакции, что открывает новые возможности по совершенствованию технических характеристик СХП водорода. В общем виде СВС реакцию для получения водорода можно представить в виде [6,7]:



где Me – металл; H – водород; m, n, x, y – коэффициенты в химических формулах веществ.

Несмотря на множество публикаций, посвященных перспективности использования СВС реакций, вопросы получения водорода, оценка уровня ПВО таких систем и ее взаимосвязи с технологическими параметрами процессов генерации остаются малоизученными и нерешенными.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является анализ уровня изученности вопросов пожаровзрывоопасности СХП водорода на основе СВС реакций и определение приоритетных направлений исследований по формированию алгоритмов оценки уровня ПВО.

Пожарную опасность СХП данного типа можно представить в следующем виде (рис. 2).

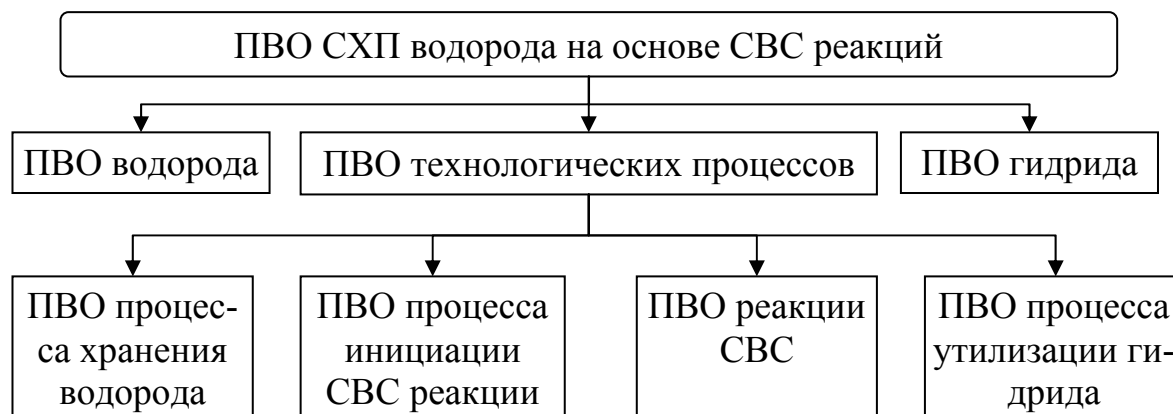


Рис. 2 – ПВО СХП водорода на основе СВС реакций

ПВО водорода. Несмотря на то, что пожароопасные свойства водорода широко изучены [1], наиболее опасной с точки зрения ПВО представляется ситуация, когда водород в газообразном виде истекает из сосуда или трубопровода.

В то же время необходимо рассматривать отдельно как возможность возникновения пожара, так и детонации. Следует учесть, что данные явления необходимо анализировать как в условиях открытого пространства, так и в закрытых помещениях. Широкие пределы воспламеняемости во-

дорода представляют практическую опасность только в том случае, когда утечка горючего происходит в ограниченное пространство.

Таким образом, исходя из ПВО газообразного водорода, ПВО СХП данного типа во многом будет определяться выбором помещений, в которых будет функционировать данная система и условиями ее эксплуатации.

ПВО гидридов металлов в сравнении с ПВО водорода менее изучена. Параметры пожаровзрывоопасности гидридов определены для ограниченного количества материалов, их номенклатура значительно отличается от уже принятой в государственных стандартах, а методика определения параметров существенно отличается от стандартной.

В работе [4] на основе проведенных опытов утверждается, что температура самовоспламенения гидрида зависит от дисперсности порошка, существенно снижаясь с ее уменьшением, и для большинства исследованных образцов значительно ниже температуры дегидрирования. Вместе с этим на температуру самовоспламенения аэрозвеси порошков влияет содержание водорода в гидриде. Максимальные температуры горения аэрозвесей порошков гидридов ниже, чем для исходных металлов, но максимальное значение давления взрыва находится на том же уровне, что связано с образованием воды в продуктах горения.

В целом по пожарной опасности гидридов можно сказать, что они могут стать инициаторами ПВО ситуаций, поэтому необходимо предпринимать меры предосторожности, как при их хранении, так и при их использовании.

Пожарная опасность СХП на основе СВС реакций будет обусловлена параметрами технологического процесса, а также конструктивными особенностями самой СХП.

При обобщении опыта создания и эксплуатации систем хранения и подачи водорода на основе СВС реакций определено, что при их разработке основное внимание уделялось термохимическим, физическим и эксплуатационным свойствам конечных продуктов и особенностям подготовки исходных систем [6,7]. Имеющиеся в литературе данные о генераторах водорода с использованием СВС реакций носят общий характер, основанный на констатации возможности получения водорода данным способом из ряда веществ, входящих в первоначальные системы.

Вопросы, связанные с пожарной опасностью использования таких систем, рассматривались только с точки зрения пожаровзрывоопасных свойств водорода, как рабочего тела, и конечного (побочного) продукта синтеза. Этих данных недостаточно для определения пожарной опасности СХП данного типа и возможности их использования в энергоустановках. Не определена взаимосвязь кинетических характеристик процесса генерации водорода и пожаровзрывоопасности СХП. Также не рассматривались динамические характеристики СХП водорода на основе СВС реакций, ко-

торые будут определяющими в случае разгерметизации технологического оборудования и резкого повышения уровня ПВО. Представляет интерес определение влияния способа инициации СВС реакции на уровень ПВО СХП водорода.

Таким образом, для оценки уровня ПВО СХП на основе СВС интерметаллидов необходимо решить комплекс следующих вопросов:

- определение степени изученности процессов, протекающих в СХП водорода на основе СВС интерметаллидов, а также обоснование перспективных направлений организации этих процессов с целью повышения уровня ПВО;
- теоретическое и экспериментальное определение комплекса термодинамических, кинетических, физико-химических и эксплуатационных характеристик и параметров процесса генерации водорода в СХП на основе СВС интерметаллидов;
- определение состава компонентов, участвующих в СВС реакции;
- определение приоритетных характеристик генерации водорода, влияющих на ПВО СХП;
- получение математических моделей, описывающих процессы генерации водорода в СХП данного типа;
- разработка математических моделей, определяющих характеристики генераторов водорода в аварийных и переходных режимах их работы;
- определение взаимосвязи параметров технологического процесса генерации водорода и ПВО СХП;

Выводы. Несмотря на то, что водород является перспективным широкоиспользуемым энергоносителем, а его хранение в виде твердых водородсодержащих веществ безопасно по сравнению с хранением в газообразном и жидком состояниях, ПВО таких систем остается малоизученной, а ее уровень неопределенным. Уровень ПВО СХП с использованием СВС реакций необходимо определять не только в зависимости от характеристик водорода и исходных компонентов, но и характеристик технологических процессов генерации водорода. При этом необходимо учитывать возможность возникновения аварийных ситуаций, которые также будут влиять на уровень ПВО.

В связи с этим необходимо определить взаимосвязь технологических параметров процесса хранения и генерации водорода с вероятностью возникновения ПВО ситуации и разработать комплекс мероприятий и рекомендаций по ее снижению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортировка, применение: Справочное издание / Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Н.Ф. Дубов-

- нин и др.: под ред. Д.Ю. Гамбурга, И.Ф. Дубовнина, - М.:Химия, 1989. – 672с.
2. Водородная энергетика // H₂ power. Mod. Power System. - 2003. – №5. – С.5
 3. Полякова Т. Машины на водородном топливе // Промышленная безопасность. – 2003. - №5. – С.44-46
 4. Соловей О.И. Пожаровзрывоопасность гидридов переходных металлов при хранении водорода // Интегровані технології та енергозабезпечення. – 2004. - №1. - С. 111-113
 5. A.G. Merzhanov, V.M.Shkiro and I.P. Borovinskaya, Certif. №255221, 1967, Appl. № 1170735; France Pat. №2088668, 1972; US Pat. № 3726643, 1973, U.K. Pat. № 1321084.
 6. Патент РФ № 2069164 Способ получения водорода. /Подгорный А.Н., Соловей В.В., Кривцова В.И. Заявл. 26.06.91; Опубл. в БИ 20.11.96, № 32.
 7. Соловей ВВ., Кривцова В.И. Использование горения для выделения водорода из металлогидридов // Тезисы докладов X Симпозиума по горению и взрыву, Черногловка: 1992.-С. 145-146.



УДК 614.84:519.85

Комяк В.М., д-р техн. наук, проф.

