

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

---

# **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 20

**Зареєстрований Міністерством юстиції**

25 травня 2010 року

Серія КВ № 16672-5244ПР

Затверджено до друку вченою радою  
НУЦЗ України  
(протокол № 1 від 25.09.2014 р.)

Харків  
НУЦЗУ – 2014

УДК 331.101+351.861+355.58+504.064.3+504.5+517.9+528.88+551.515+  
614.8+614.84+621.034.58+625.032+628.35+665.6+681.3

Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Харків:  
НУЦЗУ, 2014. – Вип. 20. – 145 с.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:** д-р техн. наук, проф. *Ю.О. Абрамов* (гол. ред.), д-р техн. наук, проф. *В.А. Андронов*, д-р техн. наук, проф. *О.Є. Басманов*, д-р техн. наук, проф. *Е.В. Бодянський*, д-р техн. наук, с.н.с. *Ю.П. Ключка*, 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. *Е.Ю. Прохач*, д-р техн. наук, доц. *С.В. Росоха*, д-р техн. наук, с.н.с. *О.М. Соболев*, д-р техн. наук, проф. *В.В. Соловей*, д-р техн. наук, с.н.с. *О.А. Тарасенко* (заст. гол. ред.), д-р техн. наук, проф. *І.Б. Туркін*, д-р техн. наук, проф. *І.А. Чуб*, д-р фіз.-мат. наук, проф. *С.В. Яковлєв*.

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

Видання засноване у 2005 р. та включене до Переліку наукових фахових видань України (постанова № 1-05/3 від 14.04.2010 р.).

Наведені результати наукових досліджень теоретичних та прикладних проблем, пов'язаних із попередженням надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, локалізацією та ліквідацією їх наслідків, зокрема на транспорті. Розглядаються питання моніторингу та прогнозування явищ, технологічних процесів тощо, які обумовлюють виникнення та розвиток надзвичайних ситуацій, попередження, локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій, розроблення моделей, які описують процеси виникнення, розвитку та локалізації надзвичайних ситуацій, а також процесів їх ліквідації, оптимізації проведення аварійно-рятувальних робіт, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями.

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

Іл. – 43, табл. – 19

© Національний університет цивільного захисту України, 2014

С.І. Азаров, д.т.н., с.н.с., зав. від., ІЯД НАН України,  
О.В. Тарановський, аспірант, ІЯД НАН України,  
В.Л. Сидоренко, к.т.н., доцент, нач. каф., ІДУЦЗ

## ОЦІНКА ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ВОДНЮ НА РАННІЙ СТАДІЇ РОЗВИТКУ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ

(представлено д-ром техн. наук Ключкою Ю.П.)

Розроблено сценарій ранньої стадії розвитку аварії з оцінкою впливу вибухонебезпечного водню на конструкцію реактора РВПК-1000. Показано, що визначальним фактором необхідних умов вибухонебезпечної водньоутримуючої пароповітряної суміші в активній зоні реактора буде являтися співвідношення швидкості локальної генерації газоподібного водню і швидкості поширення водню в парогазовому середовищі активної зони реактора.

**Ключові слова:** вибухонебезпечність водню, аварія, Чорнобильська АЕС.

**Постановка проблеми.** Події аварії на ЧАЕС показали, що важливим питанням керування важкими аваріями є забезпечення вибухонебезпечності, оскільки вибух привів до руйнування захисних бар'єрів безпеки і значних викидів радіоактивних продуктів розподілу в навколишнє середовище.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведені в роботах [1-3] досить докладні описи процесів розвитку аварії на 4-му блоці ЧАЕС мають деяку особливість. У них практично відсутнє обговорення питання про ранню стадію розвитку аварії (кілька секунд від початку виникнення аварії) і характер руйнівних сил (аналіз умов і механізмів утворення вибухонебезпечних газів і їхній підривний вплив на реакторну установку). Зрозуміло, що внаслідок неповноти вихідних експериментальних даних сценарій (математичне моделювання) ранньої стадії розвитку аварії неможливо повністю описати. Однак воно дає можливість осмислити характерні риси процесів, що відбуваються, і чітко зрозуміти вплив кожного компонента на хід аварії.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою даної роботи є розробка сценарію ранньої стадії розвитку аварії з оцінкою впливу вибухонебезпечного водню на конструкцію реактора РВПК-1000.

Приймається наступний «сценарій» ранньої стадії розвитку аварії (десятки секунд) на 4-му блоці ЧАЕС:

- у результаті порушення циркуляції теплоносія в контурі реактора відбулося "запарювання" робочих каналів. Момент початку "запарювання" приймаємо за точку відліку  $t_0$ ;
- "запарювання" спричинило наростання потужності реактора.

При  $t < t_0$  (тобто до початку аварії) реактор мав теплову потужність 200 МВт (близько 6 % від номінальної) і за (2,5-3) секунд реактор набрав повну потужність;

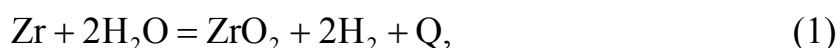
- впродовж (2,5-3) секунд від початку аварії температура технологічних каналів і твेलів піднялася від номінальної (573 °К) до 1273 °К і далі продовжувала рости в першому наближенні лінійно з часом. Температура реакторного графіту за час від  $t_0$  до 3 секунд залишалася постійною і далі росла лінійно з градієнтом (10–30) К/с;

- при підвищенні температури збільшення тиску пари в контурі привів до розриву технологічних каналів: відбувся "хлопок" та зіткнення пари з графітовою кладкою;

- через (25-30) секунд після "хлопка" відбувся тепловий вибух, що привів до руйнування активної зони реактора.

Різка підвищення температури конструкційних матеріалів (оболонки твелів у ТВС й ін.) при порушенні умов охолодження активної зони реактора привело до активної їхньої взаємодії з водяною парою, що супроводжувалося утворенням водню і виділенням тепла.

Екзотермічна пароцирконієва реакція всередині активної зони при взаємодії водяної пари з металевим цирконієм протікає в такий спосіб:



де Q – теплота реакції, рівна 6280,5 кДж/кг.

Рівняння (1) являє собою спрощений балансовий опис багатостадійної реакції взаємодії цирконію з водяною парою, що включає в себе, зокрема, стадії: дифузію молекул  $\text{H}_2\text{O}$  через тонкий передстінний шар водню, абсорбцію цих молекул поверхнею, їхню дисоціацію, дифузію іонів кисню через шар діоксиду цирконію, рекомбінацію та десорбцію водню.

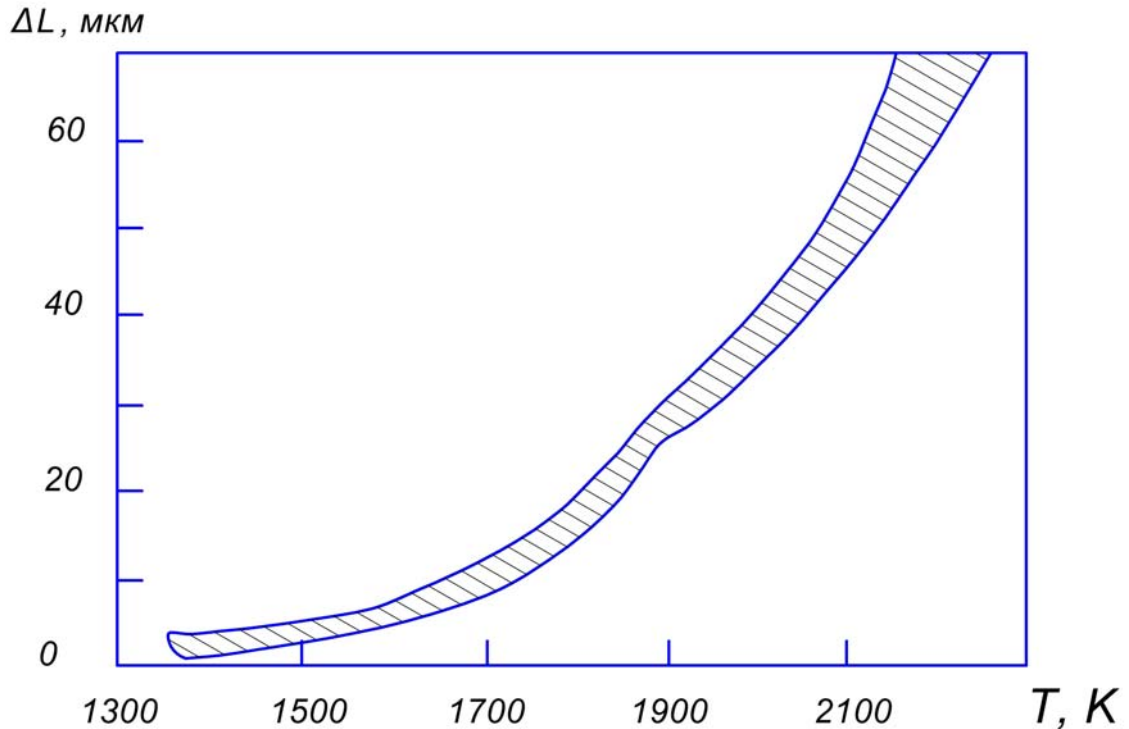
При температурах нижче 1140 К цирконій має щільно впаковану гексагональну структуру ( $\alpha$ -фаза), що при більш високих температурах переходить в  $\beta$ -фазу, яка володіє об'ємно центрованою кубічною структурою. У присутності кисню  $\alpha$ -фаза цирконію існує при більш високих температурах. Так що під шаром діоксиду цирконію в окисленому металі при високих температурах перебуває  $\alpha$ -підшар, стабілізований киснем, а під ним – шар  $\beta$ -цирконію. Товщина  $\alpha$ -підшару залежить від температури.

На рис. 1 представлено зміну товщини оксидної плівки цирконію  $\Delta L$  залежно від температури оболонки твела [4].

Кінетика пароцирконієвої реакції взаємодії оболонки твела з пароповітряною сумішшю описується рівнянням Бейкера-Джаста [5]:

$$dN/dt = 1,1 \cdot 10^{-5} [S(t) \cdot k_{\text{Zr}}]^{0,5} \cdot t^{-0,5}, \text{ моль } \text{H}_2/\text{с}, \quad (2)$$

де N – число молів водню, S(t) – площа цирконію, що контактує з водяною парою, для реактора РВПК-1000 складає  $1,2 \cdot 10^8 \text{ см}^2$ , t – час в секундах.



**Рис. 1.** Товщина оксидної плівки цирконію ( $\Delta L$ ) як функція температури оболонки твела

Значення константи швидкості  $k_{Zr}$  приймається відповідно до робіт [6, 7], а саме:

$$k_{Zr} = 3,33 \cdot 10^7 \exp(-45500/RT_k), \quad (3)$$

де  $R$  – універсальна газова постійна, Дж/(моль · К) и  $T_k$  – температура технологічних каналів і твелів, К. При розрахунках приймалося, що температура при аварії змінювалася за законом:

$$T_k = T_{k_0} + bt, \quad (4)$$

де  $T_{k_0} \leq 573$  К – робоча температура технологічних каналів і твелів;  $b$  – коефіцієнт, що характеризує швидкість наростання температури, К/с.

Кінетика пароцирконієвої реакції істотно прискорюється при температурах понад (1500-1700) К і супроводжується, в основному, наступними ефектами:

- інтенсивне виділення тепла при високих температурах;
- виділення водню;
- зміна фізичних властивостей матеріалу оболонки твелів, зокрема, зниження механічної міцності через окрихчування;
- підвищення температури плавлення від 2170 К (Zr) до 2900 К ( $ZrO_2$ ).

Взаємодія цирконію з паром відбувалася протягом усього часу від  $t_0$  до моменту вибуху пароводневої суміші. Кількість водню, що утворилося за час  $t$ , визначається інтегруванням рівняння (2) з коефіцієнтами, що задають рівняннями (3) і (4).

Проведений розрахунок дає верхню границю кількості водню, що виділився за час  $t$ , оскільки: 1) закон Бейкера-Джаста – ідеальний, і звичайно експериментальні значення кількості водню трохи менше обчислених з цього рівняння; 2) при розрахунку передбачалося, що пароцирконієва реакція йде однаково у всіх каналах.

На рис. 2 представлено результат кінетики утворення водню за рахунок пароцирконієвої реакції.

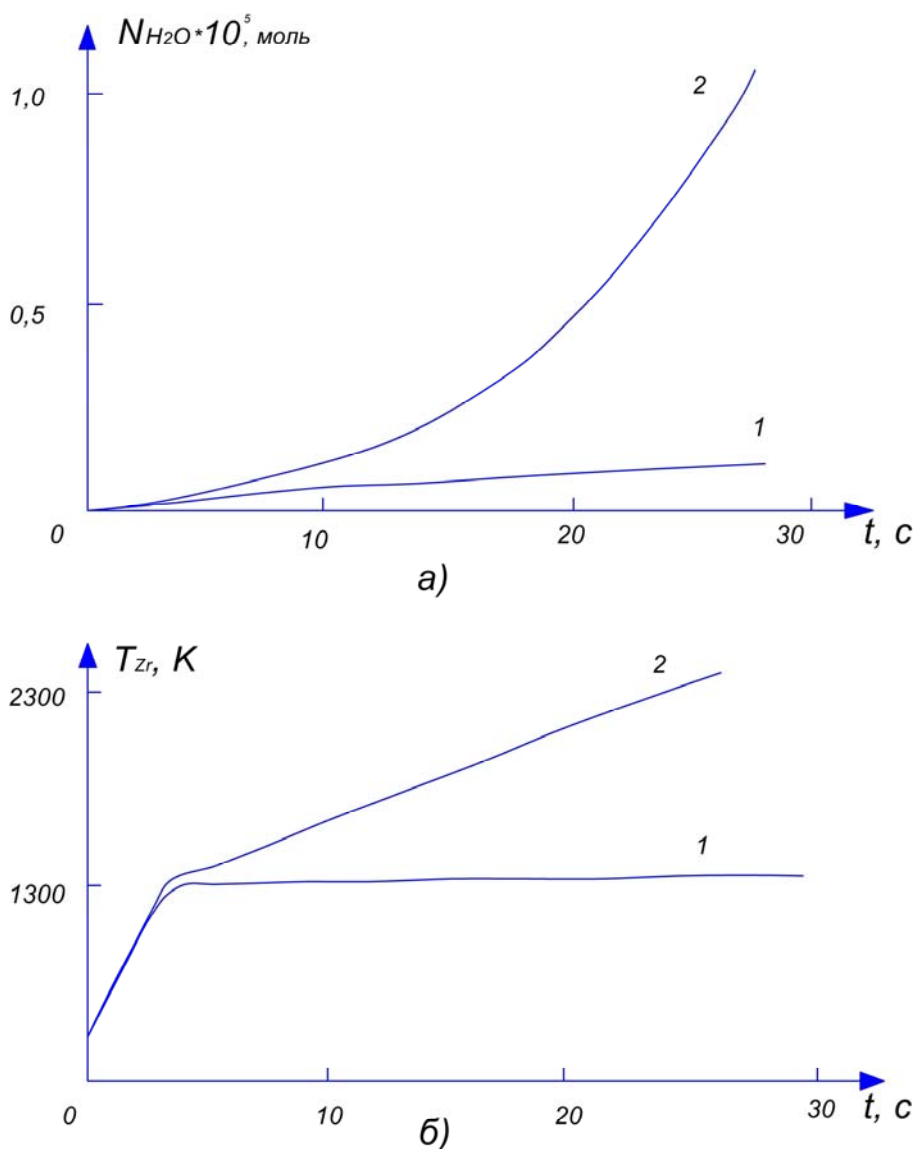


Рис. 2. Утворення водню за рахунок пароцирконієвої реакції (а) при різних варіантах зміни температури (б)

Розрахунки проводилися для двох варіантів зміни температури технологічних каналів і твелів: ріст температури від 573 до 1273 К за 3 секунди і далі – не змінюється (б, крива 1) і ріст температури від 573 до

1273 К за 3 секунди і далі – більше повільний ріст зі швидкістю  $a = 40 \text{ K/c}$  (б, крива 2).

З даних, наведених на рис. 2 (а, крива 2) видно, що кількість водню, що утворюється, дуже велика: приблизно за 30 секунд утвориться більше  $10^5$  молей водню, тобто більше  $2000 \text{ м}^3$ . Така кількість водню крім створення істотного надлишкового тиску у вільних обсягах активної зони реактора з киснем повітря утворить суміш, що неодмінно вибухне, оскільки в аварійному реакторі було досить багато джерел запалювання, таких як розпечені частки палива, нагріті металоконструкції тощо.

Достатніми умовами дефлаграції і детонації воднюотримуючої пароповітряної суміші є критичне сполучення концентрацій пального-окислювача-флегматизаторів при певному термодинамічному стані суміші [8]. При аналізі вибухонебезпечності традиційно як критерій виникнення умов дефлаграції і детонації водню використовується трикомпонентна діаграма Шапіро-Моффетте: пальне – водень; окислювач – повітря; флегматизатор – пара.

Приклад використання критеріїв Шапіро-Моффетте при аналізі вибухонебезпечності воднюотримуючої пароповітряної суміші у процесі розвитку ранньої стадії аварії на 4-му блоці ЧАЕС наведений на рис. 3.

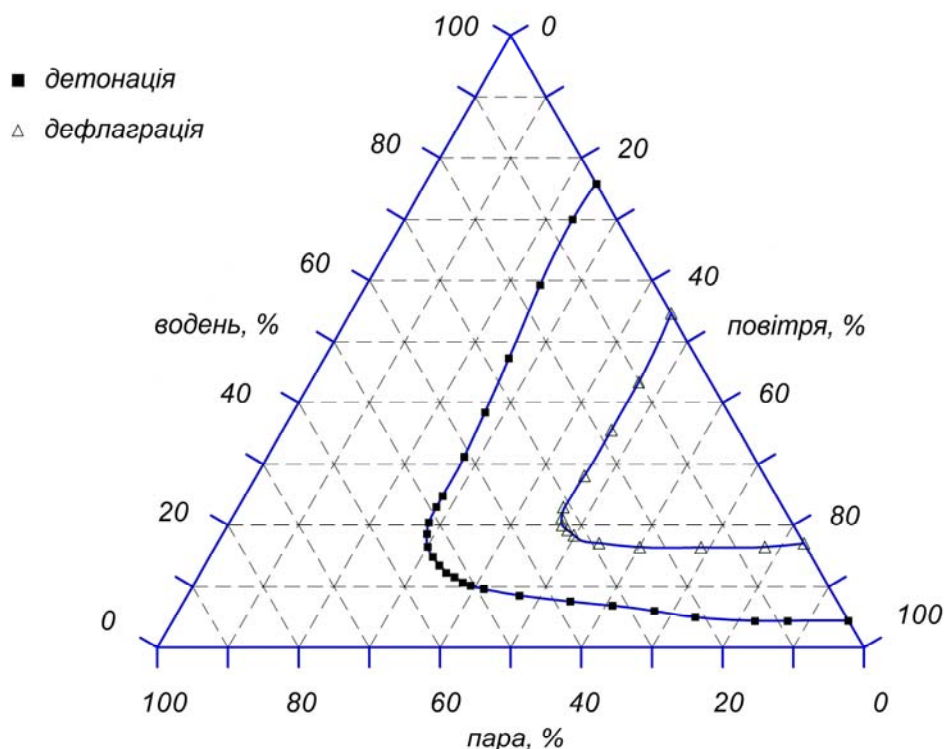


Рис. 3. Діаграма Шапіро-Моффетте

Виникнення і розвиток дефлаграційно-детонаційних процесів, що мають термохімічну природу буде залежати в основному від:

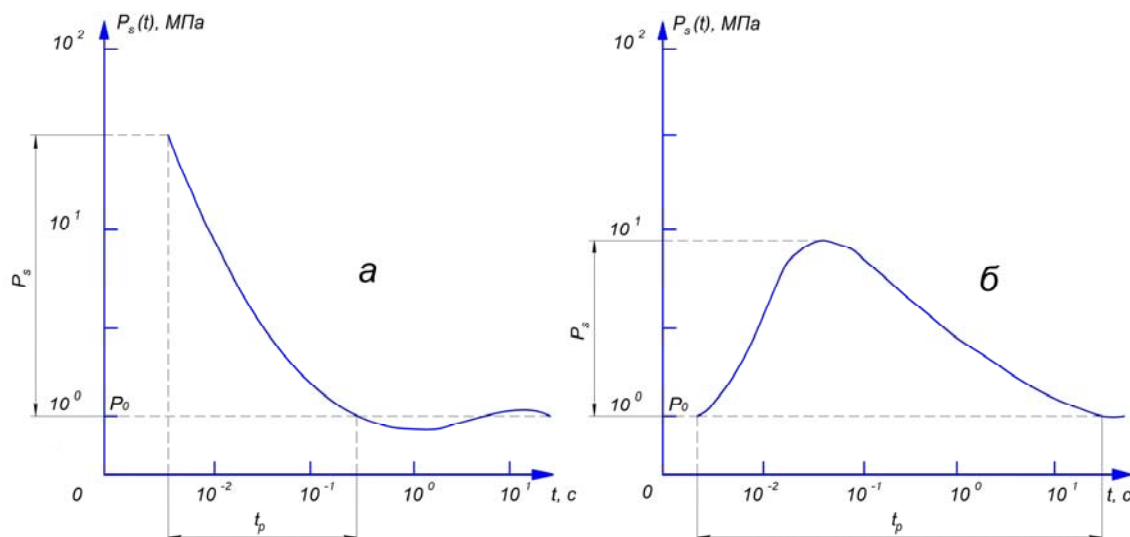
- концентрації і теплофізичних властивостей компонентів середовища;
- початкового термодинамічного стану;

- зовнішніх умов, що визначають розвиток механізмів горіння і детонації.

Розрахунковим шляхом було встановлено, що при згорянні водню виділиться енергія близько 260 кДж/моль реагенту, а при вибуху  $\sim 10^5$  моль водню, що утворився, виділиться енергія більше  $3 \cdot 10^7$  кДж, причому ця енергія буде розсіяна у виді імпульсу тривалістю в доли секунди.

Процеси дефлаграції і детонації будуть відрізнятися за максимальним значенням і тривалості імпульсу збурювання тиску, напрямку фронту збурювання тиску і відбитої хвилі збурювання, а також за іншими визначальними параметрами. Характерний приклад детонаційної і дефлаграційної хвилі збурювання наведений на рис. 4.

Для вибухобезпеки водньоутримуючої пароповітряної суміші найбільш значимими механізмами горіння є [9] FA-механізм ("Flame Acceleration") і DDT-механізм ("Deflagration-to-detonation transition"), що мають різні умови виникнення і наслідки.



**Рис. 4.** Характерна форма тиску протягом детонаційної, шоквої хвилі (а) і дефлаграційної хвилі (б):  $P_0$  – початковий тиск;  $P_s$  – пік тиску;  $t_p$  – тривалість позитивної фази

Пікові значення тиску  $P_{\max}$  і температур  $T_{\max}$  у процесах детонації-горіння водньоутримуючої пароповітряної суміші звичайно визначаються за напівемпіричними залежностями виду [9]:

$$T_{\max} = f_1(C_k, T_0, Q_k); \quad P_{\max} = f_2(P_0, T_0, T_{\max}), \quad (5)$$

де  $C_k$ ,  $Q_k$  – концентрація і питомі внутрішні теплоенергетичні характеристики компонентів водньоутримуючої пароповітряної суміші;  $P_0$ ,  $T_0$  – початкові значення тиску і температури середовища.

При цьому для оцінки  $P_{\max}$  звичайно (не цілком коректно) використовується рівняння стану ідеального газу, що обґрунтовано тільки для умов низьких значень тиску і температур (нехарактерних для пікових значень детонаційно-дефлаграційних хвиль).



Для умов вибухонебезпечності водню важлива не тільки загальна маса водню, що виділився, але і його локальна концентрація. Найбільша локальна концентрація газоподібного водню в початкові моменти часу буде в місцях розгерметизації реакторного контуру. З огляду на високу летючість і дифузійність газоподібного водню, варто очікувати досить швидке його поширення за обсягом активної зони реактора і зниження значень локальних концентрацій у місцях розгерметизації реакторного контуру.

Характерний час зниження вибухонебезпечних локальних концентрацій  $t_{\text{VH}}$  можна оцінити співвідношенням [10]:

$$t_{\text{VH}} = V_{\text{AZ}}/C_{\text{VH}}, \quad (6)$$

де  $V_{\text{AZ}}$  – «вільний» обсяг активної зони реактора;  $C_{\text{VH}}$  – середня за обсягом швидкість поширення водню, що залежить від нерівномірності розподілу концентрації водню, а також властивостей і стану парогазового середовища в активній зоні реактора.

Характерний час досягнення локальної критичної концентрації водню  $K_{\text{KP}}$ :

$$T_{\text{LH}} \approx K_{\text{KP}}/C_{\text{LH}}, \quad (7)$$

де  $C_{\text{LH}}$  – середня швидкість локального утворення, що залежить від джерел і механізмів утворення водню.

Отже, необхідна умова вибухонебезпечності (дефлагації-детонації) водню в активній зоні реактора буде визначатися залежністю виду:

$$V_{\text{AZ}}/C_{\text{VH}} \geq K_{\text{KP}}/C_{\text{LH}}. \quad (8)$$

Тобто визначальним фактором необхідних умов вибухонебезпечної водньоутримуючої пароповітряної суміші в активній зоні реактора буде являтися співвідношення швидкості локальної генерації газоподібного водню і швидкості поширення водню в парогазовому середовищі активної зони реактора.

**Висновки.** Таким чином, реалізація умов вибухобезпеки водньоутримуючої пароповітряної суміші істотно залежить від сценаріїв розгерметизації першого контуру і умов надходження джерел водню в активну зону реактора на початковій стадії важкої аварії на ЧАЕС.