Академия гражданской защиты Украины

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ БЫСТРОГО РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Рассмотрено решение задачи рациональной компоновки оборудования специальной техники с учетом многочисленных эргонометрических, эксплуатационных, технологических требований и особенности ее использования в различных чрезвычайных ситуациях

Постановка проблемы. Глобальное развитие цивилизации, кроме положительных черт, породило многочисленные угрозы человечеству, обществу, государству, среди которых можно выделить пожары и взрывы, различные аварии и катастрофы. Объем и сложность работ по безопасному проживанию людей постоянно возрастает. Существенно расширяется круг научных и практических задач, которые возлагаются на пожарно-спасательные подразделения, среди которых можно выделить задачи обоснования тактико-технических требований к аварийно-спасательной технике, которая используется как во время затяжных пожаров, так и при ликвидации разнообразных чрезвычайных ситуаций. К такой технике можно отнести аварийно-спасательные автомобили, отсеки со спасательным оборудованием, устанавливаемые на судах, на пожарных поездах, на различных летательных аппаратах.

При создании аварийно-спасательных автомобилей большое внимание во всем мире уделяется вопросам универсальности, надежности, наличия в комплектации техники комплекса спасательно-технического оборудования для выполнения различных технических работ по ликвидации разнообразных чрезвычайных ситуациях, приборов по контролю состояния среды, защитного снаряжения для спасателей и др. Основной особенностью, которая учитывается при проектировании такой техники является то, что оборудование в отсеках минимальных размеров должно быть размещено таким образом, чтобы время боевого развертывания спасательными подразделениями было минимальным, при этом количество доставляемого спасательно-технического вооружения должно соответствовать полной комплектации оборудования, учитывающей все виды выполняемых работ. Обычно количество перевозимого оборудования составляет 100-200 единиц. Поэтому проанализировать все возможные варианты компоновки с учетом многочисленных технологических, эксплуатационных и эргономе-

трических требований эвристическим подходом, либо с помощью существующих интерактивных пакетов не представляется возможным. Поэтому актуальными являются вопросы разработки методов математического и компьютерного моделирования автоматической компоновки оборудования кузовов специальных аварийно-спасательных автомобилей.

Анализ последних исследований и публикаций. Необходимость усовершенствования спасательных автомобилей с учётом многочисленных эргономических, эксплуатационных и технологических требований показана в [1,2]. Компоновка оборудования, как правило, выполняются вручную или с помощью интерактивных пакетов, обзор подходов изложен в [3-5].

Постановка задачи и ее решение. В рассматриваемой работе ставится задача разработки математического и компьютерного моделирования автоматической компоновки оборудования с учетом многочисленных требований к компоновке.

В качестве *эксплуатационных* требований рассматривается размещение оборудования по отсекам по функциональному признаку. Весь набор оборудования делится по функциональному назначению на группы снаряжения и оборудования для: личного состава спасателей; забора воды из гидрантов или водоисточников (естественных и искусственных водоемов); подачи ствола первой помощи; спасения людей; вскрытия и разборки конструкций; подъема личного состава на высоту; прокладки и обслуживания магистральных рукавных линий. В зависимости от пополнения функций автомобиля данный список может быть продолжен.

К эксплуатационным требованиям относится размещение частоиспользуемого оборудования в легкодоступных местах кузова автомобиля.

Улучшение маневренности автомобиля, и как следствие-уменьшение времени достижения мест с аварийными ситуациями, достигается за счет уменьшения кузова автомобиля при заданной комплектации (количестве) перевозимого оборудования, а также за счет понижения центра масс тяжести заполненного оборудования кузова автомобиля.

Уменьшение кузова автомобиля достигается за счет плотной компоновки оборудования, однако эта компоновка должна быть такой, чтобы все оборудование было легко доставляемо спасателями, т.е. одна деталь не заклинивала другую. С этой целью должны быть выдержаны сквозныерезы между рядами и слоями оборудования .

В качестве *эргонометрических* требований рассматриваются требования, приводящие к более удобным действиям спасателей при боевом развертывании. Это ограничения на размещение оборудования в кузове автомобиля: по высоте; по глубине; с сокращением пространственных пересечений боевого расчета автомобиля и неоправданных перемещений личного состава.

К технологическим требованиям относятся, например, ограничения на размеры отсеков и способы их размещения в кузове автомобиля. Кузов автомобиля может делиться по ширине поровну и по обе стороны кузова располагаться отсеки с разными схемами размещения: равным количеством и равными размерами; равным количеством, но с разными размерами; равным количеством и попарно одинаковыми размерами; разным количеством и разными размерами и др.

Таким образом возникает следующая задача. Необходимо разместить набор спасательно-технического вооружения в кузове минимальных размеров специального автомобиля таким образом, чтобы время боевого развертывания, с использованием этого оборудования, было минимальным, при этом должны выполняться следующие требования:

1) на размещение оборудования по отсекам, формируемым по функциональному признаку, и на условия непересечения оборудования между собой с соблюдением: а) сквозных резов между рядами оборудования и их слоями; в) ограничений по высоте и глубине размещения наиболее часто используемого оборудования; с) фиксированных мест размещения оборудования, которое выделяется экспертами;

2) на условия непересечения отсеков и условий их размещения в кузове автомобиля

3) на минимальное отклонение центра масс системы оборудования от центра масс базового шасси, не превышающее заданного значения.

Построена математическая модель задачи. В качестве математических моделей кузова автомобиля и оборудования рассмотрены соответ-

ственно геометрические объекты $S_0, S_i (i = 1, \dots, n)$. Объект $S_0 = \bigcup_{I=1}^N S_0^I$ - несвя-

зный, а объекты $S_i (i = 1, \dots, n)$ аппроксимируются невыпуклыми многогранниками, заданными в собственных системах координат, начала которых выбираются в левом, нижнем, ближнем углу их ортогональных оболочек.

Рассматриваемая задача относится к классу задач геометрического проектирования, в частности к классу задач комбинаторной оптимизации на множестве размещений: необходимо разбить параллелепипед с размерами (a, b, c) на два ряда параллелепипедов $S_0^1, \dots, S_0^{N_1}$ с размерами

$(a_I, b/2, c, \sum_{I=1}^{N_1} a_I \leq a)$ и $S_0^{N_1+1}, S_0^{N_1+N_2}, N_1 + N_2 = N$ с размерами

$(a_J, b/2, c, \sum_{J=1}^{N_2} a_J \leq a)$ таким образом, чтобы минимизировать время боевого

развертывания с использованием объектов (оборудования) $S_i^I (i = 1, \dots, n_I)$, которое необходимо разместить по областям $S_0^I (I = 1, \dots, N)$ минимальной

длины с выполнением вышеперечисленных ограничений задачи, при этом

$$\sum_I^N n_I = n.$$

Таким образом, необходимо найти упорядоченную пару $\langle T(U^*), U^* \rangle$,

$$T(U^*) = \min_{U \in W \subset R^{3n+N+1}} T(U); U^* = \arg \min_{U \in W \subset R^{3n+N+1}} T(U) \quad (1)$$

при условии $U = (x_1, y_1, z_1, \dots, x_{n_1}, y_{n_1}, z_{n_1}, \dots, x_{n_N}, y_{n_N}, z_{n_N}, a_1, \dots, a_N) \in E_f(G)$, и дополнительных ограничениях

$$a_I = \min_{W_I \subset W} (x_1, y_1, z_1, \dots, x_{n_I}, y_{n_I}, z_{n_I}), I = 1, \dots, N), \quad (2)$$

$$\sum_{I=1}^{N_1} a_I \leq a, \sum_{J=1}^{N_2} a_J \leq a.$$

Рассмотрим область W_I . Условия выполнения сквозных резов между рядами ($k = 1, 2, \dots$) объектов $S_{1k}^I, \dots, S_{J_k}^I$ имеют вид:

$$x = x_k = \max_i (x_{i_{k-1}}^I + a_{i_{k-1}}^I), i = 1, \dots, J_k^I$$

или

$$\begin{aligned} x - x_k = 0, k = 1, \dots; a_{i_{k-1}}^I = \max\{a_{1_{k-1}}^I, \dots, a_{J_{k-1}}^I\}, \forall k = 1, x_{J_0}^I = a_{J_0}^I = 0 \\ a_i^I = \max_{x_i^I \in S_i^I} x_i^I \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогично записываются условия сквозных резов между рядами объектов ($l=1, 2, \dots; \sum_l \sum_k J^l = n_I$) $S_{1l}^I, \dots, S_{J_l}^I$:

$$\begin{aligned} z - z_l = 0, l = 1, 2, \dots, z_l = \max(z_{i_{l-1}}^I + c_{i_{l-1}}^I), c_{i_{l-1}}^I = \max\{c_{1_{l-1}}^I, \dots, c_{J_{l-1}}^I\}, \\ \forall l = 1, z_{J_0}^I = c_{J_0}^I = 0, c_i^I = \max_{z_i^I \in S_i^I} z_i^I. \end{aligned} \quad (4)$$

Условия взаимного непересечения объектов каждого k -того слоя S_{ik}, S_{jk} между собой имеют вид:

$$\Phi_{i_k, j_k}(x_{i_k}, y_{i_k}, z_{i_k}, x_{j_k}, y_{j_k}, z_{j_k}) \geq 0, i_k > j_k = 1, 2, \dots, n_I, k = 1, 2, \dots \quad (5)$$

где $\Phi_{i_k, j_k}(\cdot, \cdot)$ - непрерывная функция [6], основной конструктивной особенностью которой является ее неотрицательность при выполнении условий непересечения и размещения в области.

Ограничения размещения по высоте $[c^{I_{\min}}, c^{I_{\max}}]$, глубине $[b^{I_{\min}}, b^{I_{\max}}]$ для объекта S_t^I соответственно можно записать:

$$\begin{aligned} c_t^{I_{\min}} \leq z_t^I \leq c_t^{I_{\max}} - c_t^I; c_t^{I_{\min}} \leq c_t^{I_{\max}} \in [0, \dots, c]; \\ b_t^{I_{\min}} \leq y_t^I \leq b_t^{I_{\max}} - b_t^I; b_t^{I_{\min}} \leq b_t^{I_{\max}} \in [0, \dots, b]; t \in 1, \dots, n_I; b_t^I = \max_{y_t^I \in S_t^I} y_t^I. \end{aligned} \quad (6)$$

Условия (3-6) описывают невыпуклую, несвязную, неограниченную область в пространстве R^{3n_I+1} .

Рассмотрим область допустимых решений W .

Представим условия размещения объектов S_i^I ($i = 1, \dots, n_I$) по областям S_o^I ($I = 1, \dots, N$) в виде:

$$\begin{cases} \Phi(x_i^1, y_i^1, z_i^1, x_0^1, y_0^1, z_0^1) \geq 0, \\ \dots \\ \Phi(x_i^N, y_i^N, z_i^N, x_0^N, y_0^N, z_0^N) \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

Условие допустимого отклонения приведенного центра масс от центра масс специальной техники имеет вид:

$$\left[\left(x_0 - \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot x_{i0}}{\sum_{i=1}^n m_i} \right)^2 + \left(y_0 - \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot y_{i0}}{\sum_{i=1}^n m_i} \right)^2 \right] +$$

$$+ \left[z_0 - \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_{i0}}{\sum_{i=1}^n m_i} \right]^2 \leq \delta^2, \quad (8)$$

где $\delta, (x_0, y_0, z_0), (x_{i0}, y_{i0}, z_{i0}), m_i$ – соответственно допустимый радиус отклонения приведенного центра масс заполненных отсеков от центра масс базового шасси; координаты центра масс базового шасси; координаты центра масс i - того объекта; масса i - того объекта.

Выражения (3)-(8) описывают область W - невыпуклую, несвязную, ограниченную в пространстве R^{3n+N+1} .

E_f - комбинаторное множество, мощность которого, в общем случае, равна $C_N^{N_1} N_1! N_2! \sum_{I=1}^N n_I!$.

Функция цели – время боевого развертывания. Исследованы факторы, влияющие на время боевого развертывания, показано, что рациональная компоновка один из факторов, позволяющих сократить это время. Для получения оценок времени выполнения спасательного развертывания, которое зависит от вариантов компоновок, создан алгоритм, определяющий суммарные задержки согласно сетевой модели [7], которая описывает технологический процесс выполнения всего комплекса работ, для которого разрабатывается автомобиль. В работе [8] проанализированы, классифицированы все виды задержек, вызванные нерациональным размещением оборудования.

Согласно особенностям задачи, разработан метод решения задачи, составляющими которого является перебор точек комбинаторного множества по методу ветвей и границ [9,10] и решение задачи (2)-(6) (построение вариантов плотной упаковки) для каждой из областей $S_0^I (I=1, \dots, N)$. Для перебора ветвей дерева решений в работе [11] разработаны правила отсеечения, основанные на особенностях рассматриваемой задачи. Поиск вариантов рационального размещения в областях $S_0^I (I=1, \dots, N)$ с изменяющимися метрическими характеристиками осуществляется по методам минимизации по группам переменных и сужающихся окрестностей [12]. При построении вариантов плотного размещения условия (5),(7) реализуются с помощью аппарата годографа - вектор функции плотного размещения для невыпуклых многогранников, который адаптирован к выполнению условий (3)-(4) [12].

В зависимости от вида технологических ограничений рассмотрено несколько задач [11], вытекающих из общей постановки (1)-(8).

По разработанным методам разработано алгоритмическое и программное обеспечение моделирования компоновок оборудования в отсеках (как постоянных, так и переменных размеров) специальной техники быстрого реагирования. Программное обеспечение создано с помощью языка высокого уровня Object Pascal в среде Delphi версии 7.0 и может быть использовано в среде операционной системы Windows 9x/2000/XP.

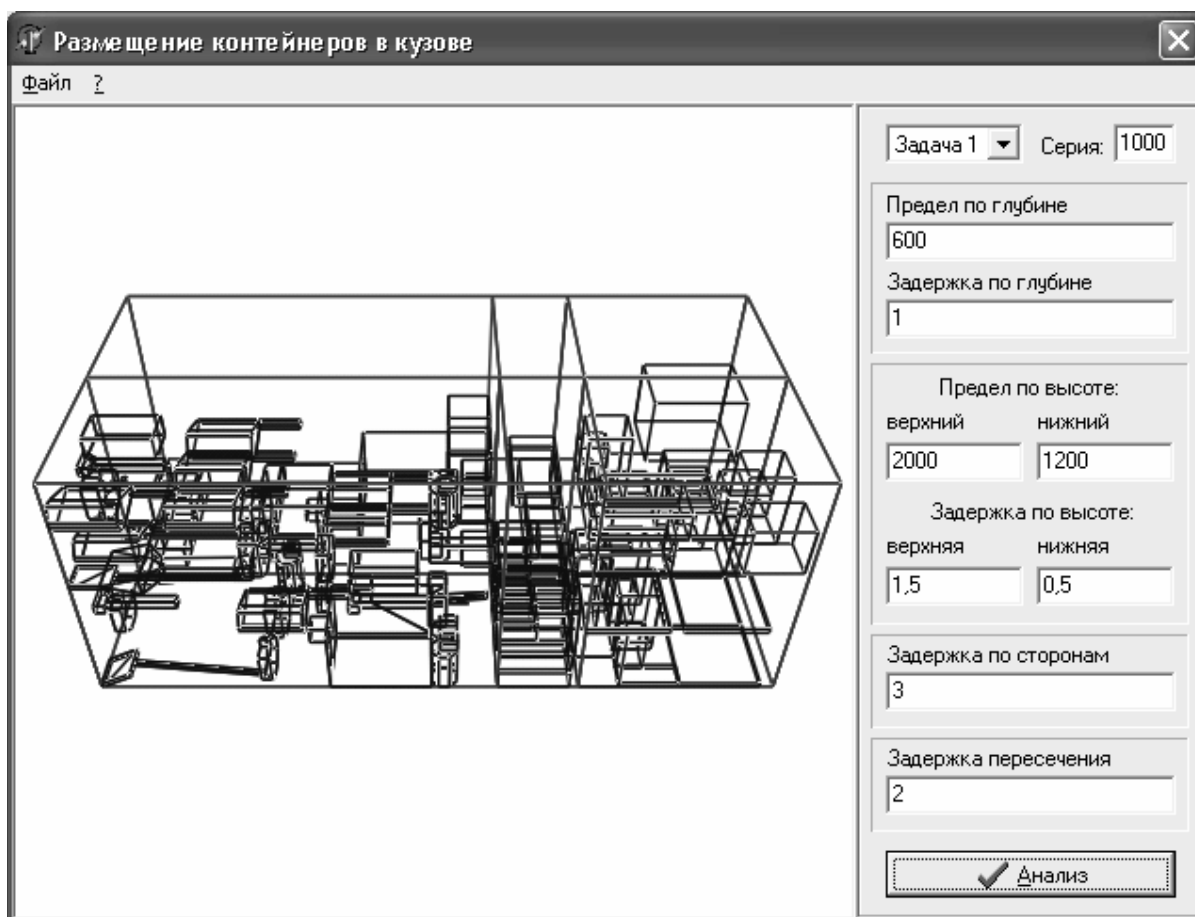


Рис. 1 – Пример размещения оборудования по отсекам кузова автомобиля

В качестве примера работы математического и алгоритмического обеспечения можно привести пример решения задачи (1)-(8) компоновки 150 единиц оборудования по 6-ти отсекам, расположенным с двух сторон автомобиля с попарно одинаковыми длинами. Оборудование аппроксимировано невыпуклыми многогранниками и параллелепипедами. Время получения одного варианта автоматической компоновки с 57 многогранниками и 93 параллелепипедами составляет 0.03 сек. на процессоре Celeron 1200 MHz. Минимальное время задержек вследствие нерационального размещения оборудования составляет 75сек. На рис.1 приведен вариант наи-