Отримані з використанням даного сценарію дані вказують на першорядну роль водню при руйнуванні активної зони реактора 4-го блоку Чорнобильської АЕС і катастрофічних наслідках цієї події.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Fleicher C.D. Simulation of the Chernobyl Accident. Nuclear Engineering Design, 1988, vol. 105, № 2., p. 157–172.
2. Vanttola T.A., Rojamoki M.N. One-Dimensional Consideration of the Initial Phase of the Chernobyl Accident. Nuclear Technology, 1989, vol. 85, p. 33–47.
3. Kitchener G., Noack C.C. Code History and Nuclide Inventory of the Chernobyl Core at the Time Accident. Nuclear Safety, 1988, vol. 29, № 1, p. 1–5.
4. Sopajima M., Fujishiro T. Examination of the Destructive Forces in the Chernobyl Accident Based on NSRR Experiments. Engineering Design, 1988, vol. 106, № 2, p. 179–190.
5. Baker L., Just L. Studies of metal-water reactions at high temperatures. Experimental and theoretical studies of the zirconium-water reaction. ANL 6548-196.
6. Bostrom W.A. The high temperature oxidation of zirconium in water. WAPD 104. Westinghouse E. Co. 1954.
7. Lemmon A.W. Studies relating to the reaction between zirconium and water at high temperatures BMI-1154, 1957.
8. Breitung W., Royl P. Procedure and tools for deterministic analysis and control of hydrogen behavior in severe accidents. Nuclear Engineering and Design, 2002, vol. 202, 249–268.
9. Hydrogen Combustion Analysis of Dry-Type PWR Plant in Japan ICONE-8412, 2000.
10. Development of Database with Mechanical properties of Un-and Related WWER Cladding. V. Asmolov, L. Yegorova, E. Kapelun. Proc. Twenty-Fifth Water Reactor Safety Inform. Meeting, 1997. NUREG CP-0162-V. 2.

С.И. Азаров, А.В. Тарановский, В.Л. Сидоренко

**Оценка взрывоопасности водорода на ранней стадии развития Чернобыльской аварии**

Разработан сценарий ранней стадии развития аварии с оценкой влияния взрывоопасного водорода на конструкцию реактора РБМК-1000. Показано, что определяющим фактором необходимых условий взрывоопасной водородосодержащей паровоздушной смеси в активной зоне реактора будет являться соотношение скорости локальной генерации газообразного водорода и скорости распространения водорода в парогазовой среде активной зоны реактора.

**Ключевые слова:** взрывоопасность водорода, авария, Чернобыльская АЭС.

S.I. Azarov, O.V. Taranovsky, V.L. Sydorenko

**Evaluation of the hydrogen explosion risk at an early stage of the Chernobyl accident development**

It is developed the script of the accident early stage with assessing the effects of explosive hydrogen on the structure of the LWGR-1000. It is shown that the determining factor of necessary conditions for explosive hydrogen-steam mixture in the reactor core will be the ratio of the rate of local hydrogen gas generation and the hydrogen propagation velocity in the vapor-gas medium of the reactor core.

**Keywords:** hydrogen explosion hazard, accident, the Chernobyl NPP.

Г.Н. Алышанов, ад'юнкт, НУГЗУ

## АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ МЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЯНОГО ПЯТНА ПРИ АВАРИИ ТАНКЕРА НА МОРСКОЙ АКВАТОРИИ

(представлено д-ром техн. наук Тарасенко А.А.)

Проведен обзор существующих математических моделей динамики метрических параметров нефтяного разлива на морской акватории. Показано, что данные модели не рассматривают влияние антропогенного фактора и не учитывают воздействие сил и средств, осуществляющих локализацию и ликвидацию разлива.

**Ключевые слова:** разливы нефтепродуктов, математические модели, ликвидация, боны.

**Постановка проблемы.** Нефть и нефтепродукты являются одним из наиболее массовых и токсичных видов загрязняющих веществ на морской акватории. Масштабы загрязнения Каспийского моря в последние десятилетия значительно увеличились в связи с интенсификацией нефтедобычи.

Локализация разлива является важнейшим элементом в операциях по его ликвидации. Локализация нефтяного пятна (НП) может быть осуществлена тем эффективней, чем более точным прогнозом динамики метрических характеристик пятна будут обладать силы ликвидации аварийного разлива нефти (ЛАРН).

В связи с этим прогнозирование динамики нефтяного пятна на море является актуальной задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В виду важности и актуальности проблематики снижения вреда от нефтяных разливов в литературе широко представлены монографии и обзоры (см., например, [1-4] и ссылки к ним), описывающие динамику нефтяных пятен, как на феноменологическом уровне, так и рассматривающие математические модели свободной динамики разлива.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является анализ возможностей существующих моделей динамики метрических параметров нефтяного пятна.

Под метрическими характеристиками следует понимать площадь разлива, периметр пятна, периметр выпуклой оболочки НП [5]. Очевидно, что данные параметры могут быть продуктом более общего прогноза динамики местоположения и формы пятна – т.е. геометрической информации.

Процессы, происходящие с НП на поверхности моря, могут быть сведены к следующим [1]:

– распространение относительно источника, обусловленное силами тяжести и физическими свойствами самой нефти (плотность, вязкость, коэффициент диффузии и др.).

вязкость, силы поверхностного натяжения).

Данные процессы определяют необходимый объем привлекаемых сил и средств ЛАРН;

– перемещение пленок нефти на поверхности акватории под действием гидрометеорологических факторов - ветра, волнения, течений.

Эти процессы важны для направления сил и средств в необходимый район.

Для семидесятых и восьмидесятых годов характерно использование упрощенных (и менее точных) эмпирических моделей, описывающих эволюцию нефтяного разлива. Среди данных моделей следует отметить [6-8]. Предметом моделирования является в первую очередь динамика площади разлива в предположении его круговой формы. Очевидно, что такое модельное допущение является очень сильным, а его реализация маловероятным, поскольку предполагает развитие разлива в условиях полной однородности векторных полей скорости приповерхностных ветров, течений и волнового воздействия.

В работе [1] приведена модель [6] для динамики радиуса НП

$$R(t) = \left[ R_0^3 + \left( \frac{3R_0 K t V \rho_0}{\pi \rho_w} \right) (\rho_w - \rho_0) \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где  $K$  – константа Блоккера ( $K=216$ );  $\rho_0$  – плотность нефтепродукта ( $\text{г/см}^3$ );  $\rho_w$  – плотность воды ( $\text{г/см}^3$ );  $t$  – время (с);  $R_0$  – начальный радиус пятна (см);  $V$  – объем ( $\text{см}^3$ ).

В соответствии с моделью Фэя [7], радиус пятна нефти, распространяющейся по поверхности воды, изменяется в зависимости от фазы.

В первой фазе распространение идет под действием сил тяжести и инерции:

$$R = K_i (\Delta g V t^2)^{\frac{1}{4}}. \quad (2)$$

Во второй фазе – под действием сил тяжести, инерции и сил вязкости нефти:

$$R = K_v \left( \frac{\Delta g V^2 t^{\frac{2}{3}}}{v_w^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{1}{6}}. \quad (3)$$

В третьей фазе распространение идет под действием сил поверхностного натяжения

$$R = K_t \left( \frac{\sigma^2 t^3}{\rho_w^2 v_w} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (4)$$

где  $t$  – время (с);  $\Delta = \frac{\rho_w - \rho_0}{\rho_w}$  – относительная плотность воды;  $\rho_0$  – плотность нефти, нефтепродуктов ( $\text{т/м}^3$ );  $\sigma = \sigma_w - \sigma_0 - \sigma_{0w}$  – суммарное

поверхностное натяжение (н/м);  $\sigma_w$  – поверхностное натяжение на границе вода-воздух;  $\sigma_0$  – воздух-нефть;  $\sigma_{0w}$  – вода-нефть;  $g$  – ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>);  $\nu_w$  – кинематический коэффициент вязкости воды (10<sup>-4</sup> м/с);  $V$  – объем разлитой нефти (м<sup>3</sup>); значения констант, определенных экспериментальным путем  $K_t = 1,14$ ;  $K_v = 1,45$ ;  $K_t = 2,30$ .

Каждая фаза длится определенное время, которое зависит от объема разлитой нефти.

Также ФЭем была предложена [7] формула максимальной площади, которую может занять распространяющееся нефтяное пятно:

$$S_{\max} = 4 \times 10^6 V_0^{\frac{4}{3}} \text{ (м}^2\text{)}, \quad (5)$$

где  $V_0$  – начальный объем вылитой нефти (м<sup>3</sup>).

Автор [1] отмечает, что эта формула может служить лишь для приблизительной оценки площади пятна, поскольку в ней не учитываются характеристики нефтепродуктов. Несмотря на это, в настоящее время модель ФЭя имеет весьма широкое применение благодаря простоте и тому, что она, учитывая физику явления, дает удовлетворительное совпадение с результатами экспериментов.

Следующим этапом является создание эмпирических моделей, описывающих влияние метеорологических факторов на дрейф пятна.

Данные модели также могут допускать различную степень упрощения. При предположении об однородности векторных полей скорости приповерхностных ветров и течений результатом моделирования является дрейфующее круговое пятно (с изменяющимся размером) [8].

В работе [9] на основании использования результатов трех экспериментов предлагается модифицированная эмпирическая формула ФЭя для определения площади разлива с учетом действия ветра:

$$S = 2,27 \left[ \frac{(\rho_w - \rho_0)}{\rho_0} \right]^{\frac{2}{3}} V^{\frac{2}{3}} t^{\frac{1}{2}} + 0,04 \left[ \left( \frac{\rho_w - \rho_0}{\rho_0} \right) \right]^{\frac{1}{3}} V^{\frac{1}{3}} W_{10}^{\frac{3}{4}} \cdot t, \quad (6)$$

где  $W_{10}$  – скорость ветра.

Основным преимуществом приведенных моделей является их простота, а недостатком – предположение о круговой форме пятна.

Также очевидно, что данное положение может быть реализовано лишь для малых разливов (порядка единиц литров).

Малое влияние сил поверхностного натяжения приводит к существенной зависимости динамики формы пятна от его начальной формы (т.е. в первое время после выброса). Последняя же формируется под влиянием случайных факторов – флуктуаций интенсивности выброса, волнового воздействия, турбулентности приповерхностных водных и воздушных течений.

С развитием моделирования в области описания синоптической обстановки, с созданием электронных карт дна, берега, воздушных и вод-

ных течений, ростом вычислительных мощностей и дальнейшим развитием инструментария географических информационных систем, а также развитием систем дистанционного зондирования [9], позволяющих осуществлять детектирование и мониторинг загрязнений акватории моря, появилась возможность получения более точных прогнозов метрических характеристик НП, включая получение прогноза динамики формы пятна.

Созданные на основе данных моделей программные ГИС-комплексы [10,11] позволяют прогнозировать динамику свободного развития пятна, т.е. под действием природных географических (широта, рельеф дна, конфигурация береговой линии), метеорологических (приводной ветер, степень волнения) и гидрологических (приповерхностные, нагонные и приливные течения) факторов.

Следующим этапом динамики метрических характеристик НП должны является модели взаимодействия пятна и средств ликвидации разлива.

Проведенный обзор продемонстрировал отсутствие математических моделей метрических характеристик НП при взаимодействии разлива со средствами локализации, в частности, – с боновыми заграждениями.

Отсутствуют математические модели имеющей место [12,13] динамики линии боновых заграждений с заякоренными концами при суточном изменении скорости и направлении течений. Соответственно, отсутствует возможность учета задерживающей способности данных бонов.

Отсутствуют математические модели конфигурации линии U- или J-образной боновой ловушки в зависимости от скорости ее транспортировки и типа используемых бонов. Соответственно, из моделирования процесса ликвидации аварийного разлива нефти исключен такой важный компонент, как емкость данной ловушки.

Отсутствие данных моделей в совокупности не позволяет оптимизировать процесс ликвидации разливов нефти.

**Выводы.** Проведен обзор существующих моделей метрических характеристик нефтяного пятна. Упрощенные полуэмпирические модели используют допущение о круговой форме разлива. Современные модели, адекватно описывающие форму нефтяного пятна, требуют большого вычислительного ресурса. Среди данных моделей отсутствуют описания взаимодействия нефтяного разлива с боновыми заграждениями. Создание и внедрение таких моделей является ресурсом повышения эффективности ЛАРН на море.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Альхименко А.И. Аварийные разливы нефти в море и борьба с ними / А.И. Альхименко // СПб: ОМ-Пресс, 2004. – 113 с.
2. Карабулин У.С. Методы ликвидации и предупреждения аварийных ситуаций при освоении месторождений углеводородного сырья / У.С. Карабулин // Алматы: Эверо, 2008. – 185 с.
3. Lehr W.J. Review of modeling procedures for oil spill weathering

behavior / W.J. Lehr // HAZMAT Division, 2010. – 40 p.

4. Reed M. Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art / M. Reed // Spill Science & Technology Bulletin, 1999. Vol. 5, No. 1, p. 3-16.

5. Алышанов Г.Н. Модель локализация боновыми загрязнениями разлива нефти на акватории моря / Г.Н. Алышанов, А.А. Тарасенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2013. – Вип. 18. С. 9-16.

6. Blokker P.C. Spreading and evaporation of petroleum products on water. Proc. 4th Int. Harbour Conf, Belgium 1964, pp.911-920.

7. Fay J.A. Physical processes in the spread of oil on a water surface. Proc. Joint Conf. Prevention and Control of Oil Spills. Wash. D.C. – 1971. – v.1, p. 130-138.

8. Гамзаев Х.М. Моделирование растекания нефтяной пленки по поверхности моря / Х.М. Гамзаев // Прикладная механика и техническая физика. – 2009. – Т. 50, №3, с. 127-130.

9. Mackey D, Leinonen P. Rate of evaporation of low solubility contaminants from water body to atmosphere. Env. Sci. Tech. 1988. – pp. 1178-1183.

10. Moghaddam A.A. A 2-D hybrid particle tracking /Eulerian-lagrangian model for oil spill problems / A.A. Moghaddam, A.B Dabir // Indian journal of geo-marine sciences. – 2013. – Vol. 42(1), p. 42-49.

11. Ocean modelling for coastal management – Case studies with MOHID / M. Mateus and R. Neves (eds.) IST Press, 2013. – 276 p.

12. Mazurek J. Oil Spill Models: A State of the Art of the Grid Map as a Function of Wind, Current and Oil Parameters / J. Mazurek, L. Smolarek // The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2013. – Vol. 7, N 1. – p. 19-23.

13. Oil Spill Response in Fast Currents A Field Guide. Report No. CG-D-01-02/ U.S. Coast Guard Research and Development Center. – 2001. – 122 p.

Г.Н. Алишанов

**Аналіз математичних моделей динаміки метричних параметрів нафтової плями при аварії танкера на морській акваторії**

Проведено огляд існуючих математичних моделей динаміки метричних параметрів нафтового розливу на морській акваторії. Показано, що дані моделі не розглядають вплив антропогенного фактору і не враховують дію сил і засобів, що проводять локалізацію і ліквідацію розливу.

**Ключові слова:** розливи нафтопродуктів, математичні моделі, ліквідація, бони.

G.N. Alishanov

**Analysis of mathematical models of the oil spot dynamic metric parameters after tanker accidents in the sea**

A review of existing mathematical models of the oil spot dynamic metric parameters in the sea is given. It is shown that these models do not consider the influence of anthropogenic factors and do not consider the effects of forces and equipment which confine and liquidate the spill.

**Keywords:** oil spills, mathematical models, liquidation, coupons.

*А.Е. Басманов, д.т.н., профессор, гл. научн. сотр., НУГЗУ,  
И.А. Горпинич, нач. УПСЧ, НУГЗУ*

## РАСТЕКАНИЕ ЖИДКОСТИ НА НЕГЛАДКОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АВАРИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Построена математическая модель, описывающая динамику гравитационного растекания жидкости на негладкой горизонтальной поверхности при аварии на железнодорожном транспорте. Для случая растекания на сухом грунте экспериментально определен параметр модели.

**Ключевые слова:** горючая жидкость, растекание, площадь разлива.

**Постановка проблемы.** Разрушение цистерн в результате аварии на железнодорожном транспорте и, как следствие, растекание их содержимого является одной из опасных и сложных для ликвидации чрезвычайной ситуацией. Ситуация усугубляется в случае испарения жидкости, образования и движения взрывоопасного или ядовитого облака. Поэтому оценка площади разлива является одним из необходимых параметров для выработки плана локализации и ликвидации аварии.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [1] построена модель гравитационного растекания жидкости на идеально гладкой горизонтальной поверхности. В то же время, любая реальная поверхность (бетон, асфальт, грунт, щебень) содержит неровности. Это могут быть, например, трещины, углубления, растительность и т.д. Поэтому, растекание жидкости сопровождается заполнением углублений, вызванных этими неровностями, что приводит к меньшему радиусу разлива, чем в случае гладкой поверхности.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является построение математической модели растекания жидкости на негладкой горизонтальной поверхности и экспериментальное определение параметра модели.

Растекание жидкости сопровождается заполнением углублений, вызванных неровностями поверхности. Фактически это означает, что некоторый объем растекающейся жидкости расходуется на заполнение углублений:

$$V_{\text{угл}}(t) = S(t)\delta,$$

где  $V_{\text{угл}}(t)$  – объем жидкости заполнившей углубления к моменту вре-



мени  $t$ ;  $S(t)$  – площадь разлива в момент времени  $t$ ;  $\delta$  – средняя глубина неровностей поверхности.

С учетом потерь жидкости на заполнение неровностей, уравнение для радиуса разлива [1] примет вид

$$R'' = \frac{g(V(t) - V_{y2l}(t))}{\pi R^3} - 0,455 \left( \lg \frac{2R|R'|}{\nu} \right)^{-2,58} \frac{|R'|R'}{(V(t) - V_{y2l}(t))} \pi R^2 - \frac{\sqrt{2}\pi c_d c_1^3 R'|R'|R^2}{(V(t) - V_{y2l}(t))} - \frac{2\pi R \sigma}{\rho(V(t) - V_{y2l}(t))}.$$

С учетом зависимости  $V_{y2l} = \pi R^2 \delta$  для жидкости, растекающейся в форме круга, получим

$$R'' = \frac{g(V(t) - \pi R^2 \delta)}{\pi R^3} - 0,455 \left( \lg \frac{2R|R'|}{\nu} \right)^{-2,58} \frac{|R'|R'}{(V(t) - \pi R^2 \delta)} \pi R^2 - \frac{\sqrt{2}\pi c_d c_1^3 R'|R'|R^2}{(V(t) - \pi R^2 \delta)} - \frac{2\pi R \sigma}{\rho(V(t) - \pi R^2 \delta)}. \quad (1)$$

При этом максимальный радиус  $R_{\max}$  разлива жидкости объема  $V$  будет определяться из соотношения

$$V = \pi R_{\max}^2 \delta + \pi R_{\max}^2 h_{\min}, \quad (2)$$

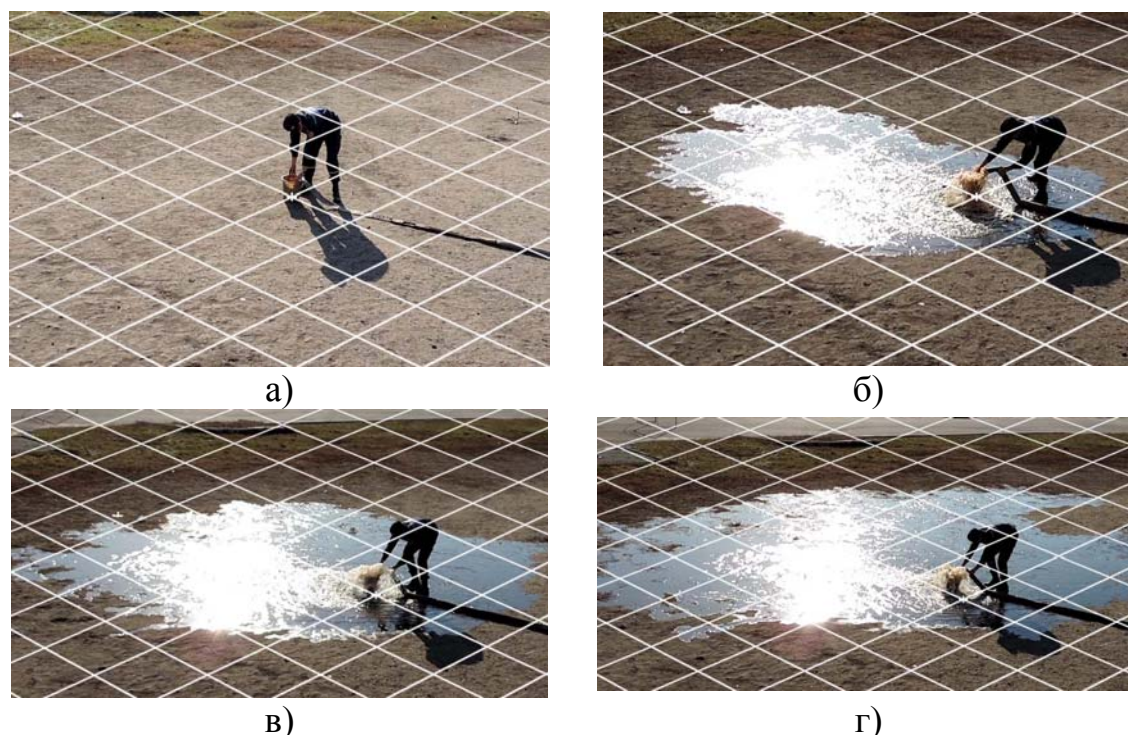
где первое слагаемое в правой части соответствует объему жидкости, заполнившей неровности поверхности, а второе – равновесию силы поверхностного натяжения и силы давления на боковые стенки цилиндра;  $h_{\min}$  – минимальная толщина разлива жидкости на гладкой поверхности [1]. Подставляя зависимость толщины разлива на гладкой поверхности от свойств жидкости в (2), получим максимальный радиус разлива, соответствующий объему  $V$  жидкости:

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{V}{\pi \left( \delta + \sqrt{\frac{2\sigma}{\rho g}} \right)}}. \quad (3)$$

Полученная зависимость позволяет определить среднюю глубину неровности поверхности при известном объеме разлитой жидкости  $V$  и максимальной площади разлива  $S_{\max}$ :

$$\delta = \frac{V}{S_{\max}} - \sqrt{\frac{2\sigma}{\rho g}}. \quad (4)$$

С целью определения средней глубины неровностей поверхности был проведен эксперимент, в ходе которого разливалась жидкость (вода) и определялась покрытая ею площадь. Эксперимент проводился на сухом грунте. Для этого на поверхность предварительно наносились отметки мелом, что позволило затем построить сетку на кадрах, вырезанных из видеозаписи процесса растекания жидкости (рис. 1). Сетка построена с шагом  $\Delta = 1 \text{ м}$ .



**Рис. 1.** Растекание воды на сухом грунте в различные моменты времени: а)  $t = 0$ ; б)  $t = 10 \text{ с}$ ; в)  $t = 40 \text{ с}$ ; г)  $t = 55 \text{ с}$

Вода подавалась через пожарный рукав без насадка, присоединенный как насосу автомобиля АЦ 40(130)63Б. Интенсивность подачи определялась путем измерения времени, необходимого для заполнения емкости, объемом 20 л, и составила  $I = (7 \pm 1) \text{ л/с}$ . Для погашения скорости воды, выходящей под давлением из рукава, и недопущения размыва грунта под рукавом, рукав был опущен в ведро, объемом 10 л (рис. 1). Площадь разлива определялась в ходе анализа кадров видеосъемки путем подсчета квадратов сетки, покрытых разливом. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Изменение радиуса разлива во времени описывается нелинейным дифференциальным уравнением

$$R'' = \frac{g(V(t) - \pi R^2 \delta)}{\pi R^3} - 0,455 \left( \lg \frac{2R|R'|}{\nu} \right)^{-2,58} \frac{|R'|R'}{(V(t) - \pi R^2 \delta)} \pi R^2 - \frac{\sqrt{2} \pi c_a c_1^3 R'|R'|R^2}{(V(t) - \pi R^2 \delta)} - \frac{2\pi R \sigma}{\rho(V(t) - \pi R^2 \delta)}; \quad (5)$$

Табл. 1. Результати експеримента по растеканию воды на сухом грунте

Номер наблюдения, $i$	Момент времени, $t_i$ , с	Площадь разлива, $S$ , $m^2$
1	0	0
2	5	3
3	10	5
4	20	8
5	30	12
6	40	15
7	50	19
8	60	23
9	70	26
10	80	28
11	90	31
12	100	32
13	110	33
14	120	38
15	130	41
16	140	45
17	150	49

$$V(t) = \pi R_0^2 \delta + \pi R_0^2 \sqrt{\frac{2\sigma}{\rho g}} + It; \quad (6)$$

с начальным условием  $R(0) = R_0$ , где  $R_0 = 0,1$  м;  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\sigma = 0,073$  Н/м;  $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с [2];  $\delta$  – неизвестный параметр. Значение параметра  $\delta$  подбиралось методом наименьших квадратов

$$\sum_{i=2}^{17} (S(t_i) - \tilde{S}_i)^2 \rightarrow \min_{\delta}, \quad (7)$$

где  $S(t_i) = \pi R^2(t_i)$ ;  $R(t_i)$  – значение радиуса разлива в момент времени  $t_i$ , полученное путем решения уравнений (5)-(6),  $\tilde{S}_i$  – экспериментально определенная площадь из табл. 1. Решение задачи (7) в среде Maple дает оценку  $\delta = 0,017$  м.

На рис. 2 приведены расчетные значения площади разлива, полученные из (5)-(6), и экспериментально определенные значения из табл. 1.

Практически линейная зависимость площади разлива от времени свидетельствует о том, что при данном расходе воды она, практически мгновенно растекается по всей площади.

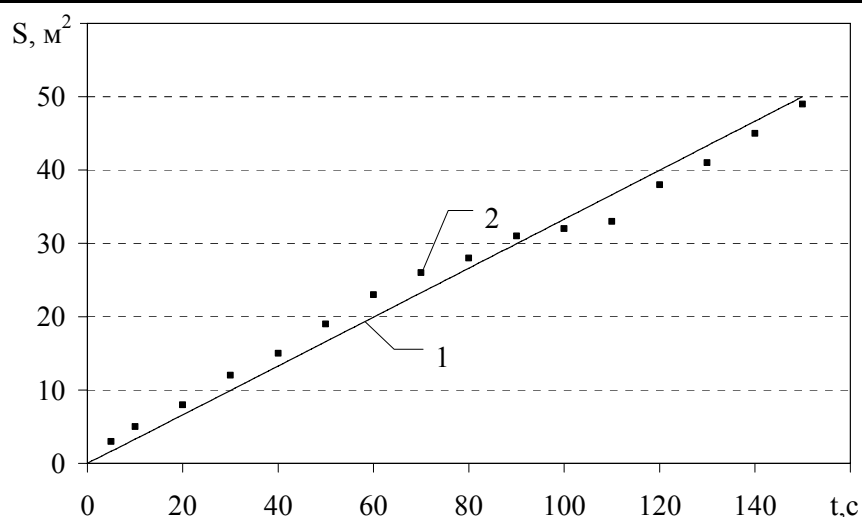


Рис. 2. Изменение площади разлива во времени: 1 – расчет; 2 – эксперимент

**Выводы.** Построена математическая модель гравитационного растекания жидкости на негладкой горизонтальной поверхности. Показано, что зависимость радиуса разлива от времени описывается нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка. Для случая разлива на сухом грунте определен параметр модели – средняя глубина неровностей поверхности, составившая 0,017 м.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горпинич И.А. Моделирование динамики разлива горючей жидкости на горизонтальной поверхности / И.А. Горпинич // Пожарная безопасность. – Харьков: НУГЗУ, 2012. – Вып. 31. – С. 44-47.
2. Луканин В.Н. Теплотехника / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др. – М.: Высш. шк., – 2002. – 671 с.

О.Є. Басманов, І.А. Горпинич

### Розтікання рідини на негладкій поверхні при аварії на залізничному транспорті

Побудовано математичну модель, що описує динаміку гравітаційного розтікання рідини на негладкій поверхні при аварії на залізничному транспорті. Для випадку розтікання на сухому ґрунті експериментально визначено параметр моделі

**Ключові слова:** горюча рідина, розтікання, площа розливу.

O.E. Basmanov, I.A. Horpynych

### Spreading of liquid on non-smooth surface after train accident

Mathematical model of liquids spill dynamics on horizontal non-smooth surface after train accident is constructed. Parameter of mode is experimentally determined for spreading on dry ground.

**Keywords:** flammable liquids, spill, square of spill.

*В.Ю. Беляев, преподаватель, НУГЗУ,  
А.М. Яковлев, к.т.н., доцент, преподаватель, НУГЗУ*

## **НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ЭВАКУАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ В СЛУЧАЕ УГРОЗЫ АВАРИИ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ**

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

Предложена процедура нахождения оптимального маршрута эвакуации населения в случае угрозы поражения опасными химическими веществами (ОХВ). Реализована процедура расчета вероятности токсического поражения при авариях на предприятиях химической и нефтехимической промышленности, с учетом перемещения человека по местности с различным рельефом.

**Ключевые слова:** эвакуация населения, маршруты эвакуации, токсическая доза (далее по тексту – токсодоза), опасные химические вещества.

**Постановка проблемы.** На территории Украины размещены более 1,5 тыс. химически опасных объектов, деятельность которых связана с производством, использованием, хранением и транспортировкой ОХВ, а в зонах их размещения проживает более 22,0 млн. человек.

Наиболее сложной задачей при оценке степени риска промышленных объектов является определение степени риска от воздействия токсического вещества на человека при авариях.

Одним из основных путей уменьшения человеческих потерь в случае выброса ОХВ является эвакуация населения из зон возможного воздействия поражающих факторов [1,2]. В то же время, масштабность зоны поражения и ее динамический характер приводят к возможности нанесения ущерба здоровью людей непосредственно во время проведения эвакуации.

Одним из факторов, влияющих на эффективность проведения эвакуации, является выбор маршрутов эвакуации (которые являются составной частью плана эвакуации). При этом для быстроразвивающихся техногенных ЧС (в частности химических выбросов) заблаговременное определение пути эвакуации возможно лишь при дополнительных предположениях о метеорологических условиях и об объеме выброса [3]. Альтернативой плану эвакуации может стать оперативный план эвакуации населения, который должен разрабатываться в режиме реального времени на основе текущей информации о ходе развития ЧС. Наличие такого плана способно значительно повысить эффективность процесса эвакуации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Существуют различные методики оценки последствий аварий на химически опасных объектах. На сегодняшний день существует несколько методик, позволяющих оценить токсическое поражение человека при аварии (ОНД-86, ТОКСИ, РД-03-26-2007 и т.д.), представленных в работах [4-6]. Однако данные методики не рассматривают действие ОХВ на человека при движении в зоне аварии, что противоречит реальной действительности.

Анализ литературы показал, что на сегодняшний день отсутствуют исследования поведения человека в аварийных ситуациях на производственных объектах для оценки токсических воздействий, проявляющихся в процессе развития аварий на химических и нефтехимических объектах. Вследствие этого, применяя существующие методики, полученные значения риска поражения человека токсическими веществами, как правило, завышены, а так же не учитываются при выборе пути эвакуации. Поэтому нахождение оптимальных (по критерию минимума токсодозы) маршрутов эвакуации, является на сегодняшний день актуальной задачей.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является отыскание оптимальных (по критерию минимума токсодозы) маршрутов эвакуации населения.

Имеются два основных способа наземной эвакуации – пешая (индивидуальная и организованная в виде пешей колонны) и с помощью автотранспорта. Будем различать собственно эвакуацию, когда эвакуируемые лица перевозятся автосредством в качестве пассажиров, и самоэвакуацию, которую осуществляют пешие эвакуируемые.

В общем случае скорость эвакуации  $V$  зависит от собственной скорости эвакуации  $v_T$ , определяемой способом эвакуации (ТТХ автосредства в случае эвакуации автотранспортом), типа поверхности, по которой осуществляется движение (грунтовые или шоссейные дороги, бездорожье, непроходимые препятствия). При эвакуации автотранспортом необходимо учитывать особенности вдоль маршрута  $L$  эвакуации (извилистость и пропускную способность дороги). И для пешей, и для транспортной эвакуации необходимо учитывать влияние рельефа  $Z(x, y)$  вдоль маршрута  $L$  движения. При пешей эвакуации имеет место снижение скорости движения со временем  $t$ . Кроме того, в случае самоэвакуации имеет место зависимость скорости эвакуации от ингаляционной токсодозы  $C$ . Таким образом, скорость эвакуации

$$V = f(v_T, x, y, L, Z(x, y), t, C). \quad (1)$$

Ингаляционная токсодоза  $C$  в точке  $(x, y, z)$  за время экспозиции  $T$

$$C(x, y, z, T) = \int_0^T q(x, y, z, t) dt, \quad (2)$$

где  $q(x, y, z, t)$  – динамическое поле концентрации ОХВ.

Для реализации процедуры нахождения оптимального маршрута (по критерию минимума токсодозы) необходимо найти величину токсического поражения человека, эвакуирующегося вдоль этого маршрута. Для этого используем методику [7].

Методика определения вероятности токсического поражения представляет собой пошаговый расчет. Так по пути движения человека находим концентрацию токсического вещества. По значениям концентрации вещества вычисляем токсодозу по формуле (2).

После каждого шага находится суммарная токсодоза, определяемая как сумма всех токсодоз, полученных после каждого шага. Токсодоза суммируется, так как можно принять, что вещество обладает свойством кумулятивности, за счет относительно небольшого времени пребывания человека в облаке ОХВ и непрерывного нахождения в нем. Из значений токсодозы вычисляют пробит-функцию, затем находят вероятность поражения. Из численных значений вероятности поражения можно судить о величине токсического поражения. Маршрут эвакуации выбирается из расчета минимальной вероятности поражения эвакуируемых при движении вдоль маршрута.

При моделировании аварийной ситуации заключающейся в разгерметизации трубопровода с разливом окиси этилена ( $C_2H_4O$ ) на участке местности, с последующим образованием паровоздушного облака и распространением этого облака на некоторой территории автором работы [7] произведен расчет токсической дозы полученной персоналом при различных путях эвакуации. Расчет токсической дозы производился при существующих и рекомендуемых путях эвакуации.

В табл. 1 представлены расчеты токсической дозы, получаемой персоналом при двух вариантах эвакуации.

**Табл. 1. Существующий вариант траектории движения человека (траектория 1)**

Пройденное расстояние, м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Токсодоза, гр·сек·м <sup>-3</sup>	14	46	107	154	203	239	267	297	320	340

**Предлагаемый вариант траектории движения человека (траектория 2)**

Пройденное расстояние, м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Токсодоза, гр·сек·м <sup>-3</sup>	14	34	39	46	75	108	113	114	115	115

В случае эвакуации по предлагаемой траектории (траектория 2) человек получает токсической дозы на 66 % меньше, чем в случае эвакуации по существующей траектории (траектории 1).

Картина распространения окиси этилена, полученная при помощи применения программного пакета Fluent, представлена на рис. 1.

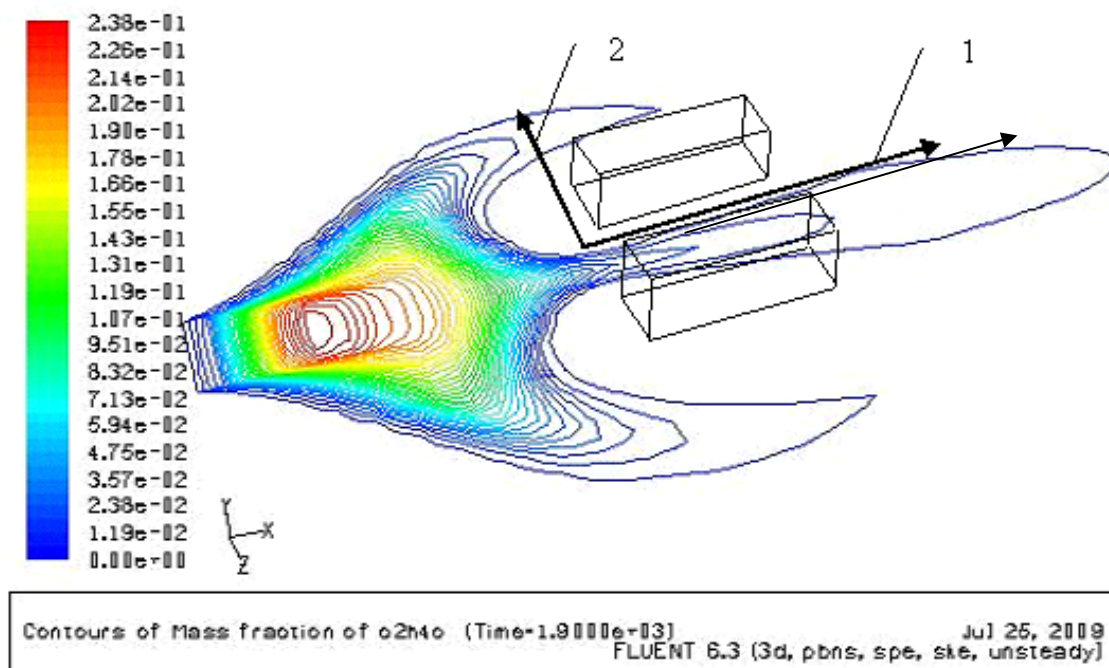


Рис. 1. Схема расположения зданий и распространения облака окиси этилена. 1, 2 – направления эвакуаций персонала

Расчет токсического поражения представлен в табл. 2.

Табл. 2. Существующий вариант траектории движения человека (траектория 1)

Пройденное расстояние, м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Токсодоза, гр·сек·м <sup>-3</sup>	4	15	25	34	42	50	56	60	63	62

Предлагаемый вариант траектории движения человека (траектория 2)

Пройденное расстояние, м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Токсодоза, гр·сек·м <sup>-3</sup>	4	15	18	20	24	26	28	31	32	32

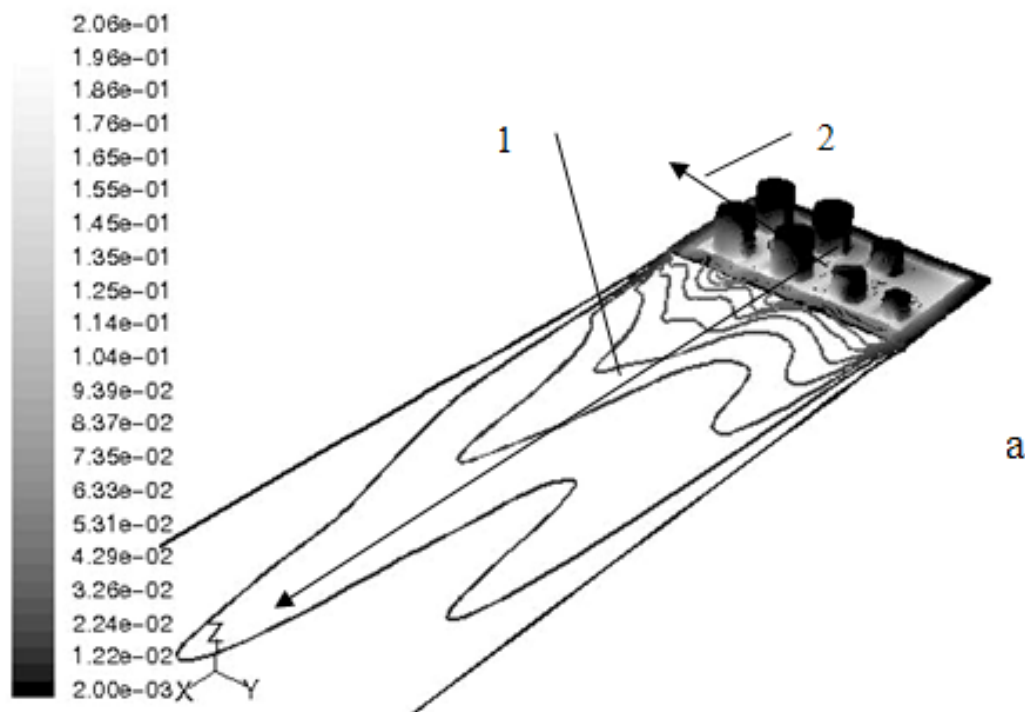
В случае эвакуации по предлагаемой траектории (траектория 2) человек получает токсическую дозу на 50 % меньше, чем в случае эвакуации по существующей траектории (траектория 1).

На рис. 1 показаны траектории движения персонала при эвакуации. 1 – существующая траектория, 2 – предлагаемая траектория



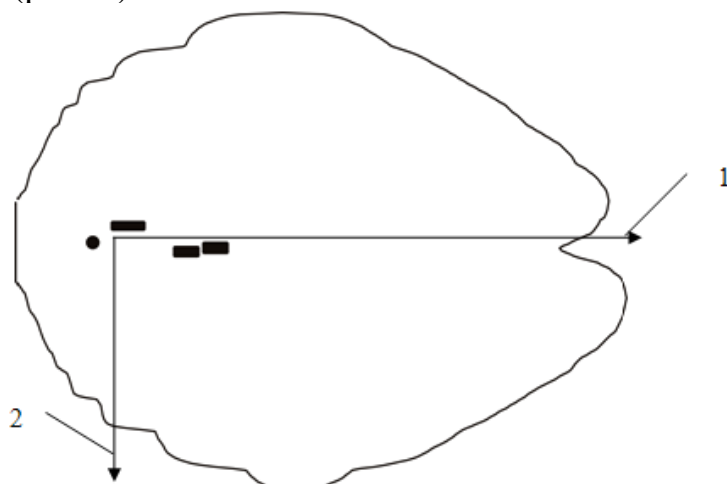
евакуації персонала.

В роботі [7] приведено чисельний аналіз аварії і токсичного поразення персонала в резервуарному парку, входящого в склад ОАО «Татнефтегазпереработка» (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема розташування будівель і розповсюдження хмари бензину. 1, 2 – напрямки евакуації персонала

Також в роботі [7] автором проводився чисельний аналіз аварії на території цеху ОАО «Казанський завод синтетичного каучука». Визначалась токсодоза сероводорода, отримана персоналом в результаті аварійного проливу токсичного речовини при різних варіантах евакуації (рис. 3).



**Рис. 3.** Ізолінії концентрації сероводорода в момент часу  $t=1000$  с. 1, 2 – напрямки евакуації персонала

Расчет токсической дозы, проведенный по аналогии, представлен в табл. 3.

**Табл. 3. Существующий вариант траектории движения человека (траектория 1)**

Пройденное расстояние, м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Токсодоза, гр·сек·м <sup>-3</sup>	6	17	23	36	52	63	74	85	93	95

**Предлагаемый вариант траектории движения человека (траектория 2)**

Пройденное расстояние, м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Токсодоза, гр·сек·м <sup>-3</sup>	6	17	22	28	32	34	35	36	37	38

В случае эвакуации по предлагаемой траектории (траектория 2) вероятность токсического поражения человека составляет 60 %, а в случае эвакуации по существующей траектории (траектории 1) вероятность токсического поражения составляет 100 %. Таким образом, вероятность токсического поражения человека покидающего зону поражения по предлагаемой траектории на 40 % меньше, чем в случае эвакуации по существующей траектории.

Данные, полученные в работе [7], могут быть использованы при нахождении оптимального маршрута эвакуации из зоны действия поражающих факторов ОХВ.

Достоинством предлагаемой процедуры является возможность ее реализации в рамках ГИС (при наличии электронных карт местности), что обеспечивает оперативность нахождения оптимального маршрута эвакуации.

**Выводы.** Анализ литературы продемонстрировал отсутствие исследований, которые позволяют найти оптимальные маршруты эвакуации (по критерию минимума токсодозы, получаемой человеком во время движения). Поэтому проблема является актуальной и требует решения. Предложена процедура нахождения оптимального маршрута эвакуации населения в случае угрозы поражения опасными химическими веществами с возможностью ее реализации в рамках ГИС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Про затвердження Порядку проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру: постанова Кабінету Міністрів України від 30 жовтня 2013 р. № 841 // Офіційний вісник України. – 2013. – № 92, 6 грудня. – С. 23. – (Бібліотека офіційних видань).

2. Україна. Закони. Кодекс цивільного захисту України: закон України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // Відомості Верховної Ради (ВВР) України. – 2013. – № 34-35. – С.458. – (Бібліотека офіційних видань).

3. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Учебное пособие / Под ред. Фалеева М.И. – Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. – 259 с.

4. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). Методическое пособие / [Госкомгидромет]. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 25 с.

5. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси-2.2», утв. НТЦ "Промышленная безопасность", согл. Госгортехнадзором России) в сборнике «Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах»: Сборник документов. Серия 27. – Выпуск 2 / Колл. авт. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. – 208 с.

6. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ (РД-03-26–2007): приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 декабря 2007. – № 859, 2008. – 65 с.

7. Хабибуллин И.И. Определение риска токсического поражения при авариях на химически опасных объектах: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность по отраслям» / И.И. Хабибуллин. – Казань, 2011. – 20 с.

В.Ю. Беляев, О.М. Яковлев

**Знаходження оптимального маршруту евакуації населення у разі загрози аварії на хімічно небезпечних об'єктах**

Запропонована процедура знаходження оптимального маршруту евакуації населення у разі загрози ураження небезпечними хімічними речовинами (ОХВ). Реалізована процедура розрахунку ймовірності токсичного ураження при аваріях на підприємствах хімічної та нафтохімічної промисловості, з урахуванням переміщення людини по місцевості з різним рельєфом.

**Ключові слова:** евакуація населення, маршрути евакуації, токсична доза (далі по тексту - токсодоза), хімічно небезпечні речовини.

V.Yu. Belyaev, A.M. Yakovlev

**Finding the optimal route for the population evacuation in the case of a threat of an accident on chemically dangerous objects**

It is proposed the procedure for finding the optimal route for the evacuation of the population in the case of a threat of destruction of hazardous chemicals (DHC). It is implemented the procedure for calculating the probability of toxic damage in case of accidents at the enterprises of chemical and petrochemical industry, the movement of a person in areas with different terrain.

**Keywords:** evacuation, evacuation routes, toxic dose (hereinafter - toxodeth), chemically hazardous substances.

*П.Ю. Бородич, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
П.А. Ковальов, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,  
І.О. Поляков, к.психол.н., с.н.с., доцент кафедри, НУЦЗУ*

## **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ АВТОМОБІЛЮ ПОЖЕЖНОГО ПЕРШОЇ ДОПОМОГИ УСТАНОВКОЮ ТРИНОГИ НА КОЛОДЯЗЬ ТА СПУСКОМ В НЬОГО**

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

Запропонована імітаційна модель оперативного розгортання особового складу АППД з установкою триноги на колодязь та спуском в нього. Проведено її аналіз та визначено критичний шлях. Надані рекомендації по підвищенню ефективності даного процесу.

**Ключові слова:** мережева модель, критичний шлях, оперативне розгортання, тринога, колодязь.

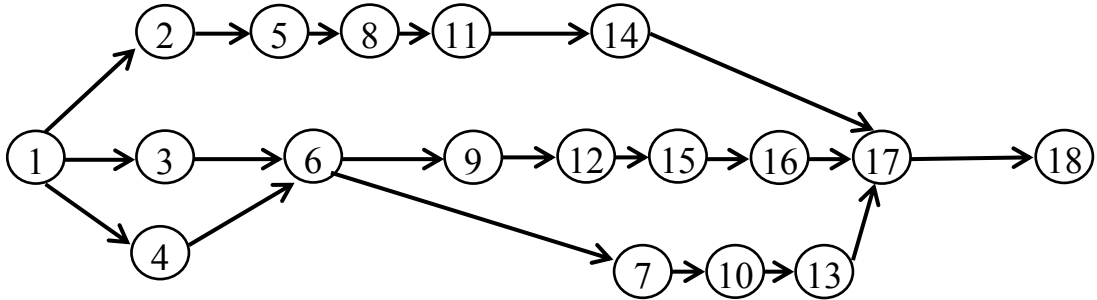
**Постановка проблеми.** Згідно [1], одним із основних завдань сил цивільного захисту є ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій в умовах екстремальних температур, задимленості, загазованості, загрози вибухів, обвалів, зсувів, затоплень, радіоактивного, хімічного забруднення та біологічного зараження, інших небезпечних проявів. Більшість із цих робіт розглянуті в нормативних документах [2,3,4], що регламентують діяльність ДСНС України. Але існують такі роботи, порядок та особливість виконання яких в цих документах не відображено. До таких робіт відноситься оперативне розгортання особового складу автомобіля першої допомоги (АППД) з установкою триноги на колодязь та спуском в нього. Це завдання виконує оперативний розрахунок у складі трьох чоловік [5]: перший номер – спускається в колодязь, другий номер – спускає першого номера, третій номер – страхує першого номера. Для підвищення ефективності виконання даної оперативної роботи необхідно розглянути проміжні роботи та взаємозв'язок між ними. Це можливо зробити з використанням імітаційного моделювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що в [5] наведені заходи безпеки праці у замкнених просторах. Але ці заходи орієнтовані на тих хто виконує планові роботи і не відображають особливості проведення аварійно-рятувальних робіт.

В [6,7] пропонується для моделювання діяльності особового складу газодимозахисної служби при роботі зі спеціальною технікою використовувати мережеві моделі. Однак в цих роботах не розглянуті особливості рятування постраждалих з колодязів, що характеризуються

навичками роботи як з засобами захисту органів дихання, пожежно-технічним оснащенням, так і з висотним обладнанням.

**Постановка завдання та його вирішення.** Виходячи з цього, поставлена задача побудувати імітаційну модель оперативного розгортання особового складу АППД з установкою триноги на колодязь та спуском в нього. Для цього було вирішено використовувати мережеві моделі. Імітаційна модель представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Імітаційна модель оперативного розгортання особового складу АППД з установкою триноги на колодязь та спуском в нього

Початком є команда старшого начальника «В колодязь по тринозі – руш», закінчується модель подією «Спуск рятувальника в колодязь». Всі дії оперативного розгортання наведені в табл. 1.

Умовно дану модель можна розбити на три паралельних шляхи:

- дії першого номера оперативного розрахунку (він в засобі захисту органів дихання та в індивідуальній страхувальній системі спускається в колодязь);
- дії другого номера (він встановлює триногу на колодязь та спускає першого номера);
- дії третього номера (він допомагає першому номеру та страхує його при спуску).

Дослідження оперативного розгортання проводилися під час занять з пожежно-рятувальної підготовки, під час якого були встановлені мінімальні  $t_{\min i}$  та максимальні  $t_{\max i}$  значення часу виконання окремих дій.