лучшей компоновки, полученный на 6712-й перестановке, при переборе 100000 точек комбинаторного множества.

Выводы. Созданное программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс получения трудоемких вариантов компоновки с учетом многочисленных технологических, эксплуатационных и эргонометрических требований. Анализ полученных плотных упаковок показал, что есть возможность доукомплектовать автомобиль другим оборудованием, расширив сферы его использования. Методология решения поставленной задачи может быть непосредственно использована при проектировании отсеков со спасательным снаряжением на летательных аппаратах, отсеков с оборудованием на кораблях, в спасательных вагонах на железнодорожном транспорте и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковенко Ю.Ф. Современные пожарные автомобили. – М.: Стройиздат, 1988. – с.5 – 17, 195 – 204
2. Пивоваров В.В., Яковенко Ю.Ф. Типаж и концептуальные особенности автомобилей для пожарно-спасательной службы // Пожарное дело. –2003.-№3.С.28-29.
3. Gehring H., Menschner K. and Meyer M. A computer-based heuristic for packing pooled shipment containers. *European Journal of Operational Research*, Vol.44, pp. 277-288 (1990).
4. Bischoff E.E. Stability aspects of pallet loading. *Operational Research Spek.*, Vol.13, pp. 189-197 (1991).
5. Dowsland W.B. Three-dimensional packing-solution approaches and heuristic development. *International Journal Production Research*, Vol.29, pp. 1673-1685 (1991).
6. Y. Stoyan, J. Terno, G. Scheithauer, N. Gil, T. Romanova. Φ - functions for primary 2D-objects. – Technische Universitat Dresden, Math-NM-15-2001, 28 p.
7. Стрелец В.М., Калашников А.А. Разработка и анализ сетевой модели боевого развертывания аварийно-спасательного автомобиля // Проблемы пожарной безопасности. - Выпуск 14.-Харьков: Фолио, 2003.- С.183-188.
8. Калашников А.А. Геометрическое и компьютерное моделирование компоновки оборудования специальной техники быстрого реагирования: Автор. дис... канд. техн. наук: 05.01.01. – Мелитополь, 2005. – 20 с.
9. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. М.: Наука, 1969.-386с.

10. Стоян Ю.Г., Ємець О.О., Ємець Є.М. Множини полірозміщень в комбінаторній оптимізації // Доповіді НАН України.-1999. N8.-С.37-41.
11. Комяк В.М., Соболь О.М., Калашников О.О. Математична модель та алгоритм розв'язання задачі компоновки спеціальних автомобілів //Сб. трудов 8-й Международной научн.-пр. конф. “Современные проблемы геометрического моделирования”.- Мелитополь: ТГАТА.-2004.-с.19-24.
12. Яковлев С.В., Гиль Н.И., Комяк В.М. Элементы теории геометрического проектирования. Киев: Наук.думка, 1995.-246с.



Киреев А.А., канд. хим. наук, доцент

Академия гражданской защиты Украины

**ОЦЕНКА ОХЛАЖДАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ,
ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ НА ЭТАПАХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ,
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**
(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Рассмотрен алгоритм расчета охлаждающего действия компонентов гелеобразующих составов, которые предлагается использовать для целей огнезащиты, огнетушения, а также борьбы с химическим и радиационным заражением в условиях пожара. На основании термодинамического подхода установлено, что охлаждающее действие водных растворов солей, превышает охлаждающее действие тех же масс воды и соли, из которых состоит раствор, на величину большую, чем теплота растворения соли в воде. Показано, что охлаждающее действие воды превышает охлаждающее действие такой же массы раствора соли в воде.

Постановка проблемы. Анализ последних достижений и публикаций. До настоящего времени вода остаётся основным огнетушащим средством. Её использование при тушении пожаров значительно превосходит использование всех остальных средств пожаротушения вместе взятых. Однако низкий коэффициент использования воды приводит к существенному снижению эффективности её применения в целях пожаротушения [1]. Вода также используется в качестве поглотителя при химических авариях и в качестве средства борьбы с радиоактивной пылью [2]. Из-за стекания с наклонных и вертикальных поверхностей и быстрого испарения воды эффективность её использования в борьбе с радиационным и химическим загрязнением существенно уменьшается.

Для решения этой проблемы при тушении пожаров было предложено использовать гелеобразующие составы [3,4]. Они представляют собой два отдельно хранимых и одновременно подаваемых состава. Первый состав представляет собой раствор гелеобразующего компонента. Второй состав – раствор катализатора гелеобразования. При одновременной подаче двух составов они смешиваются на горящих или защищаемых поверхностях. Между компонентами растворов происходит взаимодействие, приводящее к образованию стойкого геля. Гель образует на поверхности нетекущий огнезащитный слой, который легко удерживается на вертикальных и наклонных поверхностях. Гелеобразный слой содержит большое количество воды, испарение которой существенно замедляется по сравнению с чистой

жидкостью. Это существенно повышает эффективность использования воды для целей пожаротушения, огнезащиты, защиты от химического и радиационного загрязнения. Комплексное действие гелеобразующих составов позволяет использовать их при ликвидации многофакторных чрезвычайных ситуаций, в частности, в случае, когда радиационная и химическая авария сопровождаются пожаром.

Как известно, основными механизмами прекращения горения являются: охлаждение зоны горения или горящего вещества, разбавление веществ, участвующих в процессе горения, изоляция горючих веществ от зоны горения, ингибирование химической реакции окисления и срыв пламени. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные составы обладают основными механизмами прекращения горения. Так как они представляют собой водные растворы с содержанием воды 60-94 %, то очевидно их высокое охлаждающее действие. Высокое содержание воды в гелеобразующих составах обеспечивает разбавляющее действие её паров. Образующийся на защищаемой поверхности слой геля обеспечивает изолирующее действие. Кроме того, после испарения воды из капель распыленных компонентов гелеобразующих составов образуются аэрозоли твердых частиц. Это приводит к возможности ингибирования процесса горения.

Постановка задачи и её решение. При тушении твердых горючих материалов, способных аккумулировать большие количества тепла, решающим фактором окончательного прекращения процесса горения является охлаждение этих материалов до температуры, не допускающей повторного воспламенения. Вода является веществом, обладающим уникальным охлаждающим действием. Водные растворы сохраняют высокое охлаждающее действие. Однако, количественного сопоставления охлаждающего действия воды и водных растворов проведено не было.

Проведем сравнение охлаждающего действия воды и водных растворов солей, использующихся в качестве катализаторов гелеобразования (CaCl_2 , MgSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Для этого сопоставим количества тепла, ушедшее на нагревание соответствующих жидкостей, их испарение и последующий нагрев паров воды. В случае раствора учтем и количество тепла, ушедшего на нагревание твердого вещества, которое образовалось после испарения воды.