Математичне очікування було розраховано

$$\bar{t}_i = \frac{(t_{\max i} + t_{\min i})}{2}. \tag{1}$$

Враховуючи те, що для одновершинних розподілів середньоквадратичне відхилення приблизно дорівнює 1/6 інтервалу, на якому розглядається розподіл [8,9], дана оцінка розраховується як

$$\sigma_i \approx \frac{t_{i \max} - t_{i \min}}{6}. \tag{2}$$

**Табл. 1. Аналіз окремих дій оперативного розгортання особового складу АПІД з установкою триноги на колодязь та спуском в нього**

№ з/п	Операція	Опис операції	$t_{\min i, c}$	$t_{\max i, c}$	$t_{\text{ср } i, c}$	$\sigma_i, c$	$\sigma_{i, c}^2$
1.	1-3	1 номер одягає систему	20	40	30	3,3	10,9
2.	3-6	1 номер одягає ЗІЗОД	20	40	30	3,3	10,9
3.	6-9	1 номер виконує оперативну перевірку ЗІЗОД та включається в нього	30	60	45	5,0	25
4.	9-12	1 номер надягає, налаштовує та включає налобний ліхтар	3	8	5,5	0,8	0,64
5.	12-15	1 номер рухається до колодязя	7	20	13,5	2,2	4,8
6.	15-16	1 номер бере косинку та каску для постраждалого	15	30	22,5	2,5	6,25
7.	16-17	1 номер доповідає про готовність до спуску та питає дозвіл на спуск	1	5	3	0,7	0,49
8.	17-18	1 номер спускається у колодязь 2 номер спускає 1-го номера по лебідці 3 номер слідкує за станом 1-го номера 3 номер страхує 1-го номера	40	80	60	6,7	44,9
9.	1-2	2 номер одягає систему	20	40	30	3,3	10,9
10.	2-5	2 номер знімає триногу з пожежно-рятувального автомобіля	10	20	15	1,7	2,9
11.	5-8	2 номер переносить триногу до місця встановлення	7	20	13,5	2,2	4,8
12.	8-11	2 номер знімає кришку люка	5	15	10	1,7	2,9
13.	11-14	2 номер встановлює триногу на люк	20	60	40	6,7	44,9
14.	14-17	2 номер переключає лебідку на режим спуску	3	10	6,5	1,2	1,4
15.	1-4	3 номер одягає систему	20	40	30	3,3	10,9
16.	4-6	3 номер допомагає 1-му номеру одягти ЗІЗОД			30	3,3	10,9
17.	6-7	3 номер рухається до колодязя з каскою та системою для постраждалого	7	20	13,5	2,2	4,8
18.	7-10	3 номер приєднує страхувальну систему на 1-го номер	30	50	40	3,3	10,9
19.	10-13	3 номер оглядає 1-го номера	5	10	7,5	0,8	0,6
20.	13-17	3 номер дає команду на спуск 1-му номеру	1	5	3	0,7	0,49

Використавши отримані результати, були розраховані [9] основні параметри мережної моделі (табл. 2).

Для визначення критичного шляху імітаційної моделі були розраховані значення математичного очікування (3) та дисперсії (4) критичного шляху.

$$\bar{t}(L_{\text{кр}}) = \sum \bar{t}_{i_{\text{кр}}} = 209,5 \text{ с}, \quad (3)$$

де  $\bar{t}_{i_{\text{кр}}}$  – математичне очікування  $i$ -ї операції критичного шляху, с.

Табл. 2. Параметри мережної моделі оперативного розгортання особового складу АППД з установкою триноги на колодязь та спуском в нього

Операція	$t_i, c$	Ранній час		Пізній час		Резерв часу $R, c$
		$t_{i.p.l.}, c$	$t_{i.p.z.}, c$	$t_{i.p.l.}, c$	$t_{i.p.z.}, c$	
1-3	30	0	30	0	30	0
3-6	30	30	60	30	60	0
6-9	45	60	105	60	105	0
9-12	5,5	105	110,5	105	110,5	0
12-15	13,5	110,5	124	110,5	124	0
15-16	22,5	124	146,5	124	146,5	0
16-17	3	146,5	149,5	146,5	149,5	0
18-19	60	149,5	209,5	149,5	209,5	0
1-2	30	0	30	34,5	64,5	30
2-5	15	30	45	64,5	79,5	15
5-8	13,5	45	58,5	79,5	93	13,5
8-11	10	58,5	68,5	93	103	10
11-14	40	68,5	108,5	103	143	40
14-16	6,5	108,5	115	143	149,5	6,5
1-4	30	0	30	29,5	59,5	30
4-6	30	30	60	59,5	85,5	30
6-7	13,5	60	73,5	85,5	99	13,5
7-10	40	73,5	113,5	99	139	40
10-13	7,5	113,5	121	139	146,5	7,5
13-17	3	121	124	146,5	149,5	3

$$\sigma^2(L_{кр}) = \sum \sigma_i^2 = 92,98c^2, \quad (4)$$

де  $\sigma_i^2$  – дисперсія -ї операції критичного шляху.

Тоді середньоквадратичне відхилення критичного шляху буде дорівнюватися  $\sigma(L_{кр}) = 9,6c$ .

Критичним в імітаційній моделі оперативного розгортання особового складу АППД з установкою триноги на колодязь та спуском в нього буде перший шлях – дії першого номера, тобто на ньому буде найбільша затримка часу. Тому для підвищення ефективності розглянутого оперативного розгортання необхідно по-перше першим номером ставити найбільш підготовленого рятувальника, який досконало вміє працювати з засобами захисту органів дихання та з індивідуальними страхувальними системами; по-друге номеру два та номеру три максимально допомагати першому номеру виконувати його дії.

**Висновки.** Запропонована імітаційна модель оперативного розгортання особового складу АППД з установкою триноги на колодязь та спуском в нього повністю відображає даний процес.

Проведені дослідження критичного шляху дозволили надати рекомендації по підвищенню ефективності оперативного розгортання особового складу АППД з установкою триноги на колодязь та спуском в нього.

*Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка нормативів для оперативного розгортання особового складу АППД з установкою триноги на колодязь та спуском в нього.*

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України: Кодекс. : за станом на 01 липня 2013 р. – К. : Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2013. – 82 с. – (Бібліотека офіційних видань).
2. Настанова з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби МНС України : Наказ МНС України № 1342 від 16 грудня 2011р. : М-во надзв. сит. України, 2011. – 56 с. – (Нормативний документ МНС України. Настанова).
3. Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту : Наказ МНС України № 575 від 13 березня 2012 р. : М-во надзв. сит. України, 2012. – 178 с. – (Нормативний документ МНС України. Статут).
4. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України : Наказ МНС України № 312 від 7 травня 2007 р. : М-во надзв. сит. України, 2007. – 248 с. – (Нормативний документ МНС України. Правила).
5. Типова інструкція з організації безпечного ведення газонебезпечних робіт: НПАОП 0.00-5.11-85. – [Чинний від 1985-12-20]. К. : Держгіртехнагляд СРСР, 1985. – 21 с. – (Національні стандарти України).
6. Ковальов П.А. Моделирование діяльності особового складу газодимозащитной служби при роботі зі спеціальною технікою / П.А. Ковальов, В.Н. Чучковский // Актуальні проблеми філософії, науки і сучасних технологій : Вісник ХДУ. –1997.– X – С. 268-272.
7. Ковалев П.А. Обоснование способов совершенствования деятельности газодимозащитников: дис. канд. техн. наук: 21.06.02 / Ковалев Павел Анатольевич. – Х., 1997. –153 с.
8. Стрелец В.М. Экспертные оценки профессионально важных качеств пожарных / В.М. Стрелец, Д.Ю.Каскевич // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Вып.5. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С.183-185.
9. Экспертные системы: состояние и перспективы: Сб. науч. тр. // АН СССР, Ин-т проблем передачи информации: Отв. ред. Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1989. – 152 с.

П.Ю. Бородич, П.А. Ковалев, І.А. Поляков

**Имитационное моделирование оперативного развертывания личного состава АППП с установкой треноги на колодець и спуском в него**

Предложена имитационная модель оперативного развертывания личного состава АППП с установкой треноги на колодець и спуском в него. Проведен ее анализ и определен критический путь. Даны рекомендации по повышению эффективности данного процесса.

**Ключевые слова:** сетевая модель, критический путь, оперативное развертывание, тренога, колодець.

P.Yu. Borodich, P.A. Kovalov, I.A. Poljakov

**Simulation modeling of the rapid deployment of personnel APPP with the tripod installation on the well and the descent**

It is proposed the simulation model of the rapid deployment of personnel CFFA with the installation of the tripod on the well and the descent into it. It is conducted the analysis and determined the critical path. Recommendations to improve the efficiency of the process are offered.

**Keywords:** network model, critical path, rapid deployment, tripod, well.



*С.А. Горносталь, к.т.н., доцент, преподаватель, НУГЗУ,  
Е.А. Петухова, к.т.н., доцент кафедры, НУГЗУ,  
Ю.В. Уваров, к.т.н., доцент, нач. НМЦ УЗ ГСЧС України*

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ВЫБОРА РЕЖИМА РАБОТЫ АЭРОТЕНКА

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

Проведены исследования влияния параметров подачи воздуха на качество очистки сточных вод. Полученные результаты дают возможность усовершенствовать метод выбора режима работы аэротенка и определить необходимые технологические и конструктивные характеристики для эффективной работы сооружений.

**Ключевые слова:** биологическая очистка, сточные воды, подача воздуха, аэротенк, метод выбора.

**Постановка проблемы.** При сбросе коммунальных и промышленных сточных вод, образующихся в результате технологических процессов производства, переработки продукции и в процессе жизнедеятельности людей, в водные объекты происходит их загрязнение органическими и минеральными веществами. Нарушения, возникающие в режиме работы сооружений очистки, приводят к превышению допустимых концентраций загрязнений и к возникновению чрезвычайных ситуаций, характеризующихся ухудшением условий жизнедеятельности людей.

Традиционные схемы очистных сооружений имеют ряд недостатков, приводящих к неэффективной работе отдельных элементов, следствием чего становится попадание в водные объекты недостаточно очищенных сточных вод. Поэтому важным практическим заданием является разработка мероприятий, направленных на соблюдение норматива предельно допустимого сброса, значение которого все время ужесточается.

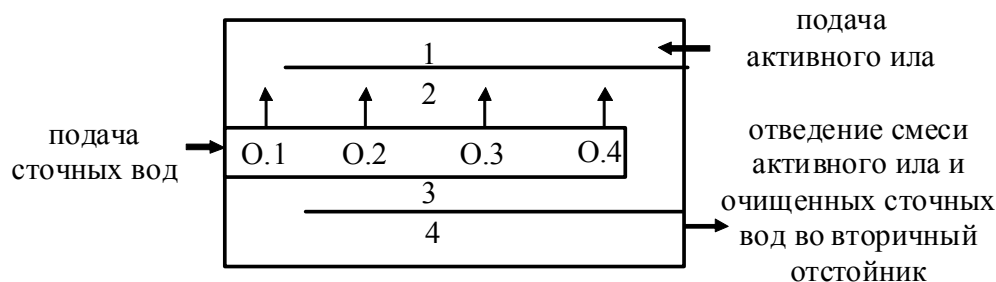
**Анализ последних исследований и публикаций.** Распространение получили такие направления повышения эффективности очистки: управление качеством поступающих сред и системой их подачи [1]. Многими исследователями уделяется внимание повышению эффективности работы сооружений путем рационального распределения сточных вод по длине аэротенка с дальнейшей оптимизацией работы сооружений [2-4].

На сегодняшний момент реализована лишь малая часть возможных решений. В основном они направлены на регулирование отдельных элементов сооружений и, как правило, отличаются неудовлетворительным инженерным исполнением [5]. Таким образом, актуальным остается совершенствование моделей управления технологическим

режимом работы сооружений, которые позволят обеспечить высокое качество очистки сточных вод.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью исследования является усовершенствование предложенного ранее метода выбора режима работы аэротенка путем учета влияния параметров подачи воздуха на эффективность работы аэротенка и всего процесса биологической очистки сточных вод.

После того как проведен предварительный анализ лабораторных результатов на выходе из сооружений и конструктивных особенностей рассматриваемого сооружения, осуществляется выбор технологического режима работы аэротенка. На основании полученных данных принимается решения о необходимости внесения изменений в технологический регламент работы сооружений. В [6] предложен метод выбора режима работы аэротенка, с помощью которого выбирается вариант подачи сточных вод через подающие окна на распределительном канале (рис.1).

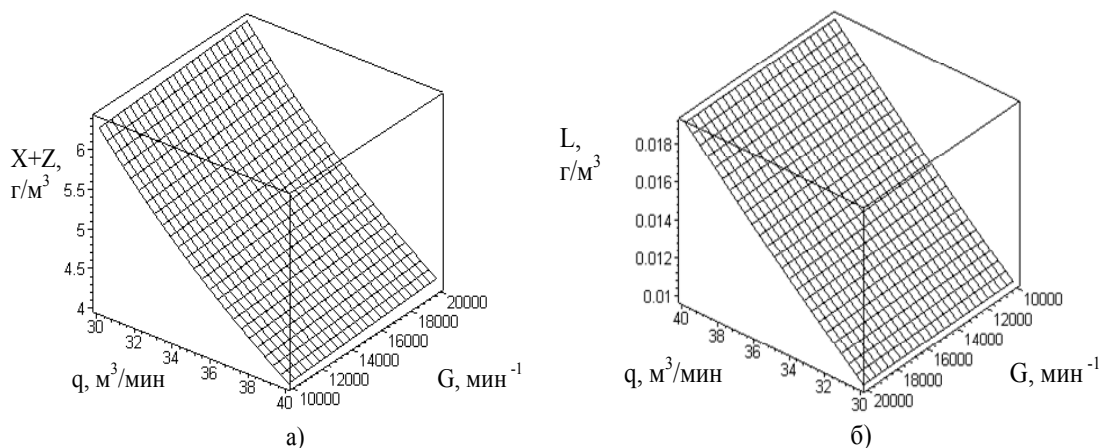


**Рис. 1.** Схема сечения аэротенка: 1 – первый коридор, 2 – второй коридор, 3 – третий коридор, 4 – четвертый коридор аэротенка; О.1, О.2, О.3, О.4 – впускные окна

В данный метод предлагается внести дополнения, которые позволят усовершенствовать его и учесть влияние воздуха на процесс очистки. Для этого, используя разработанную ранее модель [7], были проведены исследования влияния градиента скорости в турбулентном потоке на концентрацию ила и загрязнений на выходе из сооружений очистки. Исходя из того, что интенсивность подачи воздуха в коридорах аэротенка разная, то исследования проводились в несколько этапов.

На первом этапе рассматривалось влияние расхода сточных вод и изменение параметров подачи воздуха на протекание процесса в 1 и 2 коридорах (первая и вторая фаза очистки) (рис. 2). Анализируя результаты, приведенные на рис. 2-а, видим, что максимальные значения концентрации ила на выходе из второго коридора получены при минимальных расходах сточных вод и максимальной интенсивности подачи воздуха.

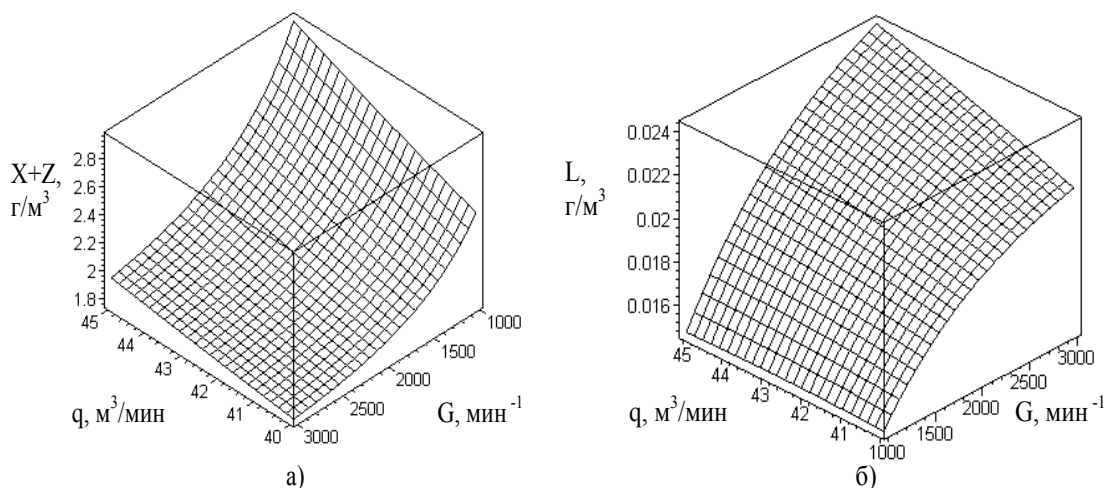
Этим же значениям (рис. 2-б) соответствует и минимальная концентрация загрязнений на выходе из второй фазы очистки.



**Рис. 2. Изменение концентраций в 1-2 коридорах аэротенка в зависимости от расхода сточных вод и градиента скорости в турбулентном потоке (G): а) активного ила (X+Z); б) концентрации загрязнений (L)**

Такой результат хорошо согласуется с теоретическими предпосылками: для достижения высокого качества очистки необходимо обеспечить соответствующую дозу ила и интенсивность перемешивания смеси активного ила и очищаемой воды. Необходимые параметры подачи воздуха могут быть определены и скорректированы в зависимости от качества поступающей воды и ее расхода.

На втором этапе расчеты проводились в 3-4 коридорах аэротенка (фаза 3). Исследовалось влияние параметров подачи воздуха и расхода сточных вод на концентрацию ила и концентрацию загрязнений на выходе из аэротенка (рис. 3).



**Рис. 3. Изменение концентраций в 3-4 коридорах аэротенка в зависимости от расхода сточных вод (q) и градиента скорости в турбулентном потоке (G): а) активного ила (X+Z); б) концентрации загрязнений (L)**

ила на выходе из аэротенка (рис. 3-а) достигается при минимальных значениях градиента скорости в турбулентном потоке и максимальном расходе сточных вод. Чем меньше расход стоков и интенсивнее подача воздуха, тем меньше ила образуется на выходе из сооружения. На качество очистки воздух и режим его подачи оказывает большее влияние (рис. 3-б). Чем меньше расход сточных вод и значение  $G$ , тем меньше концентрация загрязнений на выходе из аэротенка.

Предлагается в алгоритм выбора режима работы аэротенка внести возможность варьирования параметрами подачи воздуха. Регулирование воздуха даст возможность не только обеспечить необходимое качество очистки на выходе из сооружений, но и более экономично использовать электроэнергию, расходуемую на работу нагнетателей воздуха. Такие же исследования предполагается провести для разных вариантов подачи сточных вод через подающие окна на распределительном канале.

**Вывод.** Полученные результаты дают возможность усовершенствовать предложенный ранее метод выбора режима работы аэротенка. Это позволяет учесть влияние подачи воздуха без проведения дополнительных экспериментов и определить необходимые технологические и конструктивные характеристики надежной и эффективной работы системы сооружений очистки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гіроль А.М. Актуальність та методи доочищення стічних вод / А.М. Гіроль // Науковий вісник будівництва. – 2012. – Вип. 68. – С. 261-266.
2. Панкратова С.А. Математическое моделирование и управление качеством сточных вод / С.А. Панкратова, В.М. Емельянов, А.С. Сироткин, М.В. Шулаев // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 6. – С. 76-85.
3. Смирнов Н.В. Математическое моделирование процесса биологической очистки сточных вод / Н.В. Смирнов // Ярославский педагогический вестник. – 2012. – Т.3. – № 3. – С.44-49.
4. Анциферов А.В. Повышение эффективности очистки сточных вод промышленных предприятий на биологических очистных сооружениях / А.В. Анциферов, В.М. Филенков // Журнал «Водоочистка». - № 3. - 2013. - С 29-35.
5. Багдасарова Ю.А. Повышение эффективности очистки сточных вод на НПС биологическим методом / Ю.А. Багдасарова // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – Вып. 2(24). – 2013. – С.21-24.
6. Горносталь С.А. Разработка метода выбора режима работы аэротенка при очистке городских сточных вод / С.А. Горносталь // Нау-

ковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2013. – Вип. 71. – С.379-382.

7. Горносталь С.А. Исследование процесса биологической очистки сточных вод в системе «аэротенк – вторичный отстойник» / С.А. Горносталь // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – Белгород. – 2013. – № 4. – С. 164-167.

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

**Вдосконалення методу вибору режиму роботи аеротенка**

Проведено дослідження впливу параметрів подачі повітря на якість очищення стічних вод. Отримані результати дають можливість удосконалити метод вибору режиму роботи аеротенках та визначити необхідні технологічні та конструктивні характеристики для ефективної роботи споруд.

**Ключові слова:** біологічна очистка, стічні води, подача повітря, аеротенк, метод вибору.

S.A. Gornostal, O.A. Petukhova, Yu.V. Uvarov

**Improvement of the method for selecting the operating mode of the aeration tank**

The influence of parameters of the air supply on the quality of wastewater treatment. The results make it possible to improve the method of mode selection for aeration and identify necessary technological and structural characteristics for efficient operation of buildings.

**Keywords:** biological treatment, waste water, air supply, aeration tanks, the method of choice.

Є.М. Грінченко, к.т.н., доцент, докторант, НУЦЗУ,  
Д.Л. Соколов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
Р.М. Федоренко, заст. нач. НПРЧ, НУЦЗУ,  
В.О. Собина, к.т.н., нач. каф., НУЦЗУ

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЕКТИВНОГО РИЗИКУ ПРИ ВИНИКНЕННІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ ПО ЗБЕРЕЖЕННЮ НАФТОПРОДУКТІВ (представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Запропоновано метод картування території для аналізу і оцінки колективного ризику при виникненні надзвичайної ситуації на резервуарі з нафтопродуктом.

**Ключові слова:** резервуар, колективний ризик, картування, прилегла територія.

**Постановка проблеми.** Формування небезпечних і надзвичайних ситуацій – результат певної сукупності факторів ризику, породжуваних відповідними джерелами.

Стосовно до проблеми безпеки життєдіяльності такою подією може бути погіршення здоров'я або смерть людини, аварія чи катастрофа технічної системи або пристрою, забруднення або руйнування екологічної системи, загибель групи людей або зростання смертності населення, матеріальний збиток від реалізації небезпек або збільшення витрат на безпеку.

Небезпеки і ризики, що виникають в ході життєвого циклу резервуару, визначаються дією чинників, різноманітних за своєю природою. Крім чинників, здатних безпосередньо викликати аварійну ситуацію, існують певні поєднання чинників, нешкідливих окремо і здатних у сукупності спричинити аварійну ситуацію.

Кожна аварійна ситуація може виникнути по відношенню до певної жертви – об'єкту ризику. Співвідношення об'єктів ризику і небажаних подій дозволяє розрізняти індивідуальний, технічний, екологічний, соціальний та економічний ризики. Кожен вид його обумовлюють характерні джерела та фактори ризику, класифікацію і характеристику яких наведено в [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковими дослідженнями з питань визначення рівня ризику при зберіганні нафтопродуктів в резервуарних парках займалися відомі вчені – Акімов В.А. [1, 2], Елохин А.Н. [3], Басманов А.Е. [4], Козлитин А.М. [5], Владимиров В.А. [6]. та ін. Аналіз їх праць свідчить на недостатню увагу питанням, що пов'язані із визначенням ризику виникнення пожеж і інших надзвичайних ситуацій при експлуатації резервуарів, що мають пошкодження стінок від впливу корозії, а також визначенню рівня ризику третіх осіб в околі нафтобази.

**Постановка завдання та його вирішення.** При техніко-економічному обґрунтуванні промислової та екологічної безпеки високо ризикових об'єктів і страхуванні відповідальності потенційно небезпечних підприємств за завдані збитки третім особам необхідно знати величину колективного ризику і характер його розподілу на прилеглий території.

Для особи, що приймає рішення необхідно мати не тільки інформацію про масштаби катастрофічності наслідків можливих аварій на ОПН у вигляді F / N – діаграм і граничних кривих, а й картину розподілу очікуваної кількості уражених у вигляді поля колективного ризику на прилеглий до об'єкта території [5]. Характер поля колективного ризику дозволяє досліднику бачити найбільш небезпечні ділянки території і на цій основі приймати відповідні організаційні, управлінські та інженерні рішення.

Метою роботи є розробка методу картування колективного ризику, що визначає розподіл очікуваної кількості уражених людей по території в межах кола ймовірного ураження та може бути реалізований для джерела будь-якого типу небезпеки – токсичного, фугасного або теплового ураження.

В основу методу покладено залежність

$$R_K = \sum_{i,j} R(x_i, y_j) \cdot P(N, x_i, y_j) \cdot N(x_i, y_j), \quad (1)$$

де  $R(x_i, y_j)$  – ймовірність реалізації вражаючого чинника, яка характеризується розподілом потенційного ризику;  $P(N, x_i, y_j)$  – ймовірність знаходження людей в даних квадратах;  $N(x_i, y_j)$  – група людей, що знаходяться іj-квадраті.

Залежність (1) функціонально зв'язує ймовірність реалізації вражаючого фактора за інтервал часу  $\Delta t$ , як правило, за рік, в розглянутих елементарних майданчиках території і збиток, нанесений даними вражаючим чинником в межах кожного з розглянутих майданчиків. Ймовірність реалізації вражаючого чинника  $R(x_i, y_j)$  характеризується розподілом потенційного ризику.

Для визначення величини  $R(x_i, y_j)$  при виникненні надзвичайних ситуацій скористаємося формулами, що використовують координатний закон фугасного ураження людини [7], що дозволяє встановити функціональний зв'язок відстані  $\Gamma$  від джерела небезпеки до розглянутого елементарного майданчику території з ij-координатами і випадкової величини надлишкового тиску  $\Delta P_\phi$  в межах цього майданчика:

$$F(\Gamma) = \begin{cases} 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\Delta P_{\max}}{\eta} \right)^\xi \right] & \text{при } 0 < \Gamma \leq r_{\text{обл}} \\ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\Delta P(\Gamma) - \Delta P_{\text{нор}}}{\eta} \right)^\xi \right] & r_{\text{обл}} < \Gamma \leq \Gamma(\Delta P_{\text{нор}}) \end{cases}, \quad (2)$$

де  $\Delta P_{\max}$  – максимальний надлишковий тиск на фронті хвилі;  $r_{\text{обл}}$  – радіус хмари ГПВС,  $\eta=71,72$  кПа,  $\xi=3.23$  [8].

Координатний закон  $P^*(\Gamma)$  теплового ураження людини при згорянні нафтопродуктів в залежності від відстані  $\Gamma$  перебування людини до осередку займання [9]:

$$P^*(\Gamma) = \begin{cases} 1 & \text{при } \Gamma \leq L_p \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}(\Gamma)-5} \exp\left(-\frac{\Gamma^2}{2}\right) d\Gamma & \text{при } \Gamma > L_p \end{cases}, \quad (3)$$

де  $L_p$  – зона дії відкритого полум'я,  $\text{Pr}(\Gamma)$  – пробіт-функція, яка визначається за формулою

$$\text{Pr}(\Gamma) = A + B \cdot \ln[t_0 \cdot (q(\Gamma) - J)^{4/3}], \quad (4)$$

де  $t_0$  – ефективний час експозиції;  $q(\Gamma)$  – інтенсивність теплового випромінювання залежно від відстані;  $J$  – нижній поріг теплового ураження людини;  $A, B$  – параметри пробіт-функції.

В залежності від сценарію розвитку аварії вираховуємо  $R(x_i, y_j)$  в кожному з елементарних майданчиків території з  $ij$ -координатами за допомогою залежностей (2) та (3).

Для реалізації даної моделі мапа прилеглої до об'єкта території розбивається на елементарні майданчики -  $ij$ -квадрати. Точка, розташована в центрі кожного квадрата, має умовні координати  $(x_i, y_j)$ .

Координати розглянутих точок сітки мапи, з  $\delta$ -кратним кроком дискретизації, відповідно дорівнюють  $x_i = \delta \cdot (i + 0,5)$ ,  $y_j = \delta \cdot (j + 0,5)$  і змінюються в діапазоні значень  $i = \overline{0, n}$  і  $j = \overline{0, n}$ , де  $n$  визначається радіусом  $r$  кола ймовірного ураження  $n = 2 \frac{r}{\delta}$ .

Масштаб карти і крок координатної сітки вибираються залежно від необхідної точності розрахунку і розмірів кола ймовірного ураження.

Приклад побудови сітки приведено на рис. 1.

Розподіл населення на прилеглий до об'єкта території не є рівномірним. Селітебні території являють собою сукупність місць масового скупчення людей – житлові масиви, підприємства, організації, установи, навчальні заклади, лікувальні, спортивні та інші комплекси, час перебування в яких змінюється протягом доби. Даний фактор просторово-часової неоднорідності життєдіяльності людини на прилеглий до об'єкта території досить складно формалізувати математично. Один з можливих шляхів вирішення цієї проблеми – побудова матриці  $\|N_{ij}^{P(N,x,y)}\|$  математичного очікування числа людей схильних до ризику вражаючого впливу в розглянутих квадратах території.



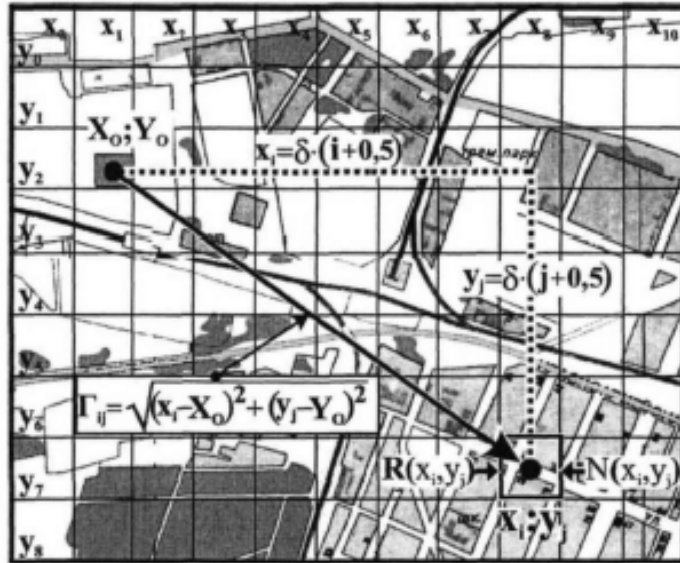


Рис. 1. Мапа території з нанесеною сіткою умовних координат  $\delta$ - крок координатної сітки;  $ij$  - номери квадратів

Для груп людей  $N(x_i, y_j)$ , що знаходяться  $ij$ -квадраті, визначається математичне очікування  $N_{ij}^{P(N,x,y)}$  кількості людей, схильних до ризику вражаючого впливу, і формується  $(n \times n)$  – матриця  $\|N_{ij}^{P(N,x,y)}\|$  розподілу людей по  $ij$  – квадратах території, зважена за ймовірностями  $P(N, x_i, y_j)$  знаходження людей в даних квадратах. Кожен  $ij$  – елемент даної матриці визначається з виразу

$$N_{ij}^{P(N,x,y)} = \sum_{r=0}^{\theta} N_r^Z \cdot P_r^Z(\Delta\tau) + \sum_{q=0}^{\omega} N_q^o \cdot \frac{\Delta S_{qij}^o}{S_q^o} \cdot P_q^o(\Delta\tau) + \rho_k \cdot \Delta S_{ij}^c \cdot P^c(\Delta\tau), \quad (5)$$

де  $N_{ij}^{P(N,x,y)}$  – математичне очікування числа людей, розташованих в межах  $ij$  – квадрата території з координатами  $(x_i, y_j)$  і об'єднаних у групи з однаковими умовами ураження і часом перебування в  $r$ -му будинку, на  $q$ -му об'єкті, у житловому масиві;  $N_r^Z$  – кількість людей зосереджених в будівлі  $r$ -го призначення (школа, інститут, лікарня тощо), показаного на мапі відповідним умовним знаком;  $N_q^o$  – кількість людей розподілених по території об'єкта  $q$ -го призначення (завод, підприємство, організація, стадіон і т.п.), що займає на карті певну площу  $S_q^o$ ;  $P_r^Z(\Delta\tau)$ ,  $P_q^o(\Delta\tau)$  і  $P^c(\Delta\tau)$  – імовірності знаходження середньо статистичного індивідуума з розглянутих груп людей з однаковим часом перебування відповідно в  $r$ -му будинку, на  $q$ -му об'єкті та на території житлового масиву;  $\Delta S_{qij}^o$  – доля площі  $q$ -го об'єкта в межах  $ij$  – квадрата території;

$\Delta S_{ij}^c$  – частка площі житлового масиву в межах  $ij$  – квадрата території;  
 $\rho_k$  – щільність людей на заселеній території  $k$ -го району міста;  $\theta, \omega$  – кількість об'єктів відповідного призначення в межах  $ij$  – квадрата території.

При цьому ступінь деталізації інфраструктури міста визначається повнотою і доступністю вихідної інформації, а також масштабом мапи.

Враховуючи той факт, що в основі кількісної оцінки ризику лежить ймовірність виникнення аварії на ПНО за певний період його функціонування, як правило, за рік, величина ймовірності  $P(\Delta\tau)$  розраховується як частка часу  $\Delta\tau$  перебування середньостатистичного індивідуума з розглянутої групи людей у вказаному місці компактного їх розміщення також за рік

$$P(\Delta\tau) = \frac{\Delta w_y \cdot \Delta d_w \cdot \Delta \tau_d}{\tau}, \quad (6)$$

де  $\Delta w_y, \Delta d_w, \Delta \tau_d$  – число відповідно тижнів у році, днів на тиждень і годин на день, коли середньостатистичний індивідуум піддається ризику вражаючого впливу, перебуваючи в зазначеному місці компактного розміщення даної групи людей;  $\tau$  – число годин у році.

Вважаючи, що  $P(\Delta\tau)=1$ , визначаємо максимально можливе число людей  $N(x_i, y_j)$ , які в момент аварії одночасно можуть опинитися в межах розглянутого  $ij$  – квадрата території з координатами  $(x_i, y_j)$  і на цій основі формуємо матрицю  $\|N_{ij}\|$ . З метою формалізації розрахунків розподілу індивідуального ризику на прилеглій до об'єкта території, визначаємо середній показник ймовірності перебування середньостатистичного індивідуума  $P(N, x_i, y_j) = \frac{N_{ij}^{P(N, x_i, y_j)}}{N(x_i, y_j)}$  в межах розглянутого  $ij$ -квадрата території з координатами  $(x_i, y_j)$  і будуємо матрицю  $\|P_{ij}^{N(x, y)}\|$ .

Враховуючи процедуру визначення  $N_{ij}^{P(N, x_i, y_j)}$  і  $P(N, x_i, y_j)$ , можна бачити, що в основу даних величин покладений час перебування середньостатистичного індивідуума з кожної розглянутої групи компактного розміщення людей в межах  $ij$ -квадрата території з координатами  $(x_i, y_j)$ .

**Висновки.** На основі отриманої та відповідним чином обробленої вихідної інформації про населення і прилеглі території розроблено метод картування колективного ризику, що визначає розподіл очікуваної кількості уражених людей по території в межах кола ймовірного ураження та може бути реалізований для джерела будь-якого типу небезпеки – токсичного, фугасного або теплового ураження. Запропонований метод оцінки ризику очікуваних наслідків пожежі на підприємстві по збереженню нафтопродуктів дозволяє окреслити зони суспільної небезпеки від розглянутих типів небезпеки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Акимов В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.И. // М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2001. – 341 с.
2. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск. / Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М. и др.// М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 367 с.
3. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: теория и практика. – 2-ое изд. – М.: Полимедиа, 2002. – 192 с.
4. Абрамов Ю.А. / Оценка риска деформации или взрыва резервуара при пожаре в резервуарном парке Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сб. научных трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2006. – Вып. 32. – С. 90-92.
5. Козлитин А.М. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Саратов: СГТУ, 2002. – 180 с.
6. Владимиров В.А. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. / В.А.Владимиров, Измалков В.И., Измалков Л.В. // Монография. – М.: «Деловой экспресс», 2002. – 184 с.
7. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Вып. 2. М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. – 224 с.
8. Шор Я.Б. Таблицы для анализа и контроля надежности / Я.Б. Шор, Ф.И. Кузьмин // Сов. Радио, 1968. – 70 с.
9. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2000. – 492 с.

Е.Н. Гринченко, Д.Л. Соколов, Р.Н. Федоренко, В.А. Собина

### **Метод определения коллективного риска при возникновении чрезвычайной ситуации на предприятии по хранению нефтепродуктов**

Предложен метод картирования территории для анализа и оценки коллективного риска при возникновении чрезвычайной ситуации на резервуаре с нефтепродуктом.

**Ключевые слова:** резервуар, коллективный риск, картирование, прилегающая территория.

Ye.N. Grinchenko, D.L. Sokolov, R.N. Fedorenko, V.A. Sobina

### **Method for determining the collective risk in emergency at the oil storage plant**

The method of mapping the territory for the analysis and evaluation of collective risk in the case of an emergency on the reservoir with mineral oil.

**Keywords:** petroleum reservoir, collective risk, mapping, adjacent territorial.

*О.В. Єр'омін, ГУ ДСНС України в Донецькій області,  
Н.В. Дейнеко, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ,  
В.М. Стрілець, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ**

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

Показано, що для довгострокового прогнозування рівня професійного ризику для галузі, регіону, країни доцільно користуватись експоненціальними моделями. Визначено, що порушення експоненціального характеру може бути викликано організаційними заходами, які направлені на зменшення показників професійного ризику.

**Ключеві слова:** професійний ризик, експоненціальна залежність, нещасний випадок, прогнозна оцінка.

**Постановка проблеми.** Результати, які наведені в [1], свідчать, що рівень професійного ризику в Україні суттєво перебільшує відповідні показники у провідних країнах світу. Проте розробка конкретних рекомендацій щодо підвищення ефективності діяльності державних органів щодо його зменшення не може бути здійсненою без урахування прогнозних оцінок [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що проблемам прогнозування присвячено значну кількість публікацій. Зокрема проблеми прогнозування досліджували Makridakis S. [2], Hogarth R. [3], Taleb N.N., Goldshtein D.G., Spitznagel M.W [4] тощо. Проте в цих роботах прогнозні оцінки спирались на вже визначені конкретні моделі. В [5] показано, що складовими моніторингу рівня професійного ризику є спостереження оцінка, прогнозування та управління об'єктом за результатами порівняння прогнозних оцінок з поточними. Там же відмічено, що прийняття управлінських рішень повинно відбуватись за відносними показниками. В той же час, існуюча система [6] моніторингу професійного ризику в Україні у якості оцінки для виробки коригуючи управлінських дій використовує абсолютний приріст нещасних випадків відносно попереднього року.

**Постановка завдання та його вирішення.** Все це свідчить про те, що існує необхідність в розробці математичної моделі, яка здатна забезпечити адекватне прогнозування рівня професійного ризику.

У якості показника професійного ризику було обрано ризик виникнення нещасного випадку без смертельних наслідків

$$V_{нев} = \frac{n_{нев}}{N_p}, \tag{1}$$

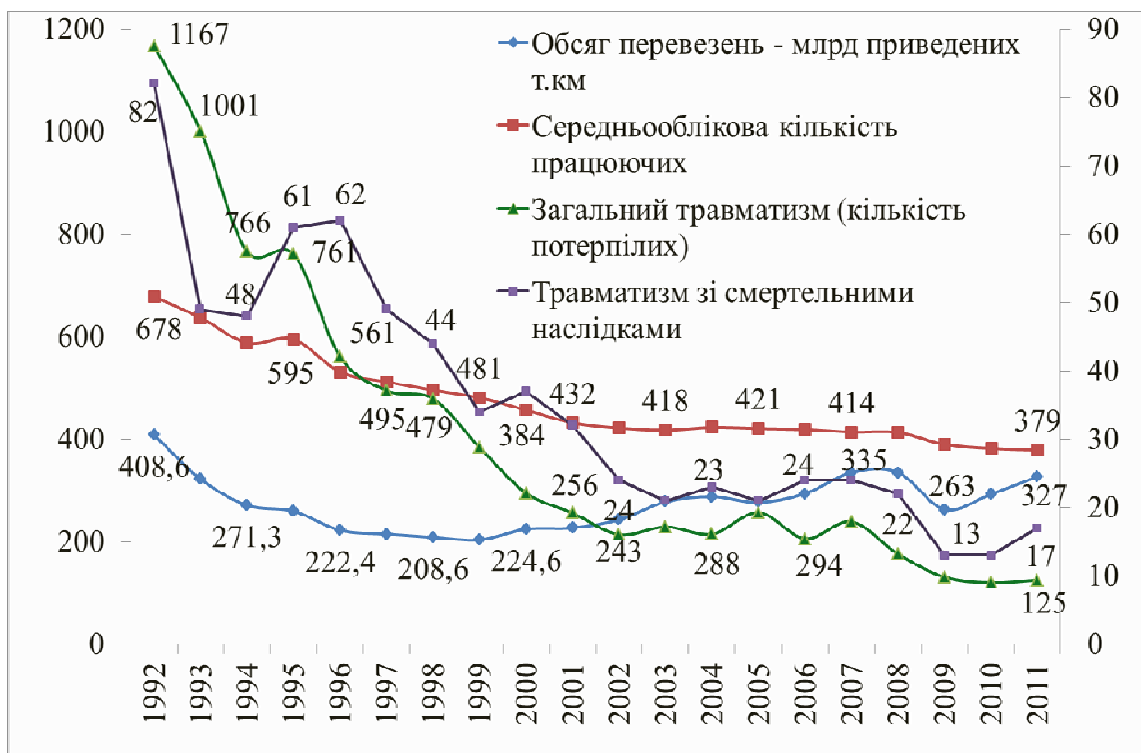
де  $n_{нев}$  – число нещасних випадків на виробництві на рік на об’єкті (в галузі, на території);  $N_p$  – чисельність персоналу, що піддається оцінці ризику за рік, що розглядається та ризик виникнення нещасного випадку зі смертельними наслідками

$$V_{см} = \frac{n_{см}}{N_p}, \tag{2}$$

де  $n_{см}$  – число нещасних випадків із смертельними наслідками на виробництві на рік на об’єкті (в галузі, на території).

Виходячи з [7], де показано, що оцінка рівня професійного ризику для робочих місць, дільниць та підприємств з чисельністю працюючих менше 10000 чоловік може здійснюватись тільки експертними та експертно-статистичними методами, розглядалась можливість розробки статистичних моделей регіонального, галузевого та державного рівня.

Аналіз статистичних даних [8,9] рівня професійного ризику за останні 20-25 років, особливо [9] де вони були наведені стосовно Укрзалізниці у графічному вигляді (див. рис.1), дозволив висунути гіпотезу, що після переходу абсолютних показників до (1) та (2) прогнозні моделі можуть мати лінійний або експоненціальний характер.



**Рис. 1. Стан виробничого травматизму на Укрзалізниці у відношенні до обсягів перевезень**

Відповідні вирази, а також показники  $R^2$  достовірності апроксимації (суми квадратів відхилень), використовуючи метод найменших квадратів, знаходяться в середовищі Excel автоматично і мають наступний вигляд

$$v_{нв} (лін) = 1,3932 \cdot 10^{-3} - 0,0651 \cdot x \quad (R^2 = 0.8545), \quad (3)$$

$$v_{нв} (експ) = 1,5122 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,084 \cdot x} \quad (R^2 = 0.9321), \quad (4)$$

$$v_{см} (лін) = 0,1052 \cdot 10^{-5} - 0,0037 \cdot x \quad (R^2 = 0.8545), \quad (5)$$

$$v_{см} (експ) = 0,111 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-0,055 \cdot x} \quad (R^2 = 0.9321), \quad (6)$$

де  $x = X - 1992$ ;  $X$  – рік, в якому оцінюється показник.

Крім того, враховуючи те, що основним завданням залізниці є перевезення вантажів, аналогічним чином були проаналізовані й такі відносні показники як коефіцієнт частоти виробничого травматизму з урахуванням обсягів перевезень, який показує скільки випадків травматизму за відповідний період (в нашому випадку рік) припадає на один мільярд приведених тонно-кілометрів

$$K_{ч \text{ перевезень}} = \frac{n_{нв}}{Q}, \quad (7)$$

де  $Q$  – обсяг перевезень, мільярд приведених тонно-кілометрів; та коефіцієнт частоти виробничого травматизму із смертельними наслідками з урахуванням обсягів перевезень, який показує скільки випадків травматизму із смертельними наслідками за відповідний період (в нашому випадку рік) припадає на один мільярд приведених тонно-кілометрів

$$K_{ч \text{ перевезень смерт}} = \frac{n_{см}}{Q}. \quad (8)$$

Отримані вирази для (7) і (8) мають, відповідно, наступні вигляди

$$K_{ч \text{ перев}} (лін) = 2,985 - 0,1578x \quad (R^2 = 0.9117), \quad (9)$$

$$K_{ч \text{ перев}} (експ) = 3,6519 \cdot e^{-0,1194 \cdot x} \quad (R^2 = 0,9608), \quad (10)$$

$$K_{ч \text{ см перев}} (лін) = 0,1935 - 0,0124x \quad (R^2 = 0.8517), \quad (11)$$

$$K_{ч \text{ см перев}} (\text{експ}) = 0,2077 \cdot e^{-0,114 \cdot x} \quad (R^2 = 0,9261). \quad (12)$$

Аналіз рівнянь (3)-(6), (9)-(12) показує, що в більшості випадків достовірність апроксимації є кращою в рівняннях, в яких теоретичний розподіл описується за допомогою лінійних рівнянь.

Проте, їх застосування для довгострокового прогнозування призведе до того, що ситуацію, наприклад, коли зовсім не буде виробничого травматизму, можна очікувати, виходячи з (3) через

$$x = \frac{1,332}{0,0651} \approx 21,4 \text{ роки}, \quad (13)$$

а коли не буде виробничого травматизму із смертельними наслідками, виходячи з (7), через

$$x = \frac{0,0859}{0,0037} \approx 23,2 \text{ роки} \quad (14)$$

чого не може бути в принципі.

Для перевірки гіпотези щодо експоненціального розподілу показників професійного ризику було співставлено близькість отриманих емпіричних розподілів з передбачуваним теоретичним за допомогою критерію Романовського [10]

$$R = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2 \cdot k}}, \quad (15)$$

де  $k = n - 2 = 20 - 2 = 18$  – число ступенів свободи;

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(m_k - f_k)^2}{f_k} \text{ – критерій Пірсона.} \quad (16)$$

Результати розрахунків для ризику виникнення нещасного випадку без смертельних наслідків (модель (4)) наведені в табл. 1.

Оскільки величина критерію Романовського за модулем менше 3, то розходження між теоретичними та емпіричними розподілами несуттєве. Аналогічні результати були отримані й для моделей (6), (10) та (12). Тобто, експоненціальний закон може служити моделлю емпіричних даних з рівнем значимості  $\alpha = 0,05$  і його можна використовувати у якості моделі довгострокового прогнозу.

Використовуючи дані щодо нещасних випадків в Україні як в цілому, так і зі смертельними наслідками на виробництві, за 1990-

2012 роки, були отримані експоненціальні моделі, які можна використовувати для довгострокового прогнозу професійного ризику в Україні

$$v_{нв} (\text{Україна}) = 6,81 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,094 \cdot x}; \quad (17)$$

$$v_{см} (\text{Україна}) = 0,133 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,033 \cdot x}, \quad (18)$$

де  $x = X - 1990$ ;  $X$  – рік, в якому оцінюється показник.

**Табл. 1. Результати розрахунку критерію Романовського для експоненціальної моделі ризику виникнення нещасного випадку без смертельних наслідків**

Рік	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
$v_{нв}$	1,7212	1,5714	1,3010	1,2789	1	0,9667	0,9657
$v_{см}$	1,5122	1,3903	1,2783	1,1753	1,0806	0,9935	0,9135
$\frac{(m_k - f_k)^2}{f_k}$	0,0288	0,0235	0,0004	0,0091	0,0060	0,000722	0,002981
Рік	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
$v_{нв}$	7	8	9	10	11	12	13
	0,7983	0,6455	0,5925	0,5071	0,5478	0,508274	0,610451
$\frac{(m_k - f_k)^2}{f_k}$	0,8399	0,7722	0,7100	0,6528	0,6002	0,551875	0,507411
Рік	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
$v_{нв}$	1,7212	1,5714	1,3010	1,2789	1	0,966797	0,965726
$v_{см}$	1,5122	1,3903	1,2783	1,1753	1,0806	0,993586	0,913534
$\frac{(m_k - f_k)^2}{f_k}$	0,0288	0,0235	0,0004	0,0091	0,0060	0,000722	0,0029818
Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
$v_{нв}$	14	15	16	17	18	19	
$v_{см}$	0,4916	0,5772	0,4261	0,3358	0,3141	0,329815	
$\frac{(m_k - f_k)^2}{f_k}$	0,4665	0,4289	0,3943	0,3626	0,3333	0,306532	
$\chi^2$							<b>0,071741</b>
$k$							18
$R$							<b>-2,9607</b>



Отримані результати, які в узагальненому вигляді наведені на рис. 2 та 3, були перевірені за критерієм Романовського (15).

Перевірка (17) показала, що він не задовольняє критерію Романовського (оскільки останній був більшим по модулю за три) експоненціальний тренд, який описує ризик виникнення нещасного випадку без смертельних наслідків в Україні.