Первоначально сопоставим охлаждающее действие некоторой массы раствора с тем же количеством воды и растворенного вещества, которое содержится в этом растворе. Расчет для воды и чистого твердого вещества не представляет затруднений.

$$\begin{aligned}
 Q(H_2O) &= Q_{нагр}(H_2O) + Q_{исп}(H_2O) + Q_{нагр}(H_2O, пар) = \\
 &= C_p(H_2O) \cdot m(H_2O) \cdot \Delta T_1 + \Delta H_{исп}(H_2O) \cdot m(H_2O) + \\
 &+ C_p(H_2O, пар) \cdot m(H_2O) \cdot \Delta T_2,
 \end{aligned}$$

где $Q_{(нагр)}(H_2O)$ – теплота, необходимая для нагревания воды от начальной температуры (T_0) до 100 °C; $\Delta T_1 = 100 - T_0$;

$Q_{исп}(H_2O)$ – теплота, необходимая для испарения воды массой $m(H_2O)$;

$Q_{(нагр)}(H_2O, пар)$ – теплота, необходимая для нагревания паров воды массой $m(H_2O)$ от температуры 100 °C до конечной температуры T_1 ;

$\Delta T_2 = T_1 - 100$;

$C_p(H_2O)$, $C_p(H_2O, пар)$, – соответственно удельные теплоёмкости жидкой воды и паров воды;

$\Delta H_{исп}(H_2O)$ – удельная теплота испарения воды.

В качестве твердого вещества рассмотрим вещество, не претерпевающее фазовых превращений вплоть до температуры T_1 . Охлаждающее действие такого вещества будет равно:

$$Q_{(A)} = C_p(A) \cdot m(A) \cdot \Delta T = C_p(A) \cdot m(A) (T_1 - T_0),$$

где $C_p(A)$ – удельная теплоёмкость вещества A ;

$m(A)$ – масса этого вещества.

Провести такой расчет для раствора, состоящего из воды массой $m(H_2O)$ и растворенного в ней твердого вещества A массой $m(A)$ затруднительно, так как при испарении воды из раствора изменяется его концентрация a , значит, и теплота испарения. Кроме того, для веществ, образующих кристаллогидраты, необходимы труднодоступные данные по теплотам ступенчатой дегидратации. Однако, это затруднение можно обойти. Для этого процесс перехода раствора от температуры T_0 в состояние водяного пара и твердого вещества A при температуре T_1 (прямой процесс) разобьем на две стадии (рис.1). Первая стадия – переход из состояния раствора вещества A в воде при $T=T_0$ в состояние чистой воды и чистого вещества A при той же температуре. Тепловой эффект этой стадии обозначим ΔH_2 . Вторая стадия – переход чистой воды и чистого вещества A при температуре T_0 в состояние пара при температуре T_2 и чистого вещества A при той же температуре. Тепловой эффект этой стадии обозначим ΔH_3 .

Соответствующий тепловой эффект прямого процесса перехода из состояния раствора вещества A в воде при температуре T_0 в состояние паров воды и чистого вещества A при температуре

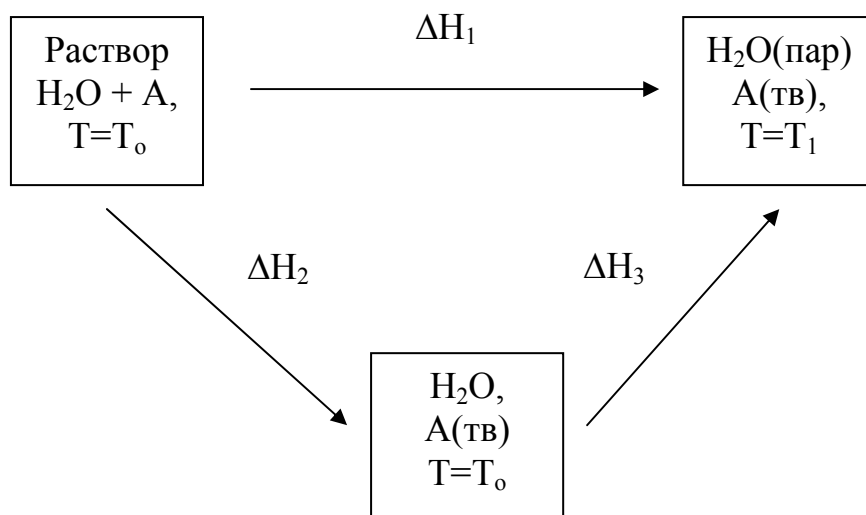


Рис. 1 – Два пути перехода раствора от начальной T_0 температуры до температуры T_1

T_1 обозначим ΔH_1 . В соответствии с законом Гесса – тепловой эффект не зависит от пути процесса, а только от начального и конечного состояния:

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3. \quad (1)$$

Очевидно, что ΔH_1 представляет собой охлаждающее действие раствора вещества A в воде, а ΔH_3 – это охлаждающее действие таких же масс вещества A и воды, как и в рассматриваемом растворе. ΔH_2 – представляет собой интегральную теплоту растворения вещества A в воде, взятую с обратным знаком:

$$\Delta H_2 = -\Delta H_{\text{раств.}} \quad (2)$$

С учетом соотношения (2) уравнение (1) можно записать:

$$\Delta H_1 = \Delta H_3 - \Delta H_{\text{раств.}} \quad (3)$$

Соотношение (3) равнозначно утверждению – охлаждающее действие раствора отличается от охлаждающего действия такой же массы чистых веществ, которая содержится в этом растворе на интегральную теплоту растворения этого вещества в воде. Причем, если вещество растворяется в воде с выделением тепла ($\Delta H_{\text{раств.}} < 0$), то охлаждающее действие раствора превышает охлаждающее действие такой же массы чистого вещества и воды, которые содержатся в этом растворе. Если же твердое вещество

растворяется в воде с поглощением тепла ($\Delta H_{\text{раств}} > 0$), то охлаждающее действие такого раствора будет меньше охлаждающего действия соответствующих масс чистых веществ, образующих раствор.

Преимущество уравнения (3) заключается в том, что интегральные теплоты растворения большинства веществ известны и приведены в химических справочниках [5,6].

В таблице 1 приведены результаты расчетов интегральных теплот растворения трех солей, использующихся в качестве катализаторов гелеобразования. Теплоты растворения отнесены к 1 килограмму растворов с концентрациями солей 10, 20 и 30 массовых %.

Таблица 1 – Значения теплот растворения ($\Delta H_{\text{раств}}$), гидратации ($\Delta H_{\text{гидр}}$) и их разности для водных растворов разных концентраций

Вещество	$-\Delta H_{\text{раств}}$ (кДж/кг)			$\Delta H_{\text{гидр}}$, (кДж/кг)			$\Delta H_{\text{гидр}} - \Delta H_{\text{раств}}$ (кДж/кг)		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
CaCl ₂	71	138	203	101	201	302	172	339	505
MgSO ₄	72	142	207	27	54	81	99	196	288
Al ₂ (SO ₄) ₃	100	196	273*	15	29	43*	115	225	316*

* – для насыщенного раствора Al₂(SO₄)₃.

При расчетах использовались интегральные теплоты растворения, полученные интерполяцией литературных данных [5]. Погрешность расчетов определяется погрешностью интерполяционных процедур и не превышает 1 кДж/кг.

Как видно из приведенных в таблице 1 данных, охлаждающее действие рассматриваемых растворов превышает охлаждающее действие такой же массы чистого вещества и воды, которые содержатся в этом растворе. Это превышение для концентрированных растворов достигает 200–300 кДж на 1 кг раствора, что соответствует 10-15 % от величины теплоты испарения воды. Анализ литературных данных по теплотам растворения также указывает, что для других веществ нельзя ожидать существенного повышения охлаждающего действия по сравнению с рассмотренными солями.

Необходимо также отметить, что, несмотря на строгость чисто термодинамического расчета, он справедлив только при точном выполнении указанных условий. В частности, условия о том, что при полном испарении воды из раствора вещества А образуется чистое вещество и пары воды. В реальности, для многих веществ удаление последних порций воды сопровождается гидролизом. Для солей двухвалентных металлов процесс гидро-

лиза может быть частичным, а для солей трехвалентных металлов обычно протекает необратимо до конца.

Провести точный учет вклада процесса гидролиза в охлаждающее действие раствора затруднительно. Это объясняется тем, что в большинстве случаев неизвестен качественный и количественный состав продуктов гидролиза. В качестве оценочных значений можно принять значения тепловых эффектов полного гидролиза рассматриваемых солей при стандартных условиях. Ниже приведены уравнения реакций гидролиза солей и соответствующие им значения тепловых эффектов. Эти расчеты проведены с использованием теплот образования веществ, заимствованных в литературе [5,6].



Как видно из приведенных результатов, для всех рассмотренных реакций, $\Delta H_{\text{гидр}} > 0$, что подтверждает известный факт об эндотермичности процесса гидролиза. Приведенные выше теплоты гидролиза пересчитаны на такие количества веществ, которые присутствуют в 1 кг 10, 20 и 30% водных растворов. Эти результаты приведены в таблице 1. Сравнение теплот гидролиза и теплот растворения позволяют заключить, что они являются величинами одного порядка. Это, в свою очередь, означает, что точный расчет охлаждающего эффекта раствора должен учитывать обе величины.

Для учета гидролиза, дополним схему (рис.1) стадией, учитывающей гидролиз (рис. 2).

Очевидно, что охлаждающее действие раствора будет включать три составляющие:

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_{\text{гидр}} = \Delta H_3 - \Delta H_{\text{раств}} + \Delta H_{\text{гидр}} \quad (4)$$

Для веществ, растворяющихся в воде с выделением тепла ($\Delta H_{\text{раств}} < 0$), все три составляющих будут положительными. Это означает, что увеличение экзотермичности растворения и эндотермичности процесса гидролиза будут увеличивать охлаждающее действие раствора. В таблице 1 приведены суммарные вклады теплот растворения и теплот гидролиза в охлаждающее действие раствора ($\Delta H_{\text{гидр}} - \Delta H_{\text{раств}}$) для трёх рассмотренных выше солей. Как видно из этих данных, суммарный вклад двух составляющих для 30% растворов составляет 300–500 кДж/кг, что приближается

к 25% от величины теплоты испарения воды. Однако, необходимо иметь в виду, что численные значения ($\Delta H_{\text{гидр}} - \Delta H_{\text{раств}}$) нужно рассматривать как максимальные из-за неопределенности с глубиной протекания реакции гидролиза.

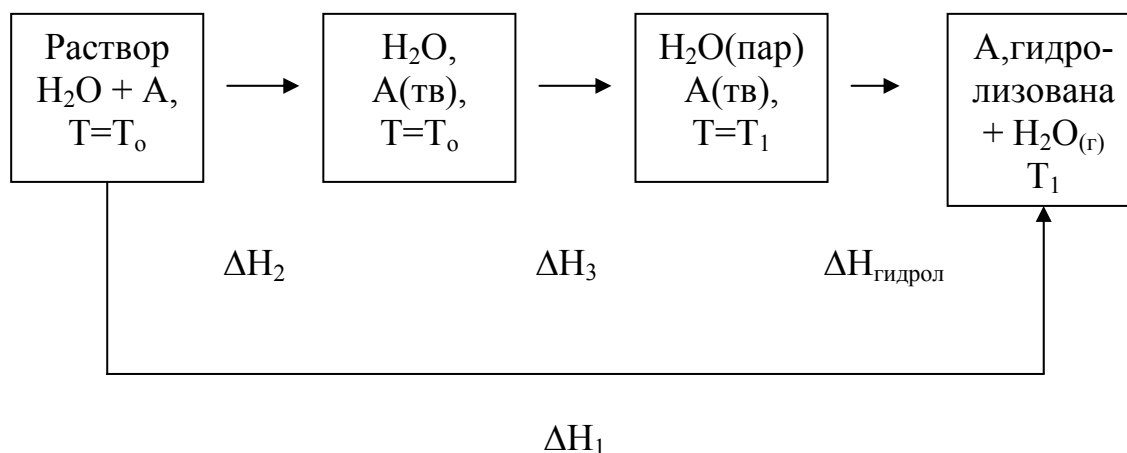


Рис. 2 – Два пути перехода раствора от начальной T_0 температуры до температуры T_1 с учетом стадии гидролиза

Выше было проведено сравнение охлаждающего действия водного раствора твердого вещества и охлаждающее действие воды и чистого твердого вещества, взятые в тех же количества, в которых они содержатся в растворе. Практически более актуальным является сравнение охлаждающих действий одинаковых масс раствора и воды.

Сначала рассчитаем охлаждающее действие раствора. Для этого определим составляющую ΔH_3 .

$$\Delta H_3 = \Delta H_3(H_2O) + \Delta H_3(A) = C_p(H_2O) \cdot m(H_2O) \cdot (100 - T_0) + \Delta H_{\text{исп}}(H_2O) \cdot m(H_2O) + C_p(H_2O_{\text{пар}}) \cdot m(H_2O) \cdot (T_2 - 100) + C_p(A) \cdot m(A) \cdot (T_2 - T_0).$$

Для вещества A принято, что оно в рассматриваемой области температур не претерпевает фазовых и полиморфных превращений. Если принять, что $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, а $T_1 = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ (выше температуры разложения кристаллогидратов рассматриваемых веществ) можно рассчитать $\Delta H_3(H_2O)$ и $\Delta H_3(A)$ для 10%, 20% и 30% растворов. Соответствующие результаты для суммарной массы воды и твердого вещества A в 1 кг для растворов разных концентраций приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения ΔH_3 для воды (ΔH_3 (H_2O)), вещества А (ΔH_3 (А)) и их сумма (ΔH_3) для масс соответствующих растворам разных концентраций

Вещества	10% соли			20% соли			30% соли		
	ΔH_3 (H_2O)	ΔH_3 (А)	ΔH_3	ΔH_3 (H_2O)	ΔH_3 (А)	ΔH_3	ΔH_3 (H_2O)	ΔH_3 (А)	ΔH_3
	кДж	кДж	кДж	кДж	кДж	кДж	кДж	кДж	кДж
CaCl ₂	2991	25	3016	2659	49	2708	2326	74	2400
MgSO ₄	2991	30	3021	2659	60	2719	2326	90	2416
Al ₂ (SO ₄) ₃	2991	28	3019	2659	57	2716	2376*	81	2407

* – для насыщенного раствора Al₂(SO₄)₃.

В таблице 3 приведены результаты расчетов по охлаждающему действию 1 кг растворов ($\Delta H_1 = \Delta H_3 - \Delta H_{\text{раств}}$) для избранного интервала температур.

Таблица 3 – Охлаждающих действий 1 кг растворов CaCl₂, MgSO₄ и Al₂(SO₄)₃ ($\Delta H_1 = \Delta H_3 - \Delta H_{\text{раств}}$) при различных концентрациях соли

Вещества	ΔH_1 , кДж/кг		
	10%	20%	30%
CaCl ₂	3087	2846	2603
MgSO ₄	3093	2861	2623
Al ₂ (SO ₄) ₃	3119	2912	2680*

* – для насыщенного раствора Al₂(SO₄)₃.

Рассчитанное для этого же интервала температур охлаждающее действие воды составляет 3324 кДж/кг, что заметно превосходит охлаждающее действие водных растворов рассмотренных солей. Причем, с увеличением концентрации растворов эта разница возрастает. Как показывают данные таблицы 1, учёт гидролиза принципиально не меняет соотношение охлаждающих действий растворов и воды.

Выводы. Рассмотрены водные растворы солей, используемых в качестве компонентов гелеобразующих систем, которые предложено применять для целей огнетушения, огнезащиты, а также борьбы с радиационным и химическим заражением. Для этих растворов установлено, что их охлаждающее действие превышает охлаждающее действие тех же масс воды и соли, из которых состоит раствор, на величину теплоты растворения соли в воде, если соль растворяется с выделением тепла. В случае эндотермичности процесса растворения соли, охлаждающее действие раствора становится меньшим на теплоту растворения соли. Для солей, подвергающихся гидролизу, охлаждающее действие возрастает на величину теплоты

процесса гидролиза. Показано, что охлаждающее действие воды превышает охлаждающее действие такой же массы раствора соли в воде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Фізико–хімічні основи використання води в пожежній справі. Харків, 2004. – С252.
2. Защита от оружия массового поражения/Под ред. В.В. Мясников. М.: Воениздат. 1989.–С.398.
3. Патент. 60882 Україна, МКІ 7А62С1/00. Спосіб гасіння пожежі та склад для його здійснення/Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Бабенко О.В. (Україна). АПБУ.-№ 2003032600. Заявл. 25.03.2003; опубл. 15.10.2003, бюл. № 10, 2003.
4. Патент 2264242 Российская федерация. МПК7 А62С, 5/033.Способ тушения пожара и состав для его осуществления Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В. Заявка №2003237256/12. Заявл. 23.12.2003, Опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32
5. Краткий справочник физико-химических величин. Изд-ие 8-е//Под ред. А.А. Равделя и А.М. Понамарёвой. Ленинград.: Химия. 1983. – С.232.
6. Справочник химика. Издание 4-е. Т-3. М.-Л.: Химия. 1963.– С.920.