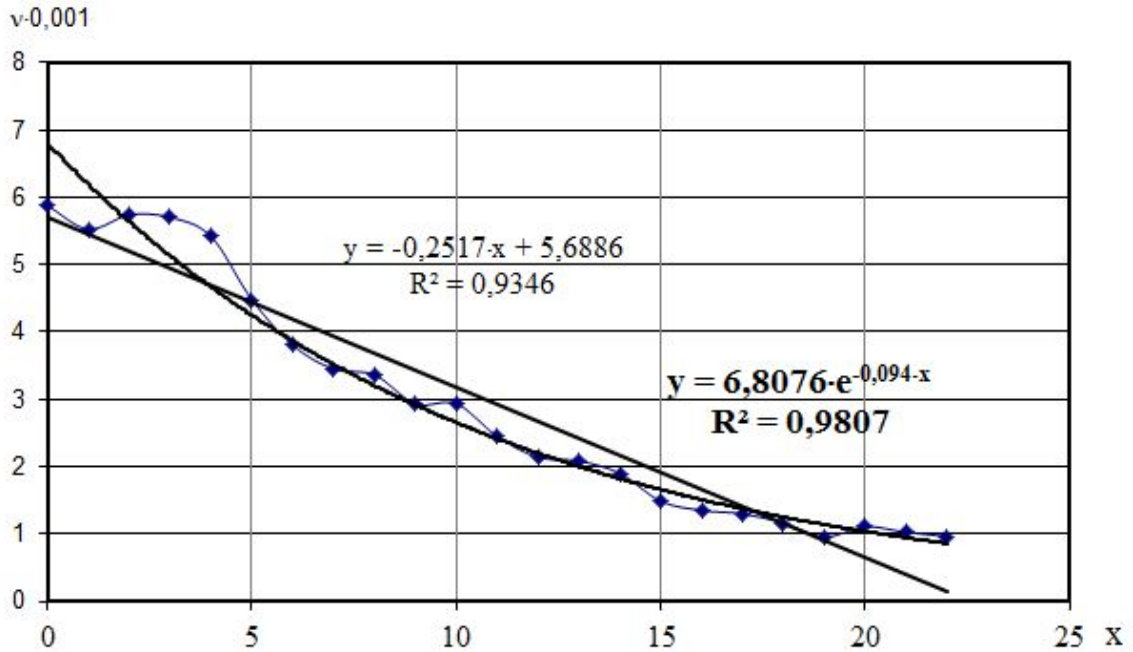


Рис. 2. Зміна показника професійного ризику в Україні без смертельних наслідків за 1990-2012 роки

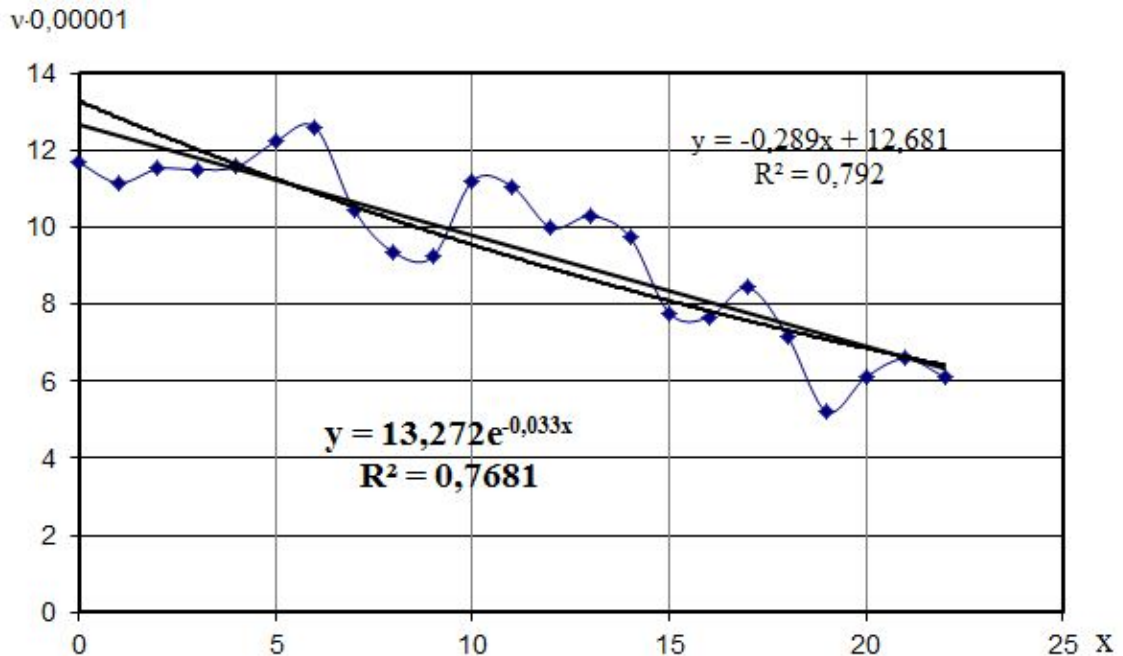


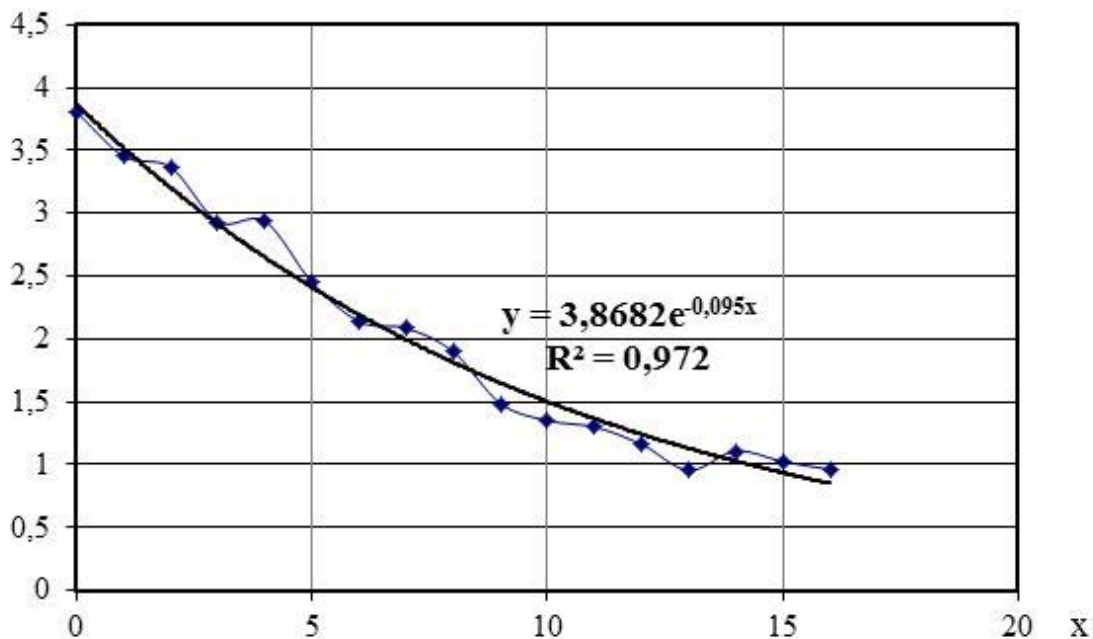
Рис. 3. Зміна показника професійного ризику в Україні зі смертельними наслідками за 1990-2012 роки

Аналіз вихідних даних показів, що це може бути наслідком тих перемін, які відбувались в Україні на початку 90-х років у зв'язку з прийняттям Закону «Про Охорону Праці». У зв'язку з цим були перераховані параметри експоненціального розподілу для вихідних даних, починаючи з 1995 року, і отримана (див. рис.4) модель

$$v_{нев} (\text{Україна}) = 3,87 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,095 \cdot x}, \quad (19)$$

де  $x = X - 1995$ ;  $X$  – рік, в якому оцінюється показник.

$v > 0,001$



**Рис. 2. Зміна показника професійного ризику в Україні без смертельних наслідків за 1996-2012 роки**

В моделі (19) наведені параметри експоненціального розподілу, що забезпечують відповідність вимогам за критерієм Романовського.

Аналогічним чином були визначені моделі для Харківської

$$v_{нев} (\text{Харківська обл.}) = 3,84 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,085 \cdot x}, \quad (20)$$

$$v_{см} (\text{Харківська обл.}) = 0,245 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,081 \cdot x}, \quad (21)$$

та Луганської областей

$$v_{нев} (\text{Луганська обл.}) = 16,82 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,085 \cdot x}, \quad (22)$$

$$v_{см} (\text{Луганська обл.}) = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,081 \cdot x}, \quad (23)$$

де  $x = X - 1990$ ;  $X$  – рік, в якому оцінюється показник.

Наявність отриманих моделей дозволяє визначити передбачуваний момент (рік), коли оцінюваний показник професійного ризику досягне визначеного  $v_{\text{визн}}$  керівництвом рівня

$$n_{\text{прогн}} = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{v(0)}{v_{\text{визн}}} . \quad (24)$$

Одночасно, аналіз (24) показує, що параметр експоненціального розподілу  $\lambda$  відображає ефективність заходів, які здійснюються в напрямку зменшення рівня професійного ризику в галузі, регіоні, країні.

Так, наприклад, досягнення прийнятного рівня виробничого травматизму із смертельним наслідком  $v_{\text{визн смерт}} = 10^{-5}$ , якщо діюча система управління охороною праці в країні буде залишатись без змін, можна очікувати через

$$n = \frac{1}{0,0443} \cdot \ln \frac{1,3272 \cdot 10^6}{10^{-5}} \approx 769 \text{ років} . \quad (25)$$

Це ж стосується, наприклад, і Луганської області, де, незважаючи на значно кращий параметр експоненціального розподілу

$$n = \frac{1}{0,081} \cdot \ln \frac{4 \cdot 10^6}{10^{-5}} \approx 358 \text{ років} . \quad (25)$$

Тобто, видно, що існуюча в країні система управління охороною праці, незважаючи на значне зменшення кількості нещасних випадків після 1990 року, вимагає суттєвого покращення.

**Висновки.** Експоненціальна модель адекватно (з рівнем значимості  $\alpha=0,05$ ) відображає довгострокові зміни професійного ризику в часі.

Порушення експоненціального характеру свідчить про наслідки нових організаційних рішень, які вплинули на зменшення/збільшення кількості нещасних випадків в системі, яка розглядається.

Порівняння ефективності функціонування системи управління охороною праці в регіоні, галузі, країні доцільно здійснювати не тільки із застосуванням відносних показників, але й за допомогою аналізу параметра експоненціального розподілу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Информация МОТ и ВОЗ: продолжает расти количество несчастных случаев на производстве и заболеваний, связанных с профессиональной деятельностью [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://un.by/ru/ilo/news/world/02-05-05-03.html>.

2. Makridakis S. Forecasting methods for management / S. Makridakis // New York et al.: John Wiley & Sons. – 1980. – P. 612.
3. Hogarth R.M. Cognitive processes and the assessment of subjective probability distributions / R.M. Hogarth // Journal of American statistical association. – 1975. – № 350. – P. 271–289.
4. Taleb N.N. / N.N. Taleb, D.G. Goldshtein, M.W. Spitznagel // The Six Mistakes Executives Make in Risk Management. Harvard Business Review. – 2009. – № 10. – P. 78–81.
5. Таїрова Т. М. Методологічні засади моніторингу виробничого травматизму. [Електронне видання] Монографія. Т.М. Таїрова. – К.: «Основа». 2014. – 201 с.
6. Про затвердження Положення про службу страхових експертів з охорони праці, профілактики нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань [Текст]: Постанова Фонду соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України від 20.12.2011 № 63 // Офіційний вісник України. – 2012 – 3 лют. – С. 133.
7. Статистичні дані – Фонд соціального страхування від соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.social.org.ua/activity/stat](http://www.social.org.ua/activity/stat).
8. Статистичні дані – Укрзалізниця. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua>.
9. Гусаров В.М. Теория статистики: Учебное пособие для вузов / В.М. Гусаров. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 2001. – 323 с.

А.В. Еремін, Н.В. Дейнеко, В.М. Стрелец

#### **Разработка моделей для долгосрочного прогнозирования уровня профессионального риска**

Показано, что для долгосрочного прогнозирования уровня профессионального риска для отрасли, региона, страны целесообразно пользоваться экспоненциальными моделями. Определено, что нарушение экспоненциального характера может быть вызвано организационными мерами, которые направлены на уменьшение показателей профессионального риска.

**Ключевые слова:** профессиональный риск, экспоненциальная зависимость, несчастный случай, прогнозная оценка.

A.V. Yeremin, N.V. Deyneko, V.M. Strelets

#### **Development of models for long-term prediction of the level of occupational risk**

It is shown that for long-term prediction of the level of occupational risk to the industry, region, country, it is advisable to use exponential models. It is determined that a violation of the exponential nature can be caused by organizational measures, which are aimed at reducing occupational risk indicators.

**Keywords:** occupational risk, the exponential dependence, accident, prognostic evaluation.

*А.В. Загора, к.т.н., доцент, ст. викладач, НУЦЗУ,  
Є.Є. Селєнко, викладач, НУЦЗУ,  
А.Б. Фещенко, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ МІСЦЕВИЗНАЧЕННЯ ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ МОБІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ДСНС ШЛЯХОМ КОМПЛЕКСУВАННЯ КАНАЛІВ**

(представлено д-ром техн. наук Чубом І.А.)

Розглянуто підходи до проблеми підвищення точності підсистеми моніторингу мобільних об'єктів шляхом спільного використання сигналів декількох систем визначення місцезнаходження. Представлені можливі варіанти побудови комплексної системи, точнісні оцінки якості її функціонування.

**Ключові слова:** структура, точність системи місцевизначення, комплексування сигналів, моніторинг мобільних об'єктів.

**Постановка проблеми.** Сучасні дії ДСНС можуть відрізнятися високою динамічністю і маневреністю сил, широким застосуванням різних технічних засобів і технологій. В цих умовах підвищується значення системи управління діяльністю підрозділів, організаційного та технічного забезпечення заходів, що проводяться. Однією з важливих складових даної системи є підсистема моніторингу мобільних об'єктів (ПММО), що забезпечує оперативний збір і відображення інформації про положення і параметри руху відповідних підрозділів [1]. Істотний прогрес у вдосконаленні цих систем пов'язаний з інтенсивним сучасним розвитком глобальних систем супутникової навігації (ГСН) та мобільного зв'язку. Радіонавігаційна система ПММО ДСНС може бути побудована на основі ГСН, локальної або комплексної системи. Оскільки чи не головною характеристикою будь-якої системи навігації є точність визначення місцеположення рухомого об'єкту (РО), представляє інтерес залежність точності місцевизначення від методу (алгоритму) та точностних характеристик вимірювачів, що застосовуються в комплексній системі місцевизначення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розгорнуті в наш час ГСН GPS, ГЛОНАС забезпечують високоточне всепогодне цілодобове визначення положення і параметрів руху об'єктів на всій території України. Наближається термін введення в експлуатацію європейської системи супутникової навігації "Galileo" ("Галілео"), що має потенційно ще більш високі можливості для визначення місцезнаходження. Багато робіт присвячено точностним характеристикам цих систем [3, 4].

У той же час існує широкий спектр завдань координатно-

часового та навігаційного забезпечення підрозділів ДСНС, умов і областей застосування навігаційних технологій, в яких визначення координат місця положення неможливо або є високі ризики їх зриву [1, 2]. Це стосується, насамперед, випадків затінення і поганой видимості космічних апаратів з позиції приймача (приміщень всередині будівель), складної електромагнітної обстановки при наявності радіозавад різного походження. Важливим також залишається питання доступності у віддаленій перспективі сигналів навігаційних космічних апаратів (НКА) існуючих і розроблюваних ГСН для вирішення задач ПММО – всі відомі ГСН розробляються відповідно до національними програмами іноземних держав, управляються відповідними відомствами і надаються споживачам у тимчасове користування на комерційних умовах.

Варіанти побудови локальної системи позиціонування для підрозділів пожежної охорони ДСНС на основі ретрансляторів сигналів ГСН і псевдосупутників розглянуто у роботі [2].

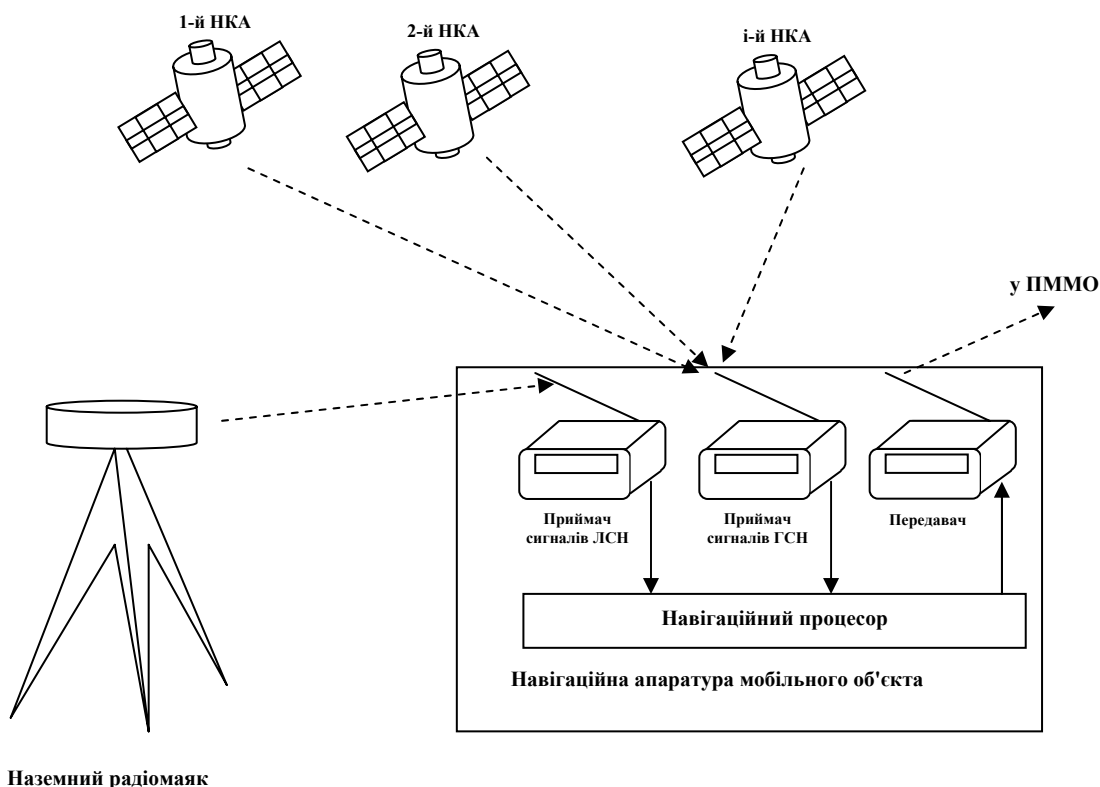
**Постановка завдання та його вирішення.** Особливістю заходів, що проводяться ДСНС, є те, що вони, як правило, носять локальний характер, обмежений територією протяжністю до декількох десятків кілометрів. У локальних територіальних районах для навігаційних визначень крім сигналів ГСН можуть бути також використані сигнали локальних навігаційних систем, що дає можливість підвищення точності визначень підсистеми моніторингу мобільних об'єктів за рахунок комплексного використання глобальних і локальних засобів місцевизначення. У комплексній системі для навігаційних визначень передбачається використання сигналів локальної навігаційної системи (систем) поряд з сигналами ГСН.

Відомо декілька методів вирішення задач навігаційних визначень локального характеру, для яких розроблено ряд класів систем радіонавігації, що вирішують відповідні завдання в межах відносно невеликих територій. Існують повністю автономні засоби радіонавігації по магнітному полю землі, або особливостям земного рельєфу, інерційні системи, що визначають поточні координати об'єкта шляхом розрахунку вектора переміщення по відношенню до вихідного місця розташування об'єкта, та інші. Відносно завдань, що вирішуються підрозділами ДСНС, становить інтерес можливість використання сигналів позиційних РНС малої дальності.

Особливістю цих позиційних систем радіонавігації є використання для позиціонування об'єктів приймачів і передавачів сигналів наземних радіомаяків - спеціальних передавачів сигналів певного виду, що формують поле навігаційних визначень у заданому районі місцевості. Перевагою даних систем є, зокрема, високий рівень їх освоєння і досліджень в процесі практичної експлуатації, відносно висока точність навігаційних визначень у порівнянні з іншими наземними системами навігації, малі масогабаритні характеристики апаратури споживача та

ін. До можливих варіантів наземного елемента системи позиціонування відносяться розроблені раніше зразки систем ближньої навігації, наземні радіомаяки, які розробляються і функціонують за стандартом ГСН (псевдосупутники) [2], а також радіомаяки, які знов розроблено для вирішення певних завдань позиціонування.

Важливою перевагою псевдосупутників є можливість використання як кінцевої апаратури споживача прийомоіндикаторів, виготовлених для роботи з ГСН. Однак недостатня адаптація сигналів ГСН до прийому в закритих приміщеннях може бути тільки частково компенсована підвищенням рівня сигналів при наближенні до району можливого розташування приймальних пристроїв. Системи ближньої навігації, що працюють в більш низькочастотному діапазоні, мають в даному відношенні певну перевагу, однак значно поступаються супутниковим по точності визначення місцезнаходження і низки додаткових функцій.



**Рис. 1. Комплексна система визначення місцезнаходження на основі наземних систем навігації радіомаячного типу**

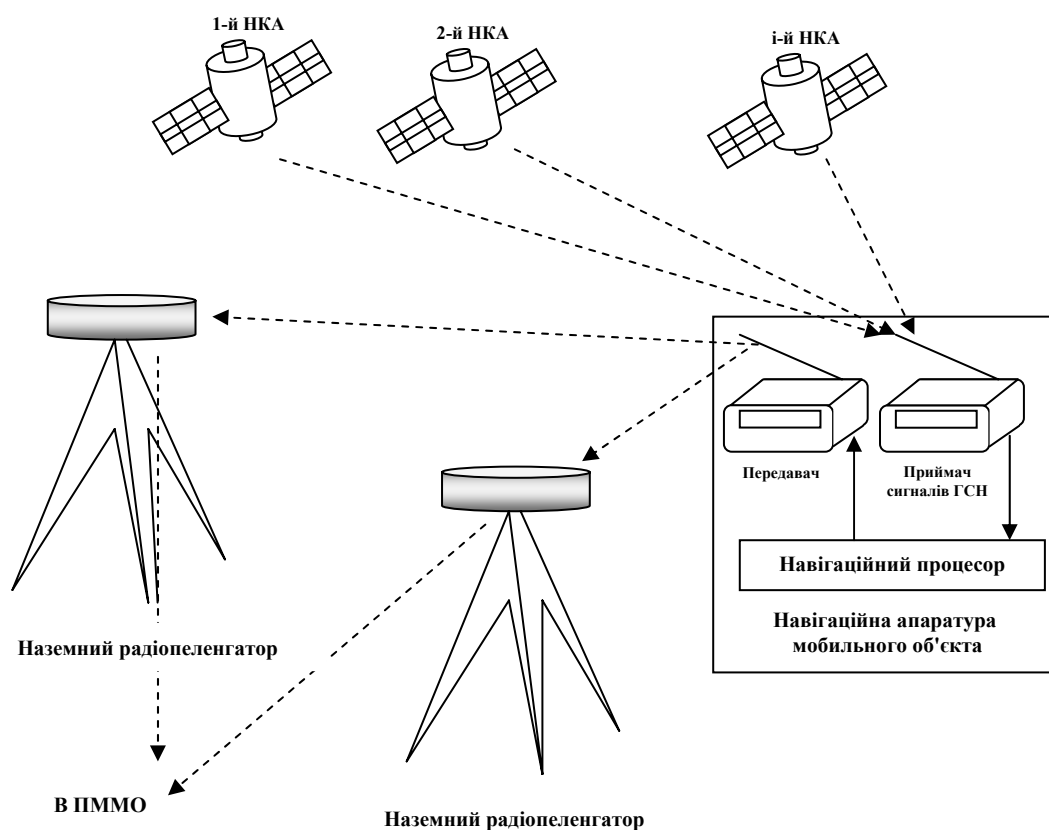
Спільним недоліком всіх наземних систем радіонавігації залишається, як відомо, мала робоча зона, обмежена, як правило, дальністю прямої видимості антени радіомаяка, можливість затінення окремих районів внаслідок впливів різних перешкод. Однак, оскільки йдеться про забезпечення робочої зони малого розміру, цей недолік не є критичним.

Серед функціонуючих зараз наземних позиційних систем найбільше поширення отримали системи ближньої навігації радіомаячного

типу: VOR/DME, ILS, TACAN, РСБН, що працюють, як правило, в діапазоні 960-1215 МГц (західноєвропейські системи), або 726-960 МГц (країни СНД) [3]. Використання такої системи передбачає розгортання у відповідному районі одного або кількох радіомаяків і додаткове оснащення користувачів радіонавігаційними приймачами локальної системи навігації (ЛСН) (рис.1).

Приймач ЛСН навігаційної апаратури мобільного об'єкта (НАМО) визначає власні навігаційні параметри за сигналами наземного радіомаяка і передає їх в навігаційний процесор для комплексної обробки спільно з сигналами ГСН за відповідною програмою. При використанні для обробки навігаційних сигналів спеціалізованих мікросхем всі елементи НАМО можуть бути об'єднані в одному виробі. Функціонування такої системи передбачає наявність радіоканалу передачі даних у ПММО, в якості якого може використовуватися канал зв'язку стандарту GSM [1].

Якщо стан мобільного зв'язку з ПММО у районі НС не забезпечує необхідної якості передачі даних, мають розгортатися додаткові ретранслятори. В останньому випадку більш проста і надійна структура може бути досягнута вибором наземної позиційної системи місцезнаходження радіопеленгаторного типу (рис. 2).



**Рис. 2. Комплексна система визначення місцезнаходження на основі наземної системи навігації радіопеленгаторних типу**



В даному випадку у НАМО здійснюється обробка у певному ступені тільки сигналів ГСН, параметри яких потім включаються в структуру сигналів бортового радіомаяка (передавача) мобільного об'єкта. Система наземних вимірювачів здійснює прийом цих сигналів, витяг параметрів ГСН, які відповідають положенню мобільного об'єкта (якщо вони виміряні), а також додатковий вимір навігаційних параметрів об'єкта, таких як пеленг, дальність, різниця дальностей та інш. власними вимірювачами. Комплексна обробка результатів визначення місцеположення виробляється вже у ПММО.

Особливістю позиційного методу навігації є використання для визначення місцеположення РО ліній положення (ЛП) – ліній постійного значення параметру, що вимірюється системою радіонавігації (радіонавігаційного параметру – РНП) [4]. Місцеположення РО на площині визначається як точка перетину двох або більше ЛП. Створення комплексної системи дозволяє збільшити кількість ЛП, які використовуються в розрахунках, що, в свою чергу, має підвищити точність розрахунку координат РО.

Оскільки алгоритм виміру РНП ГСН ґрунтується на використанні псевдовипадкових фазоманіпульованих сигналів з великою базою, досягається значно краща точність вимірів, що дозволяє забезпечувати СКП визначення місцеположення за сигналами зниженої точності близько 5 метрів, за сигналами високої точності – до одного метра, а, в деяких випадках, для супутників останнього покоління GPS IIF і значно вище – до кількох десятків сантиметрів.

У випадку, коли комплексна система використовує радіопеленгаторну наземну РНС, РНП наземної підсистеми отримуються вже після обробки сигналів ГСН, що дозволяє розраховувати спільні оцінки параметрів РО не на рівні ЛП, а на рівні оцінок місцеположення кожної з навігаційних підсистем. При цьому кожна підсистема попередньо виробляє власні оцінки координат та інших параметрів. Об'єднання на рівні попередніх оцінок може робитися і у випадку радіомаячної РНС, якщо, наприклад, комплексна система містить дві функціонально завершені підсистеми, кожна з яких дає власні незалежні оцінки.

Точність визначення місцеположення на підставі оцінок параметрів підсистем залежить від багатьох факторів, точностних характеристик окремих підсистем, що комплексуються, алгоритму комплексної обробки, статистичної моделі оцінок параметрів РО, що застосовується, тощо. Розглянемо точнісні характеристики у припущенні незмінності на інтервалі виміру значення параметру  $\alpha$ , що оцінюється, користуючись гаусівською моделлю розподілу оцінок параметрів, що вимірюються, а також алгоритмом оптимального оцінювання по максимуму апостеріорної ймовірності, при якому спільне значення (спільна оцінка) параметру  $\alpha_{СП}$  розраховується за результатами двох незалежних

вимірів  $\alpha_1, \alpha_2$  за допомогою виразу [4]:

$$\alpha_{СП} = \alpha_1 \frac{\sigma_{СП}^2}{\sigma_1^2} + \alpha_2 \frac{\sigma_{СП}^2}{\sigma_2^2}, \quad (1)$$

де  $\sigma_1, \sigma_2$  – середньоквадратичні помилки вимірів, які здійснено;

$$\frac{1}{\sigma_{СП}^2} = \frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2}, \quad (2)$$

середньоквадратична помилка спільної оцінки.

Аналіз виразу (2) показує, що точність спільної оцінки є не гіршою за точності окремих вимірів пристроями, що використовуються комплексною системою місцевизначення. Наприклад, якщо  $\sigma_1=5$  м,  $\sigma_2=100$  м,  $\sigma_{СП} \approx 4,994$  м. Зі збільшенням числа вимірів точність оцінювання також буде зростати.

Реальна точність ГСН і наземних навігаційних систем може відрізнятися у десятки разів. Точність ГСН  $\sigma_1$  звичайно значно вища, при цьому з (2) при  $\sigma_1 \ll \sigma_2$  маємо:  $\sigma_{СП} \approx \sigma_1$ ,  $\alpha_{СП} \approx \alpha_1$ , що дозволяє у ряді випадків знехтувати менш точну складову оцінки і робити спільну оцінку по більш точнішій. Але у випадку ускладнення умов прийому супутникового сигналу, або в умовах недоступності цього сигналу комплексна система, яка реалізує алгоритм оцінки (1), буде автоматично "переключатися" на використання розрахунків параметрів наземного каналу виміру.

Бачимо, що така система отримує ще більшу гнучкість у складних умовах її застосування підрозділами ДСНС.

**Висновки.** Розглянуті можливості підвищення точності визначення місцезнаходження на основі побудови комплексної система навігації об'єктів радіомаячного та радіопеленгаторного типу, які можуть бути застосовані у різних варіантах тактичного застосування підрозділів ДСНС в широкому діапазоні завдань і умов застосування підсистеми моніторингу мобільних об'єктів ДСНС. Подальше дослідження вимагає проведення математичного моделювання або натурних випробувань точностних та інших характеристик комплексної підсистеми моніторингу мобільних об'єктів ДСНС.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Система моніторингу GPS. Система «SMOK» в пожежарной службе. – Режим доступу: <http://www.eltegps.ru/produkty/sluzby-spaseniya/sistema-monitoringa-gps-v-pozharnoj-sluzhbe.html>.

2. Терёхин С.Н. Методология создания локальной системы позиционирования подразделений пожарной охраны МЧС России на основе ретрансляции сигналов глобальной навигационной системы ГЛОНАСС. Автореферат докторської дисертації по технічним наукам. Санкт-Петербург: СПбГУПС МЧС Росії, 2011.

3. Состояние и перспективы развития российской радиотехнической системы ближней навигации и посадки. Режим доступа: <http://army.lv/ru/Sostoyanie-i-perspektivi-razvitiya-rossiyskoj-radiotekhnicheskoy-sistemi-blizhney-navigatsii-i-posadki-/1585/4350>

4. Радиотехнические системы: Учеб. Для вузов по спец. "Радиотехника" / Ю.П.Гришин, В.П.Ипатов, Ю.М.Казаринов и др., под ред. Ю.М.Казаринова. – М.:Высш.шк., 1990. – 496 с.

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

**Повышение точности местоопределения подсистемы мониторинга мобильных объектов ГСЧС путём комплексирования каналов**

Рассмотрены подходы к проблеме повышения точности системы мониторинга мобильных объектов путем совместного использования сигналов нескольких систем определения местоположения. Представлены варианты построения комплексной системы, точностные оценки качества её функционирования.

**Ключевые слова:** структура, точность системы определения местоположения, комплексирования сигналов, мониторинг мобильных объектов.

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

**Increasing the accuracy of mobile objects positioning subsystem monitoring (MOPSM) by interconnecting channels**

An approach to the problem of increasing the accuracy of the monitoring system of mobile object by sharing signals of several positioning systems. Presents options for building complex systems, accuracy assessment of the quality of its functioning.

**Keywords:** structure, accuracy of positioning system, integration of signals, mobile objects monitoring.

*Г.В. Іванець, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
М.П. Букін, к.ю.н., доцент кафедри, НУЦЗУ,  
О.М. Ігнат'єв, ст. викладач, НУЦЗУ*

## **ЗАСТОСУВАННЯ РЕГРЕСІЙНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАВДАНИХ ЗБИТКІВ ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ЧИ ПОДІЙ**

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

У статті розглянута можливість застосування регресійних математичних моделей для прогнозування завданих збитків внаслідок надзвичайних подій з метою аналізу факторів, які суттєво впливають на них.

**Ключові слова:** надзвичайна подія, математична модель, багатфакторна лінійна регресійна модель, метод найменших квадратів (МНК), гіпотеза, критерій Ст'юдента.

**Постановка проблеми.** Надзвичайна ситуація, підпорядковуючись об'єктивним і людським факторам виникнення, безупинно змінюється і насамперед це стосується форм і засобів подолання їх. Пошук найбільш ефективних із них є постійною задачею підвищення ефективності застосування сил та засобів, які є в розпорядженні Державної Служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) [10, 11].

В теперішній час для успішної роботи щодо подолання чи запобігання наслідків надзвичайних ситуацій необхідно намагатися передбачити можливий майбутній перебіг тих чи інших негативних процесів, запропонувати інструменти і способи зміни ситуації в бажаному напрямку. Одним із основних завдань підрозділів ДСНС є моделювання розвитку можливих негативних процесів і явищ при створенні тих чи інших умов на основі статистичних даних, подальший їх аналіз з метою прийняття відповідних рішень.

Успіх застосування сил і засобів ДСНС, операції щодо ліквідації і попередження надзвичайних ситуацій залежить від спроможності відповідних керівників підрозділів знати реальну обстановку, передбачати її зміни, швидко приймати обґрунтовані рішення і своєчасно ставити обґрунтовані задачі виконавцям [11]. Наслідком росту залежності результатів дій сил ДСНС від досягнутого ними рівня інформаційної обізнаності причин виникнення різних ситуацій є інтенсивне впровадження комп'ютерної техніки й інформаційних технологій в засоби і системи управління силами і засобами ДСНС.

У процесі відпрацювання і прийняття рішення на проведення відповідних дій та заходів вивчається й аналізується весь комплекс елементів оперативної обстановки, що може вплинути на хід і ефективність проведення запланованих заходів.

Діяльність керівників відповідних підрозділів ДСНС при відпрацюванні рішення і плануванні дій та заходів об'єктивно сполучається із застосуванням методів кількісного аналізу, математичного прогнозування ефективності прийнятих рішень і плану проведення операції, що розробляється.

Кожний план і кожне рішення повинні спиратися на строго обґрунтовані дані, докладні і всебічні обчислювання щодо використання сил і засобів, на науковий прогноз можливого розвитку подій у ході можливих дій. Такий прогноз неможливо зробити без відповідних моделей операцій і прогнозування можливих наслідків застосування сил підрозділів ДСНС.

Математичне моделювання можливості виникнення тієї чи іншої ситуації, а також дій сил підрозділів ДСНС із використанням комп'ютерної техніки у короткі терміни завоювало популярність, а математичні моделі стали повсякденним робочим інструментом керівників відповідних підрозділів.

Водночас слід розуміти, що оперативно-технічні розрахунки не можуть дати і не дають готового рішення, не можуть замінити творчу діяльність керівників підрозділів, їхні знання і досвід. Вони лише допомагають у пошуку і виборі раціональних рішень, і в їхньому обґрунтуванні. Рішення завжди приймаються в умовах непевності, обумовленої неповною, неточною і не завжди достовірною інформацією. Тому не виключається, а навпаки припускається прояв керівниками відповідних підрозділів обґрунтованого і мінімально можливого ризику.

***Аналіз останніх досліджень і публікацій.*** Математична модель - це наближений опис якогось класу явищ (об'єктів, процесів) зовнішнього світу, виражений за допомогою математичної символіки (тобто на мові математики). Інакше кажучи, це система математичних співвідношень, що описують досліджуваний об'єкт, процес або явище [7, 8, 9].

Створення конкретних моделей дій підрозділів ДСНС звичайно пов'язано з вирішенням специфічних алгоритмічних проблем пошуку окремих математичних моделей. Ці проблеми виникають із тієї причини, що кожному оригіналу в принципі може відповідати практично необмежена кількість математичних моделей взагалі, а практично потрібна одна конкретна модель зокрема. До тих пір поки рішення алгоритмічних проблем пошуку окремих моделей не знайдено, розробка самих моделей залишається мистецтвом. Якщо ж удається формалізувати пошук моделей - з'являється наука про моделі і, як результат, різке зниження вартості розробки моделей, підвищення їхньої якості і результативності застосування.

Основні вимоги до моделей дій підрозділів ДСНС представлені в [8]. Реалізація зазначених вимог у моделях дозволить врахувати основні фактори, що впливають на процес управління підрозділами ДСНС, і матиме практичну спрямованість щодо розробки і впровадження перспективних інформаційних засобів, моделей і задач, методик.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для підрозділів ДСНС не можливе будь-яке експериментування над надзвичайними ситуаціями, тому особливого значення набуває математичне моделювання. Мета статті - розробка пропозицій щодо використання регресійних математичних моделей для прогнозування можливих завданих збитків внаслідок надзвичайних подій чи ситуацій та аналіз факторів, які суттєво впливають на них, з метою відпрацювання і прийняття обґрунтованих рішень щодо їх запобігання.

Нехай необхідно дослідити вплив на деякий показник  $y$  трьох факторів  $x_1, x_2, x_3$ , а саме досліджуватимемо залежність завданих збитків внаслідок надзвичайних подій  $y(i)$  від їх кількості  $x_1(i)$ , витрат на підготовку спеціалістів підрозділів ДСНС  $x_2(i)$  та витрат на оснащення підрозділів ДСНС необхідними засобами ліквідації наслідків надзвичайних подій  $x_3(i)$ . Статистичні дані спостережень за деякий період в різних регіонах в умовних одиницях приведені в табл. 1.

**Табл. 1. Статистичні дані спостережень за деякий період в різних регіонах**

Номер регіону	$y(i)$	$x_1(i)$	$x_2(i)$	$x_3(i)$
1	15,70	5	1,40	5,10
2	17,34	6	1,58	6,00
3	21,57	4	1,98	7,00
4	33,50	10	2,10	7,10
5	32,30	10	2,30	7,90
6	37,90	12	3,40	6,60
7	40,78	17	3,10	4,10
8	48,02	20	3,80	3,80
9	43,30	19	4,30	3,23
10	40,57	21	4,70	4,54
11	52,14	23	4,90	5,68
12	55,17	29	4,50	9,51
13	59,18	30	4,70	14,00
14	52,22	36	5,10	10,00
15	77,58	48	4,80	15,70

В даному випадку вибіркова лінійна багатофакторна модель має такий вигляд:

$$y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_3 x_{3i} + e_i, \quad (1)$$

де  $b_i$  – оцінки невідомих параметрів;  $e_i$  – вектор випадкових величин (залишків або похибок) моделі.

Для отримання оцінок  $b_i$  застосовують метод найменших квадратів (МНК) на випадок багатофакторної регресії [2, 4, 5].

Вектор  $B = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$  оцінок параметрів моделі знаходиться наступ-

ним чином [1, 6]:

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y, \quad (2)$$

де

$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{151} & x_{152} & x_{153} \end{pmatrix}$  - матриця, складена із вибірових значень неза-

лежних змінних з урахуванням коефіцієнта  $b_0$  вибіркової моделі,

$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_{15} \end{pmatrix}$  - вектор вибірових значень залежної змінної.

В результаті одержимо:

$$B = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5,440766 \\ 0,718029 \\ 5,415417 \\ 0,608049 \end{pmatrix}.$$

З урахуванням цього прогнозне значення залежної змінної  $y$  при заданих значеннях незалежних змінних  $x_i$  визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} y_{\text{прі}} &= b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_3 x_{3i} = \\ &= 5,440766 + 0,718029 \cdot x_{1i} + 5,415417 \cdot x_{2i} + 0,608049 \cdot x_{3i} \end{aligned}$$

Перевіримо значимість коефіцієнтів лінійної регресії для генеральної сукупності за допомогою критерію Ст'юдента з довірчою ймовірністю 0,95 (рівнем значимості  $\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$ ). Перевіримо значимість коефіцієнта  $\beta_1$  для генеральної сукупності.

Висуваємо нуль-гіпотезу  $H_0: \beta_1 = 0$ , проти альтернативної гіпотези  $H_1: \beta_1 \neq 0$ . Далі знаходимо практичне значення статистики Ст'юдента:  $t = |b_1/S_{b_1}| = |0,718029/0,28889| = 2,485476$ . Табличне значення статистики Ст'юдента:  $t_{табл} = t_{кр} = 2,200985$ .

Так як  $t > t_{кр}$ , то нуль-гіпотеза відкидається, і приймається гіпотеза  $H_1$ , що коефіцієнт  $\beta_1$  в багатofакторній регресії статистично значимий, тобто змінна  $y$  залежить від незалежної змінної  $x_1$ .

Аналогічно переконуємося в значимості коефіцієнта  $\beta_2$  і не значимості коефіцієнта  $\beta_3$ .

Таким чином, на підставі наявних статистичних даних можна стверджувати, що значення завданих збитків внаслідок надзвичайних подій в основному залежить від їх кількості  $x_1(i)$  і витрат на підготовку спеціалістів підрозділів ДСНС  $x_2(i)$  (від чого залежить в першу чергу їх фаховий рівень), а витрати на оснащення підрозділів ДСНС необхідними засобами ліквідації наслідків надзвичайних подій  $x_3(i)$  (очевидно з врахуванням наявних засобів) поки що дозволяють проводити необхідні аварійні роботи щодо ліквідації наслідків надзвичайних подій.

**Висновки.** Розглянута можливість застосування регресійних математичних моделей для прогнозування надзвичайних подій з метою прийняття обґрунтованих рішень на подальші дії підрозділів ДСНС щодо ліквідації їх можливих наслідків. На прикладі прогнозування завданих збитків внаслідок надзвичайних подій на основі вибіркової лінійної багатofакторної моделі, побудованої за статистичними даними, вдалося проаналізувати основні фактори, які суттєво впливають на них. Це дасть можливість відповідним керівникам відпрацювати і прийняти рішення на проведення відповідних дій та заходів на їх запобігання в майбутньому.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Грубер Й. Економетрія: Вступ до множинної регресії та економетрії: У 2 т. – К. : Нічлава, 1988. – 250 с.
2. Джонсон Дж. Эконометрические методы. – М.: Статистика, 1980. – 444 с.
3. Економетрія. Навчальний посібник / О.Л. Ліщинський, В.В. Рязанцева, О.О. Юнькова. – К. : МАУП, 2003. – 208 с.
4. Иберла К. Факторный анализ /К. Иберла; пер. с нем. В.М. Ивановой. – М.: Статистика, 1980. – 398 с.
5. Іванець Г.В. Методика вибору математичної моделі залежності економічних показників від інших чинників на основі статистичних даних в умовах часткової невизначеності / Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2013. – С. 50-55.



6. Іванець Г.В. Алгоритм підвищення точності прогнозу економічних показників на основі багатофакторної лінійної моделі за рахунок передбачення похибок моделі і уточнення оцінок параметрів її на основі зваженого методу найменших квадратів / Г.В. Іванець, Ю.І. Євдокименко, О.Л. Марченко, О.А. Наконечний // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2013. – С. 55-60.

7. Максим И.В. Математическое моделирование больших систем. – Минск: Высшая школа, 1985. – 120 с.

8. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – Высшая школа, 1985. – 272 с.

9. Холстед М.Х. Начала науки о программах. Перев. с англ. В.М. Юфи. – М: Финансы и статистика, 1981. – 128с.

10. Кодекс цивільного захисту України / Відомості Верховної Ради, 2013. – № 34-35. – ст. 458.

11. Емельянов В.М. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. – М., 2002. – С. 279-289.

Г.В. Іванець, Н.П. Букин, А.М. Ігнат'єв

**Применение регрессионных математических моделей для прогнозирования нанесенного ущерба вследствие чрезвычайных ситуаций или событий**

В статье рассмотрена возможность применения регрессионных математических моделей для прогнозирования нанесенного ущерба вследствие чрезвычайных ситуаций с целью анализа факторов, существенно влияющих на него.

**Ключевые слова:** чрезвычайное событие, математическая модель, многофакторная линейная регрессионная модель, метод наименьших квадратов (МНК), гипотеза, критерий Стьюдента.

G.V. Ivanets, N.P. Bukin, A.M. Ignatiev

**Using regression mathematical models for prediction of damage due to emergencies or accidents**

The article considers the possibility of using regression mathematical economic models to predict damage due to emergency for analysis of the factors influencing it.

**Keywords:** an emergency, a mathematical model, a multivariate linear regression model, least squares (OLS), the hypothesis, the student criterion.

*Г.В. Іванець, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
І.О. Толкунов, к.т.н., заст. нач. каф., НУЦЗУ,  
Є.І. Стецюк, ст. викладач, НУЦЗУ*

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ СИЛ І ЗАСОБІВ ПІДРОЗДІЛІВ ДСНС УКРАЇНИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ**

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

Розглянута можливість вирішення задач оптимального розподілу сил і засобів (ресурсів) підрозділів ДСНС для успішного виконання завдань за призначенням у встановлені терміни з мінімальними затратами на основі математичної задачі лінійного програмування.

**Ключові слова:** підрозділи ДСНС, математична модель, лінійне програмування, цільова функція, оптимальний план задачі лінійного програмування.

**Постановка проблеми.** Зміни, що відбуваються, у суспільстві й в умовах застосування підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) пред'являють високі вимоги до якості рішення задач управління силами і засобами ДСНС [1,2]. У той же час обсяг і складність цих задач безупинно зростають. Управління силами ДСНС в цих умовах повинно ґрунтуватися на всебічному урахуванні факторів, що впливають на можливість виникнення надзвичайних ситуацій, спиратися на глибоку оцінку можливої обстановки, точні розрахунки, обґрунтовані рішення, ретельне планування і достовірну оцінку очікуваних результатів застосування сил і засобів ДСНС з найменшими витратами.

Істотну допомогу керівникам підрозділів ДСНС в оцінці обстановки, підготовці пропозицій для прийняття рішення, виборі раціональних варіантів розподілу сил і засобів для успішного виконання поставлених завдань з найменшими витратами надає застосування математичних моделей і інформаційно-розрахункових задач, реалізованих на ПЕОМ.

В умовах дефіциту коштів, спеціалістів і засобів виникає проблема раціонального розподілу сил та засобів підрозділів ДСНС для виконання поставлених завдань з найменшими затратами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що питання використання сил і засобів підрозділів ДСНС України для виконання завдань за призначенням все більш активно обговорюється і досліджується відносно їх оптимального залучення по відношенню до матеріальних затрат [1,2]. Виникає задача розробки пропозицій щодо викорис-

тання математичних методів моделювання для вирішення задач управління розподілом наявних сил та засобів з обмеженнями їх використання для успішного виконання підрозділами ДСНС України відповідних завдань з найменшими затратами.

**Постановка завдання та його вирішення.** Отже, в роботі вирішене завдання щодо розробки пропозицій, які стосуються використання лінійних математичних моделей для вирішення задач раціонального розподілу наявних ресурсів підрозділів ДСНС України для успішного виконання завдань за призначенням у встановлені терміни з мінімальними матеріальними затратами.

Під моделлю будемо розуміти такий матеріальний або уявний об'єкт, який у процесі дослідження замінює собою об'єкт-оригінал так, що його безпосереднє вивчення дає нові відомості про об'єкт-оригінал. Моделювання, у такому випадку, являє собою процес побудови, вивчення й застосування моделей [3]. Головна особливість моделювання полягає в тому, що це метод опосередкованого пізнання за допомогою об'єктів-замінників. Модель виступає як інструмент пізнання, який дослідник ставить між собою і об'єктом з метою вивчення останнього, тобто об'єкт розглядається ніби через «призму» його модельного подання. Процес моделювання, таким чином, містить у собі три елементи: суб'єкт дослідження (дослідник), об'єкт дослідження та модель. Ситуацію ілюструє рис. 1.



**Рис. 1. Роль моделі в процесі дослідження**

Необхідність використання методу моделювання визначається тим, що багато об'єктів (або проблеми, що стосуються цих об'єктів) безпосередньо досліджувати або зовсім неможливо, або ж ці дослідження вимагають занадто високих витрат часу, засобів, а інколи містять навіть небезпеку для навколишнього середовища і людей.

Очевидно, що всі існуючі моделі можуть бути умовно розділені на два класи – моделі матеріальні, тобто об'єктивно існуючі (до яких можна «доторкнутись руками»), і моделі абстрактні, існуючі у свідомості людини. Одним з підкласів абстрактних моделей є моделі математичні.

Математична модель – це абстракція реальної дійсності (світу), в якій співвідношення між реальними елементами, а це саме ті, що цікавлять дослідника, замінені співвідношеннями між математичними категоріями. Ці співвідношення зазвичай подаються у формі рівнянь та

(або) нерівностей, співвідношеннями формальної логіки між показниками (змінними), які характеризують функціонування реальної системи чи протікання процесу, що моделюється [6,8].

Застосування математичних методів істотно розширює можливості щодо планування і виконання завдань підрозділами ДСНС, підвищує якість прийнятих управлінських рішень.

Математичні моделі, відображаючи за допомогою математичних співвідношень основні властивості процесів і явищ, уявляють собою ефективний інструмент дослідження складних надзвичайних ситуацій і процесу використання наявних ресурсів при виконанні завдань підрозділами ДСНС.

Принципи побудови економіко-математичних моделей

1. **Принцип достатності вихідної інформації.** У кожній моделі повинна використовуватися тільки та інформація, що відома з точністю, необхідною для одержання результатів моделювання.

2. **Принцип інваріантності (однозначності) інформації** вимагає, щоб вхідна інформація, використовувана в моделі, була незалежна від тих параметрів досліджуваної системи, які ще невідомі на даній стадії дослідження.

3. **Принцип спадкоємності.** Зводиться до того, що кожна наступна модель не повинна порушувати властивостей об'єкта, встановлених або відображених у попередніх моделях.

4. **Принцип ефективної реалізованості.** Необхідно, щоб модель могла бути реалізована за допомогою сучасних обчислювальних засобів.

Проаналізуємо послідовність і зміст етапів одного циклу математичного моделювання (рис. 2).

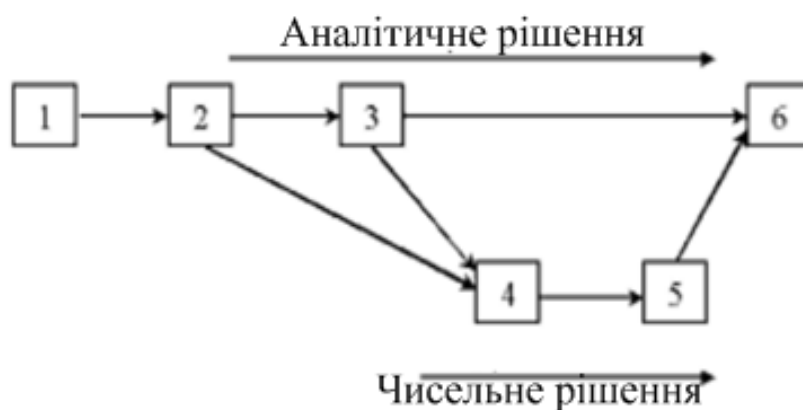


Рис. 2. Етапи економіко-математичного моделювання

1. **Постановка проблеми і її якісний аналіз.** Головне на цьому етапі – чітко сформулювати сутність проблеми, визначити прийняті допущення, а також визначити ті питання, на які потрібно отримати відповідь. Етап включає виділення найважливіших рис і властивостей

досліджуваного об'єкта чи процесу, основних залежностей, що зв'язують його елементи. Тут же відбувається формулювання гіпотез, хоча б попередньо пояснюючих поведінку об'єкта чи процесу.

**2. Побудова математичної моделі.** Це етап формалізації задачі, тобто вираження її у вигляді математичних залежностей і відносин (функцій, рівнянь, нерівностей, схем). Як правило, спочатку визначається тип математичної моделі, а потім уточнюються деталі. Неправильно думати, що, чим більше факторів ураховує модель, тим краще вона працює й дає кращі результати. Зайва складність моделі ускладнює процес дослідження. При цьому потрібно враховувати не тільки реальні можливості інформаційного й математичного забезпечення, але й зіставляти витрати на моделювання з отримуваним ефектом (при зростанні складності моделі приріст витрат може перевищити приріст ефекту).

**3. Математичний аналіз моделі.** Ціль – виявлення загальних властивостей і характеристик моделі. Застосовуються чисто математичні прийоми дослідження. Найбільш важливий момент – доказ існування рішень у сформульованій моделі. Якщо вдасться довести, що задача не має рішення, то необхідність у наступній роботі з даного варіанта моделі відпадає: варто скорегувати або постановку задачі, або способи її математичної формалізації.

**4. Підготовка вихідної інформації.** Чисельне моделювання висуває жорсткі вимоги до вихідної інформації. У той же час реальні можливості отримання інформації істотно обмежують вибір використовуваних моделей. При цьому приймається до уваги не тільки можливість підготовки інформації (за певний термін), але й витрати на підготовку відповідних інформаційних масивів. Ці витрати не повинні перевищувати ефекту від використання даної інформації.

**5. Чисельне рішення.** Це розробка алгоритмів, програм і безпосереднє проведення розрахунків на комп'ютері.

**6. Аналіз адекватності моделі та отриманих результатів і їхнє застосування.** На заключній стадії перевіряються правильність, повнота й ступінь практичної застосовності отриманих результатів.

Природно, що після кожної з перерахованих стадій можливе повернення до однієї з попередніх стадій, якщо буде потреба уточнення інформації, перегляду результатів виконання окремих етапів.

#### **Оптимізаційні математичні моделі.**

Лінійне програмування – напрямок математики, що вивчає методи рішення екстремальних задач, які характеризуються лінійною залежністю між змінними й лінійним критерієм оптимальності.

До математичних задач лінійного програмування відносять дослідження конкретних виробничо-господарських ситуацій, які в тому чи іншому виді інтерпретуються як задачі про оптимальне використання обмежених ресурсів.

До таких задач можна віднести задачу оптимального розподілу наявних сил і засобів (ресурсів) підрозділів ДСНС для успішного виконання поставлених завдань з найменшими затратами.

Математична модель будь-якої задачі лінійного програмування включає: цільову функцію, оптимальне значення якої (максимум або мінімум) потрібно відшукати; обмеження у вигляді системи лінійних рівнянь або нерівностей; вимогу невід'ємності змінних [6].