АННОТАЦИИ

Абрамов Ю.А., Тютюнник В.В., Шевченко Р.И.
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ
АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ ПОВЫШЕННОЙ
ОПАСНОСТИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШ-
ЛЕННОСТИ**

При помощи математического аппарата логико-вероятностной теории безопасности проведена оценка безопасной работы объектов повышенной опасности нефтегазового комплекса на примере газонакопительной компрессорной станции

Созник А.П., Захаренко О.В.
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ
ИСТЕЧЕНИИ ИЗ РЕЗЕРВУАРА В
НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ**

Предложена модель для расчёта распределения концентраций химических веществ при нестационарных условиях, с учётом ветра и явлений турбулентной диффузии

Абрамов Ю.А., Басманов А.Е.
**АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО
РАСПОЛОЖЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ
ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В РЕЗЕРВУАРНОМ
ПАРКЕ**

Поставлена задача оптимального расположения стволов для охлаждения резервуаров при пожаре в резервуарном парке с нефтепродуктами. Рассматриваются детерминированная и стохастическая постановки задачи. Предложен алгоритм решения, охватывающий оба случая

*Абрамов Ю.А., Кривцова В.И., Левтеров А.А.,
Ключка Ю.П.*
**АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В
ГЕНЕРАТОРЕ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ
ОБРАТИМЫХ ГИДРИДОВ
ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ**

Для газогенераторов на основе обратимых гидридов интерметаллидов предложена математическая модель, в основе которой лежит использование законов сохранения массы и энергии. Получены динамические характеристики газогенератора в виде передаточных функций

ABSTRACTS

Abramov Yu.A., Tyutyunik V.V., Shevchenko R.I.
**MODEL OPERATION OF PROCESS OF
ORIGINATION OF TECHNOGENIC CRASH ON
OBJECTS INCREASED DANGERS OF OIL-
AND-GAS COMPLEX**

By means of device the logic-likelihood theory of safety the estimation of safe work of objects increased dangers of an oil-and-gas complex on an example gas accumulation compressor station is lead

Soznik A.P., Zakharenko O.V.
**DEFINITION OF CONCENTRATION
CHEMICAL SUBSTANCES AT THE
EXPIRATION FROM THE TANK IN NON-
STATIONARY CONDITIONS**

The model for calculation of distribution of concentration of chemical substances is offered under non-stationary conditions, in view of a wind and the phenomena of turbulent diffusion

Abramov Yu.A., Basmanov A.Ye.
**ALGORITHM OF THE OPTIMUM
ARRANGEMENT OF FORCES AND MEANS
FOR FIRE EXTINGUISHING IN TANK FARM**

Task in view of an optimum arrangement of trunks for cooling tanks at a fire in tank farm with mineral oil. The determined and stochastic statements of a problem are considered. The algorithm of the decision, covering both of a case is offered

*Abramov Yu.A., Krivtsova V.I., Levterov A.A.,
Kluchka Yu.P.*
**THE ANALYSIS OF EMERGENCIES IN THE
GENERATOR OF HYDROGEN ON THE BASIS
OF REVERSIBLE HYDRIDES OF
INTERMETALLIC**

For gas-producer on the basis of reversible hydrides интерметаллидов the mathematical model in which basis use of laws of preservation of weight and energy lays is offered. Dynamic characteristics gas-producer in the form of transfer functions are received

В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАБОТЫ
СПАСАТЕЛЕЙ В ИЗОЛИРУЮЩИХ
АППАРАТАХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ НА
СТАНЦИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА**

Показано, что при проведении аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена распределение расхода воздуха при работе в аппаратах на сжатом воздухе является скошенным и описывается β -распределением, а распределение подачи кислорода в регенеративных дыхательных аппаратах – нормальным

Strelets V.M., Borodich P.Yu.

**LAWS OF WORK OF RESCUERS IN
ISOLATING DEVICES AT CARRYING OUT
WORKS AT STATIONS OF UNDERGROUND**

It is shown, that at carrying out of rescue works at stations of underground distribution of the charge of air at work in devices on compressed air is oblique and distribution of submission of oxygen in regenerative respiratory devices - normal is described by β -distribution, and distribution of submission of oxygen in regenerative respiratory devices – normal

Кривошлыков С.Ф., Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А.

**АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
ТАКТИКИ ТУШЕНИЯ ПРОСТОГО
ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА**

Сформулирована задача оптимизации параметров тактики тушения простого ландшафтного пожара. Критерий оптимизации - минимизация времени локализации. Параметрами модели является время прибытия к месту пожара подразделений, количество сил и тактико-технические характеристики средств тушения. Предложен оптимизационный алгоритм

Krivoshlykov S.F., Abramov Yu.A., Tarasenko A.A.

**ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF
PARAMETERS OF TACTICS SUPPRESSIONS
OF THE SIMPLE LANDSCAPE FIRE**

The problem of optimization of parameters of tactics of suppression of a simple landscape fire is formulated. Criterion of optimization - minimization of time of localization. Parameters of model is the arrival time to a place of a fire of divisions, quantity of forces and tactics-characteristics of means of suppression. It is offered optimization algorithm

Калиновский А.Я., Созник А.П.

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКОРОСТИ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО
ПОЖАРА**

Предложена простая аналитическая модель для описания азимутальной зависимости скорости распространения контура низового лесного (степного) пожара. Проведены расчеты годографа скорости для различных горючих материалов

Kalinovskiy A.Ya., Soznik A.P.

**ANALYTICAL MODEL OF SPEED
DISTRIBUTIONS OF LOCAL FOREST FIRE**

The simple analytical model for the description of azimuthal dependence of speed of distribution of a contour of a local wood (steppe) fire is offered. Calculations hodograph speeds for various combustible materials are lead

Кирочкин А.Ю., Левтеров А.А., Тютюник В.В.

**ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА ТЕОРИИ
СЛУЧАЙНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКОВ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА
ОБЪЕКТАХ ТОПЛИВНО-
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

В статье рассмотрены отдельные положения теории случайных импульсных потоков. Проведен анализ существующих опасных факторов на объектах топливно-энергетического комплекса и возможность их моделирования с последующим прогнозированием времени появления чрезвычайной ситуации

Kirochkin A.Yu., Levterov A.A., Tyutyunik V.V.

**APPLICATION OF THE KETTLE OF THE
THEORY OF CASUAL PULSING STREAMS
FOR FORECASTING EMERGENCY
SITUATIONS ON OBJECTS OF A FUEL AND
ENERGY COMPLEX**

In article presented separate standings of the theory of casual pulsing streams. The analysis of existing unsafe factors on objects fuel and energy complex and an opportunity of their model operation with the subsequent forecasting a time of occurrence emergency situations is lead

Прохач Э.Е., Михальская Л.Л., Тимонина А.Р.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
УЧАСТКА ХРАНЕНИЯ БЛОКОВ
ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ РАКЕТ**

Приведены результаты трехлетнего мониторинга территории Павлоградского химического завода, где хранятся опасные, с точки зрения возникновения чрезвычайных ситуаций, твердотопливные заряды. По результатам мониторинга установлены наиболее чувствительные и информативные показатели техногенного влияния на окружающую среду

Prokhach E.Ye., Mikhalskaya L.L., Timonina A.R.

**ECOLOGICAL MONITORING OF SECTIONS
OF STORAGE OF BLOCKS SOLID FUEL OF
ROCKETS**

Results of three-year monitoring chemicals plant of Pavlograd, where are stored unsafe, from the point of view of emergencies, solid fuel charges are presented. By results of monitoring the most sensitive and informative exponents of technogenic agency on a surrounding medium are erected

Гринченко Е.Н., Левтеров А.А., Чернуха А.А.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ
ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ
ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ
ОБЪЕКТАХ**

В работе проведен анализ возможных типов чрезвычайных ситуаций в результатах технологических аварий на объектах, создающих химически опасные вещества. Приведена усовершенствованная методика оценки безопасности прилегающих территорий

Grinchenko Ye.N., Levterov A.A., Chernukha A.A.

**PERFECTION OF THE TECHNIQUE OF THE
ESTIMATION SAFETY OF TERRITORY AT
FAILURES ON CHEMICALLY DANGEROUS
OBJECTS**

In work the analysis of possible types of extreme situations in results of technological failures on the objects creating chemically dangerous substances is lead. The advanced technique of an estimation of safety of adjoining territories is resulted.

Тарасова Г.В., Тютюник В.В.

**МОЛЕКУЛЯРНО-ОПТИЧЕСКИЙ
МОНИТОРИНГ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ
СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С АВАРИЙНЫМ
ИСТЕЧЕНИЕМ ВЗРЫВООПАСНЫХ ГАЗОВ**

В работе представлены результаты исследования возможности метода поляризационно-молекулярной оптики при решении задач мониторинга чрезвычайных ситуаций связанных с аварийным истечением взрывоопасных газов

Tarasova G.V., Tyutyunik V.V.

**MOLECULAR-AND-OPTICAL MONITORING
THE EXTREME SITUATIONS CONNECTED
WITH THE EMERGENCY EXPIRATION OF
EXPLOSIVE GASES**

In work results of research of an opportunity of a method of polarization-molecular optics are presented at the decision of problems of monitoring of extreme situations of the explosive gases connected with the emergency expiration

Кулешов Н.Н., Одарюк П.В.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ**

Проведен анализ существующей системы гражданской защиты Украины. Приведены рекомендации по усовершенствованию деятельности системы гражданской защиты

Kuleshov N.N., Odaryuk P.V.

**IMPROVEMENT OF RELIABILITY OF
SYSTEM OF CIVIL DEFENCE**

The analysis system of civil protection of Ukraine is lead. Recommendations on improvement of activity of system of civil protection are given

Докучаев В.П., Николаев И.М., Щербак Г.В.

**СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ ПОДСИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ
ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ**

Рассмотрены структура и задачи подсистемы управления Единой системы гражданской защиты, а также пути использования информационных технологий для подготовки и поддержки управленческих решений на разных этапах управления силами и средствами гражданской защиты

Dokuchayev V.P., Nikolayev I.M., Shcherbak G.V.

**STRUCTURE AND PROBLEMS OF THE
SUBSYSTEM OF MANAGEMENT UNIFORM
SYSTEM OF CIVIL PROTECTION**

Are considered structure and problems of a subsystem of management of Uniform system of civil protection, and also a way of use of information technologies for preparation and supports of administrative decisions at different stages of management by forces and means of civil protection

Соболь А.Н.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗБИЕНИЯ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ

В работе рассмотрены основные задачи геометрического проектирования, относящиеся к классу задач разбиения точечного множества на подмножества и являющиеся характерными для подсистем Единой государственной системы гражданской защиты населения и территорий. Приведены математическая модель и метод их решения

Садковой В.П., Абрамов Ю.А.

ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ СО СФЕРИЧЕСКИМ ТЕРМОРЕЗИСТИВНЫМ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Получены математические модели датчиков первичной информации систем автоматического пожаротушения, с помощью которых проведена оценка быстродействия таких датчиков

Левтеров А.А., Шевченко Р.И.

ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСА ПО РАСЧЕТУ И ОПТИМАЛЬНОМУ ВЫБОРУ АВАРИЙНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Проведен анализ существующих систем аварийного газоудаления из зданий и сооружений повышенной этажности. Раскрыты возможности многофункционального компьютерного комплекса по расчету и оптимальному выбору аварийных вентиляционных систем

Кривцова В.И., Левтеров А.А., Грушко А.И.

АНАЛИЗ ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ И ПОДАЧИ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ РЕАКЦИЙ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ

Проведен анализ пожаровзрывобезопасности систем хранения и подачи водорода на основе твердых водородсодержащих веществ, в частности, с использованием реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Показано, что уровень пожаровзрывобезопасности таких систем должен определяться не только физико-химическими свойствами водорода, но и технологическими параметрами процесса получения водорода

Sobol A.N.

MATHEMATICAL MODEL AND METHOD OF A PROBLEM SOLVING OF DISSECTION, CHARACTERISTIC FOR DESIGNING DEVICES OF SYSTEM OF CIVIL PROTECTION

The primary goals of geometrical designing which refer to problems of dissection of a dot plane on subsets are in-process viewed. The given expedient is characteristic for subsystems of state system of civil protection. The mathematical model and a method of its solution are presented

Sadkovo V.P., Abramov Yu.A.

ESTIMATION OF SPEED OF GAUGES THE PRIMARY INFORMATION OF SYSTEMS AUTOMATIC FIRE APPLIANCES WITH SPHERICAL THERMORESISTIVE SENSITIVE ELEMENT

Mathematical models of gauges of the primary information of systems automatic systems automatic fire by means of which the estimation of speed of such gauges is lead are received

Levterov A.A., Shevchenko R.I.

CONSTRUCTION OF THE ELECTRONIC COMPLEX BY CALCULATION AND TO THE OPTIMUM CHOICE EMERGENCY VENTILATING SYSTEMS

The analysis of existing systems emergency gas-handling system from buildings and constructions raised floors is lead. Opportunities of a multipurpose computer complex by calculation and an optimum choice of emergency ventilating systems are opened

Krivtsova V.I., Levterov A.A., Grushko A.I.

ANALYSIS FIRE AND EXPLOSION SAFETY OF SYSTEMS OF STORAGE AND SUBMISSION OF HYDROGEN ON THE BASIS OF REACTIONS OF SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS INTERMETALLIC COMPOUND

The analysis fire and explosion safety systems of storage and submission of hydrogen on the basis of firm hydrogen substances, in particular, with use of reaction of a self-propagating high-temperature synthesis is lead. It is shown, that the explosion and fire safety level such systems should be defined not only physical and chemical properties of hydrogen, but also technological parameters of process of reception of hydrogen

В.М. Комяк

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОНОВКИ
ОБОРУДОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ БЫСТРОГО РЕАГИРОВАНИЯ НА
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ**

Рассмотрено решение задачи рациональной компоновки оборудования специальной техники с учетом многочисленных эргонометрических, эксплуатационных, технологических требований и особенности ее использования в различных чрезвычайных ситуациях

Киреев А.А.

**ОЦЕНКА ОХЛАЖДАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ
РАСТВОРОВ СОЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ
НА ЭТАПАХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ, И
ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Рассмотрен алгоритм расчета охлаждающего действия компонентов гелеобразующих составов, которые предлагается использовать для целей огнезащиты, огнетушения, а также борьбы с химическим и радиационным заражением в условиях пожара. На основании термодинамического подхода установлено, что охлаждающее действие водных растворов солей, превышает охлаждающее действие тех же масс воды и соли, из которых состоит раствор, на величину большую, чем теплота растворения соли в воде. Показано, что охлаждающее действие воды превышает охлаждающее действие такой же массы раствора соли в воде

Komyak V.M.

**MODELLING OF CONFIGURATION OF THE
EQUIPMENT OF SPECIAL TECHNICS OF
FAST REACTION TO EXTREME SITUATIONS**

The decision of a problem of rational configuration of the equipment of special technics in view of numerous ergonomic, operational, technology requirements and feature of its use in various extreme situations is considered

Kireev A.A.

**ESTIMATION OF COOLING ACTION OF
SOLUTIONS OF THE SALTS USED AT STAGES
OF THE PREVENTION, AND LIQUIDATIONS
OF CONSEQUENCES OF EXTREME
SITUATIONS**

The algorithm of calculation of cooling action of components gelling structures which are offered to be used for the purposes fireproofing composition, and also struggle against chemical and radiating infection in conditions of a fire is considered. On the basis of the thermodynamic approach cooling action of water solutions of salts is established, that, exceeds cooling action of the same weights of water and salt of which the solution, on size greater consists, than heat of dissolution of salt in water. It is shown, that cooling action of water exceeds cooling action of the same weight of a solution of salt in water

Наукове видання

ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Випуск 3

Відповідальний за випуск Ю.О. Абрамов

Технічні редактори Р.І. Шевченко, О.Ю. Кірючкін

Підписано до друку 01.03.2006

Вид. арк. 7,3

Ум.-друк. арк. 10,9

Формат паперу 60x84/16

Тир. 100

Зам. 024 – 2006

Ціна договірна

ТОВ "Видавництво Фоліо"

Свідоцтво для внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 505 від 21.06.2001 р.

ТОВ "Фоліо"

Свідоцтво для внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 683 від 21.11.2001 р.

61057, Харків, вул. Донець-Захаржевського, 6/8

Електронна адреса:

www.folio.com.ua

61002, Харків, вул. Артема, 8.

Типографія Харківської книжкової фабрики ім. М.В. Фрунзе

Надруковано з готових позитивів
на Харківській книжковій фабриці ім. М.В.Фрунзе
61057, Харків, вул. Донець-Захаржевського, 6/8