Загальна лінійна математична модель процесів та явищ – так звана загальна задача лінійного програмування подається у вигляді [4,5,7]:

1) цільова функція:

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \max (\min), \quad (1)$$

2) обмеження:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n & \{ \leq, =, \geq \} b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n & \{ \leq, =, \geq \} b_2, \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n & \{ \leq, =, \geq \} b_m, \end{aligned} \quad (2)$$

3) вимога невід'ємності:

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \dots, \quad (3)$$

де  $a_{ij}$ ,  $b_i$ ,  $c_j$  – задані постійні величини, ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ).

Завдання полягає в знаходженні оптимального значення функції (1) при дотриманні обмежень (2) і (3).

Систему обмежень (2) називають функціональними обмеженнями задачі, а обмеження (3) – прямими. Отже, потрібно знайти такі значення змінних  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , які задовольняють умови (2) і (3), і цільова функція (1) набуває екстремального (максимального чи мінімального) значення.

Розглянемо задачу оптимального розподілу сил і засобів (ресурсів) підрозділів ДСНС для успішного виконання поставлених завдань у встановлені терміни з мінімальними затратами.

Нехай підрозділи ДСНС мають в своєму розпорядженні деякі сили і засоби, кількість яких обмежена. Для виконання поставленого завдання підрозділами ДСНС необхідні виконати ряд робіт з найбільшою ефективністю та найменшими затратами. Виконання кожної роботи для загального успіху виконання завдання потребує певних затрат. В подальшому сили і засоби підрозділів ДСНС для виконання завдань будемо називати ресурсами. Нехай в підрозділі ДСНС є  $m$  видів ресурсів  $R_1, R_2, \dots, R_m$  (кількість спеціалістів різної кваліфікації, робочий час, обладнання і т.п.) в кількості  $b_1, b_2, \dots, b_m$  одиниць кожного виду (табл. 1). Кожна одиниця ресурсу  $R_i$  коштує  $y_i$  умовних одиниць.

**Табл. 1. Розподіл ресурсів відповідно до типів робіт**

Ресурси		Типи робіт						Запаси ресурсів
Вид	Вартість	$T_1$	$T_2$	...	$T_j$	...	$T_n$	
$R_1$	$y_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1j}$	...	$a_{1n}$	$b_1$
$R_2$	$y_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2j}$	...	$a_{2n}$	$b_2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$R_i$	$y_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	...	$a_{ij}$	...	$a_{in}$	$b_i$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$R_m$	$y_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mj}$	...	$a_{mn}$	$b_m$
Затрати на виконання одного етапу кожної роботи ум. од.		$c_1$	$c_2$	...	$c_j$	...	$c_n$	

На кожен етап роботи  $T_j$  витрачається  $a_{ij}$  ресурсів  $i$ -го виду. Кожен етап роботи несе затрати  $c_j$  умовних одиниць.

Необхідно визначити, яку кількість і яких ресурсів із наявних необхідно використати для виконання завдання з найменшими затратами.

Запишемо умову задачі математично. Позначимо кількість етапів робіт  $T_1, T_2, \dots, T_n$ , які необхідно виконати для вирішення поставленого завдання, символами:

$$x_1, x_2, \dots, x_n.$$

Умови виконання завдання обмежуються наявним запасом ресурсів, яких повинно вистачити на виконання завдання:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 ; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 ; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m . \end{aligned} \right\}$$

Ці умови можна записати коротше:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{1j}x_j &\leq b_1 ; \\ \sum_{j=1}^n a_{2j}x_j &\leq b_2 ; \\ \dots \dots \dots \dots & \\ \sum_{j=1}^n a_{mj}x_j &\leq b_m . \end{aligned} \right\} \text{ або ще коротше } \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i ; \quad i = 1, 2, \dots, m$$





де  $X$  – вектор змінних;  $C$  – вектор коефіцієнтів при змінних у цільовій функції;  $A$  – матриця коефіцієнтів при змінних у системі обмежень;  $B_0$  – вектор вільних членів.

Будемо використовувати наступні поняття. Опорний план  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ , за якого цільова функція  $F$  (1) досягає в нашому випадку мінімального значення, називається оптимальним розв'язком (планом) задачі лінійного програмування [3,4,8]. Оптимальний план є розв'язком задачі лінійного програмування.

Отже, у загальному вигляді задача математичного програмування формулюється так: знайти такі значення змінних  $x_j$ , щоб цільова функція набувала екстремального (в даному випадку мінімального значення).

Рішення подібних задач лінійного програмування (ЗЛП) можна виконувати у табличному редакторі Microsoft Excel за допомогою пакету програм «Пошук рішення».

Приведемо приклад вирішення подібних задач. Нехай для виконання завдань підрозділом ДСНС передбачається, що кваліфікація фахівців має бути не нижчою 76%, а відхилення їх від своєї кваліфікації – не більшим, ніж 0,3%. Для виконання завдання підрозділом використовуються спеціалісти чотирьох категорій. Дані про наявність спеціалістів, які будуть разом виконувати поставлені завдання, затрати на їх використання та відхилення їх від своєї кваліфікації, наведені в табл. 2.

**Табл. 2. Використання спеціалістів за категоріями при виконанні завдань за призначенням відповідно до їх кваліфікації та затрат**

Показник	Категорії спеціалістів			
	№1	№2	№3	№4
Кваліфікація спеціалістів, %	68	72	80	90
Відхилення від своєї кваліфікації, %	0,35	0,35	0,30	0,20
Наявна кількість, чол.	10	7	8	5
Затрати на використання спеціалістів, умов. од./чол.	40	45	60	90

Необхідно визначити, скільки спеціалістів кожної категорії треба використати для того, щоб призначити розрахунок в кількості 15 осіб із загальною кваліфікацією не нижче 76% з мінімальними витратами коштів.

#### **Побудова математичної моделі.**

Позначимо через  $x_j$  кількість спеціалістів  $j$ -ї категорії в розрахунку,  $j = 1, 2, 3, 4$ .

Перше обмеження забезпечує потрібне значення показника кваліфікації спеціалістів в розрахунку:

$$68x_1 + 72x_2 + 80x_3 + 90x_4 \geq 76 \cdot 15.$$

Відхилення кваліфікації спеціалістів в розрахунку не має перевищувати 0,3%:

$$0,35x_1 + 0,35x_2 + 0,3x_3 + 0,2x_4 \leq 0,3 \cdot 15,$$

а загальна кількість спеціалістів розрахунку має дорівнювати 15:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 15.$$

Використання кожної категорії спеціалістів не має перевищувати їх наявної кількості:  $x_1 \leq 10$ ;  $x_2 \leq 7$ ;  $x_3 \leq 8$ ;  $x_4 \leq 5$ .

Загальні витрати на використання спеціалістів в розрахунку визначаються за формулою:

$$F = 40x_1 + 45x_2 + 60x_3 + 90x_4.$$

Загалом, математична модель задачі має вигляд:

$$F = 40x_1 + 45x_2 + 60x_3 + 90x_4 \rightarrow \min$$

за умов:

$$\begin{cases} 68x_1 + 72x_2 + 80x_3 + 90x_4 \geq 1140; \\ 0,35x_1 + 0,35x_2 + 0,3x_3 + 0,2x_4 \geq 4,5; \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 15; \\ x_1 \leq 10; \\ x_2 \leq 7; \\ x_3 \leq 8; \\ x_4 \leq 5. \end{cases}$$

$$x_j \geq 0, (j = \overline{1,4})$$

Оптимальним розв'язком (планом) рішення цієї задачі буде:

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*) = (0, 7, 8, 0),$$

а цільова функція при цьому дорівнює  $F = 795$ . Таким чином, щоб призначити розрахунок в кількості 15 осіб із загальною кваліфікацією не нижче 76% з мінімальними витратами коштів необхідно взяти 7 спеціалістів категорії №2 і 8 спеціалістів категорії №3. Затрати на використання спеціалістів в розрахунку при цьому будуть найменшими і складатимуть 795 умовних одиниць.

**Висновки.** Розглянуто можливість вирішення задач оптимального розподілу сил і засобів (ресурсів) підрозділів ДСНС України для успішного виконання ними завдань за призначенням в установлені терміни з мінімальними затратами на основі математичної задачі лінійного програмування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України: за станом на 02 листопада 2012 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2012 р. – №5403-VI, № 34-35, ст.458. – (Бібліотека офіційних видань).
2. Емельянов В.М. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях / В.М. Емельянов. – М., 2002. – С. 279-289.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1980. – 206 с.
4. Катренко А.В. Дослідження операцій. Підручник / А.В. Катренко. – Львів: «Магнолія Плюс», 2004. – 549 с.
5. Кутковський В.Я. Дослідження операцій: Навчальний посібник / В.Я. Кутковський. – Київ: Вид-во ТОВ «Видавничий дім «Професіонал», 2004. – 350 с.
6. Буланов Г.С. Математичні методи дослідження операцій. Навчальний посібник. / Г.С. Буланов, В.О. Паламарчук. – Харків: ДДМА, 2005. – 84 с.
7. Давыдов В.Г. Исследование операций / В.Г. Давыдов. – М.: Высшая школа, 1990. – 384 с.
8. Колодяжный В.М. Математическое программирование и элементы теории «Исследования операций». Учебное пособие / В.М. Колодяжный. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт», 2001. – 229 с.

Г.В. Иванец, И.А. Толкунов, Е.И. Стецюк

### **Математическая модель рационального использования сил и средств подразделений ГСЧС Украины для выполнения задач по предназначению**

Рассмотрена возможность решения задач оптимального распределения сил и средств (ресурсов) подразделений ГСЧС для успешного выполнения задач по предназначению в установленные сроки с минимальными затратами на основе математической задачи линейного программирования.

**Ключевые слова:** подразделения ГСЧС, математическая модель, линейное программирование, целевая функция, оптимальный план задачи линейного программирования.

G.V. Ivaniets, I.A. Tolkunov, Ye.I. Stetsiuk

### **A mathematical model of the rational use of energy and resources departments SES of Ukraine to fulfill their missions**

The possibility of solving optimal distribution of forces and means (resources) subdivisions of the State Emergencies Service of Ukraine for the successful implementation of assigned tasks in a timely manner with minimal cost on the basis of the mathematical problem of linear programming is given.

**Keywords:** subdivisions SES of Ukraine, mathematical model, linear programming, the objective function, the optimal plan of the linear programming.

*А.Я. Калиновський, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,  
О.М. Ларін, д.т.н., професор, НУЦЗУ,  
В.І. Ціолковський, ад'юнкт, НУЦЗУ,  
Г.О. Чернобай, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДРУГОЇ СТУПЕНІ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ ВІЗКА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ**

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

Розглядається питання визначення конструктивних параметрів ресорного підвішування візка підвищеної якості для транспортування небезпечних вантажів з пневматичними пружними елементами в другій ступені. При застосуванні відповідно до умов навантаження в запропонованій конструкції візка для транспортування небезпечних вантажів чотирьох пневматичних пружних елементів, які розміщено в опорних точках вантажної платформи і складаються із гумово-кордних оболонок та додаткових резервуарів, відповідна якість підвішування забезпечується як пружними характеристиками самих пневматичних елементів, так і двома коректорами жорсткості.

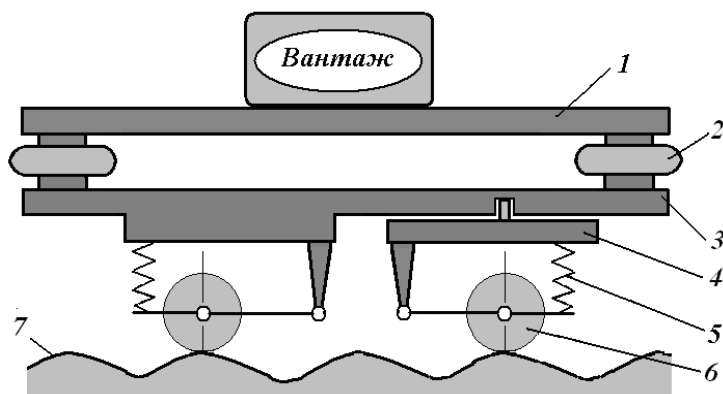
**Ключові слова:** система ресорного підвішування, пневматичний пружний елемент, коректор жорсткості.

**Постановка проблеми.** Для транспортування небезпечних, зокрема, вибухонебезпечних вантажів від місця знаходження до пункту утилізації розроблений спеціальний візок, ресорне підвішування якого має характеристики, що задовольняють умовам безпечного транспортування, а відсутність двигуна і трансмісії обумовлює просту, надійну і, головне, недорогу конструкцію.

Визначення необхідних характеристик запропонованого ресорного підвішування, від яких залежать його динамічні властивості, має бути забезпечено відповідними розрахунками на математичній моделі, для побудови якої вельми суттєвим є вибір конструктивних параметрів пневматичних пружних елементів другої ступені.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На відміну від попередньої конструкції [1] для забезпечення кращої маневреності візка його передня вісь виконана поворотною (рис. 1).

Головною особливістю конструкції візка є застосування, на відміну від традиційного для автомобілебудування одноступеневого ресорного підвішування, додаткової другої ступені, динамічні характеристики якої забезпечують умови безпечного транспортування.

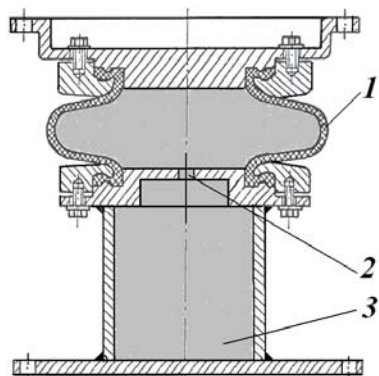


**Рис. 1.** Схема конструкції транспортного засобу для перевезення небезпечних вантажів: 1 – вантажна платформа, 2 – пневматичний пружний елемент другої ступені підвішування, 3 – опорна платформа, 4 – поворотна платформа, 5 – пружні елементи першої ступені підвішування, 6 – колеса візка, 7 – профіль дороги

Деякі особливості роботи цієї конструкції в умовах реальної експлуатації [2], що можуть суттєво ускладнити підготовку до транспортування небезпечних вантажів, можуть бути вирішені шляхом застосування пневматичних пружних елементів в опорних точках вантажної платформи [3, 4], а відповідна якість підвішування забезпечується коректорами жорсткості [5, 6].

Методи визначення динамічних характеристик сучасних систем ресорного підвішування транспортних засобів викладені в роботах [7-10].

**Постановка завдання та його вирішення.** Задача визначення оптимальних параметрів конструкції візка та його динамічних властивостей має бути вирішена побудовою математичної моделі та відповідних розрахунків. Пружні характеристики другої ступені ресорного підвішування, що складається із чотирьох пневматичних елементів (рис. 2) і двох коректорів жорсткості (рис. 3), в значній мірі залежать від типу гумово-кордних оболонок (ГКО), конструктивних параметрів пневматичного тракту, жорсткості пружин коректорів тощо.



**Рис. 2.** Схема опорного елемента другої ступені пневматичного підвішування з ГКО моделі И-09. 1 – гумово-кордна однофрзова оболонка моделі И-09, 2 – дросельний отвір, 3 – додатковий резервуар

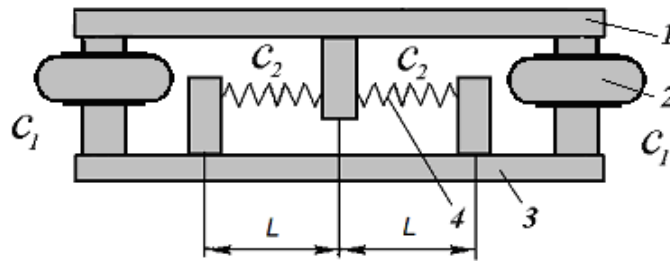


Рис. 3. Схема конструкції другої ступені ресорного підвішування із застосуванням коректора жорсткості: 1 – вантажна платформа, 2 – опорний елемент другої ступені підвішування, 3 – опорна платформа, 4 – пружини коректора жорсткості

Відповідно до умов навантаження в запропонованій конструкції можуть бути застосовані ГКО типу И-09 (рис. 4) виробництва «ФГУП «НПП «Прогресс» (м. Омск, Росія), характеристики яких наведені в табл. 1.

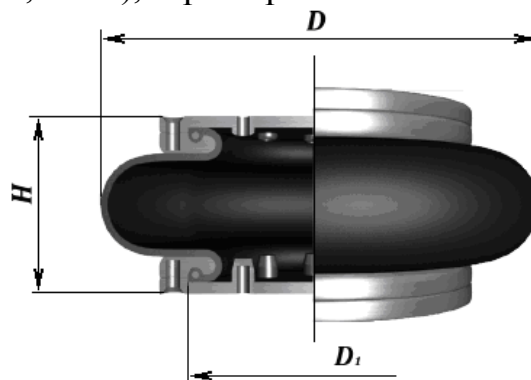


Рис. 4. Гумово-кордна оболонка моделі И-09. Конструктивні параметри ГКО Р – тиск у внутрішньому об'ємі ГКО при початковій висоті Н; Q – вантажепід'ємність ГКО при тиску Р та висоті Н; Z – максимальний хід від початкової висоті Н

Табл. 1. Характеристика ГКО типу И-09

Модель ГКО	Габаритні та приєднувальні розміри			Технічна характеристика		
	D, мм	H, мм	D <sub>1</sub> , мм	P, МПа	Q, кН	Z, мм
И-09	150	86	74	0,06 – 0,17	0,35 – 1	± 40

Відповідно до конструктивних міркувань та аналізу попередніх досліджень [11] прийняті наступні запропонованої конструкції з ГКО типу И-09 (табл. 2).

Розглянемо умови забезпечення нульової жорсткості та вибір конструктивних параметрів для даної системи підвішування.

Умова  $C(0) = 0$  виконується, якщо [5, 12]:

$$C_1 L = C_2 \Delta, \quad (1)$$

звідки попередній стиск пружин-коректорів становить

$$\Delta = C_1 L / C_2 = 18 \cdot 0,15 / 150 = 0,018 \text{ м.}$$

Табл. 2. Параметри ГКО типу И-09

№ з/п	Конструктивний параметр	Розмірність	Величина
1	Маса вантажної платформи з вантажем	кг	400
2	Тиск у внутрішньому об'ємі ГКО	МПа	0,17
3	Внутрішній об'єм ГКО	м <sup>3</sup>	7,3·10 <sup>-4</sup>
4	Ефективна площа ГКО	м <sup>2</sup>	580·10 <sup>-5</sup>
5	Об'єм додаткового резервуару	м <sup>3</sup>	2,92·10 <sup>-3</sup>
6	Діаметр дросельного отвору	м	5,0·10 <sup>-3</sup>
7	Розрахункова жорсткість пневмоопори С <sub>1</sub>	кН/м	18
8	Жорсткість пружин коректора С <sub>2</sub>	кН/м	150
9	Довжина пружин-коректорів L	м	0,15
10	Попередній стиск пружин-коректорів Δ	м	0,018

Залежність розрахункової приведені жорсткості другої ступені ресорного підвішування  $C(Y)$  від амплітуди коливань  $(Y)$  вантажної платформи визначається [5, 12] формулою

$$C(Y) = 2C_2 \left( 1 - \frac{(L + \Delta)L^2}{\sqrt{(L^2 + Y^2)^3}} \right) + 2C_1. \quad (2)$$

На рис. 5 зображено розрахункові графіки приведені жорсткості при  $\Delta = 0,018$  м та  $\Delta = 0,02$  м.

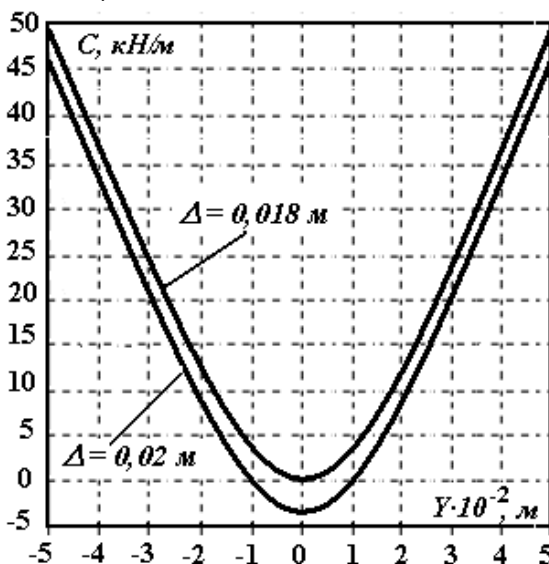


Рис. 5. Залежність приведені жорсткості другої ступені ресорного підвішування від амплітуди коливань вантажної платформи

Як видно з рисунку 5 при  $C_2 = 150$  кН/м,  $C_1 = 18$  кН/м,  $L = 0,15$  м та  $\Delta = 0,018$  м в околі точки  $Y = 0$  існує деякий інтервал переміщень з квазінульовою жорсткістю. Коли  $\Delta = 0,02$  м система має два інтервали переміщень з квазінульовою жорсткістю. Якщо  $\Delta < 0,018$  м нульової жорсткості в системі немає.

**Висновки.** При застосуванні відповідно до умов навантаження в запропонованій конструкції візка для транспортування небезпечних вантажів чотирьох пневматичних пружних елементів, які розміщено в опорних точках вантажної платформи і складаються із гумово-кордних оболонки типу И-09 виробництва «ФГУП «НПП «Прогресс» (м. Омск, Росія) та додаткових резервуарів, відповідна якість підвищення забезпечується як пружними характеристиками самих пневматичних елементів, так і двома коректорами жорсткості.

Прийняті відповідно до конструктивних міркувань та аналізу попередніх досліджень наступні параметри запропонованої конструкції: об'єм додаткового резервуару  $2,92 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  та діаметр дросельного отвору  $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  визначають розрахункову жорсткість пневмоопори  $C_1 = 18 \text{ кН/м}$ , що при жорсткості пружин коректора  $C_2 = 150 \text{ кН/м}$ , їх довжині  $L = 0,15 \text{ м}$  та попередньому стиску  $\Delta = 0,02 \text{ м}$  забезпечують в околі положення статичної рівноваги деякий інтервал переміщень з квазінульовою жорсткістю.

Остаточне визначення динамічних характеристик запропонованої конструкції підвищення, від яких залежать властивості візка для транспортування небезпечних вантажів, має бути забезпечено подальшими розрахунками на математичній моделі, для яких вельми суттєвим є проведений вище вибір конструктивних параметрів пружних елементів другої ступені ресорного підвищення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ларін О.М. До питання вибору конструкції другої ступені ресорного підвищення несамохідного візка для транспортування небезпечних вантажів / Калиновський А.Я., Соколовський С.А., Чернобай Г.О. // Наук. вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки / Науковий журнал №1 (25), 2012 – Київ, 2012. – С. 165 – 167.
2. Лагутин В.Л. Некоторые особенности работы второй ступени ресорного подвешивания несамоходной тележки для транспортировки опасных грузов / Лагутин В.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Science. Vol. 8. 2013 – Budapest: С. 110 – 112.
3. Куценко С.М. Пневматическое ресорное подвешивание тепловозов. – Харьков: Вища школа, 1978. – 97 с.
4. Илюшкин С.Н. Тепловозы узкой колеи с пневматическим ресорным подвешиванием / Илюшкин С.Н., Почтарь Д.Ю., Адашевский В.М., Чернобай Г.А. – ВНИПИЭИлеспром, 1983. – Вып. 13, С. 9 – 10.
5. Алабужев П.М. и др. Виброзащитные системы с квазиулевой жесткостью. –Л.: Машиностроение, 1986. – 96 с.
6. Зайцев А.А. Сливинский Е.В. Перспективный амортизатор для АТС / Зайцев А.А., Радин С.Ю. // Автомобильная промышленность. Машиностроение. – 2007. – №9 – С. 26–28.



7. Лазарян В.А. Некоторые современные проблемы динамики транспортных средств. В кн.: Нагруженность, прочность, устойчивость движения механических систем. – К.: Наук. думка, 1980. – С. 3 – 43.

8. Болотин В.В. Случайные колебания упругих систем. – М.: Наука, 1979. – 336 с.

9. Гуляев В.И. и др. Прикладные задачи теории нелинейных колебательных систем. М.: Высшая школа, 1989. – 383 с.

10. Силаев А.А. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.

11. Андрейчиков А.В. Разработка пневматических систем виброизоляции сиденья машиниста локомотива с использованием автоматических методов поискового конструирования. Дис.... канд. техн. наук. – Брянск, 1984. – 293 с.

12. Калиновський А.Я. Визначення пружних характеристик другої ступені ресорного підвішування візка для транспортування небезпечних вантажів із застосуванням коректора жорсткості / Калиновський А.Я., Ларін О.М., Соколовський С.А. // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. – Горлівка, 2012. – № 1(14). – С. 66-69.

А.Я. Калиновский, А.Н. Ларин, В.И. Циолковский, Г.А. Чернобай

**Определение параметров пневматических упругих элементов второй ступени ресорного подвешивания тележки для транспортировки взрывоопасных грузов**

Рассматривается вопрос определения конструктивных параметров ресорного подвешивания повышенного качества тележки для транспортировки опасных грузов с пневматическими упругими элементами во второй ступени. При использовании в соответствии с условиями нагрузки в предложенной конструкции тележки для транспортировки опасных грузов четырех пневматических упругих элементов, которые размещены в опорных точках грузовой платформы и состоят из резинокордных оболочек и дополнительных резервуаров, соответствующее качество подвешивания обеспечивается, как упругими характеристиками самих пневматических элементов, так и двумя корректорами жесткости.

**Ключевые слова:** система ресорного подвешивания, пневматический упругий элемент, корректор жесткости.

A.Ya. Kalinovskiy, A.N. Larin, V.I. Tsiolkovsky, G.A. Chernobay

**Defining the parameters of air springs of the second stage suspension spring of trolleys for transporting explosive cargo**

The paper deals with the determination of the design parameters of high quality suspension of trolley which is used for the dangerous goods transportation. The trolley suspension has two levels. The second level is non-linear and realize vibro-isolation of the goods, which are transported. Pneumatic elastic elements are proposed to be used as a base springs at the four corners of second level of suspension. These elements are proposed to be made from the reinforced rubber shells and should be used together with additional reservoirs.

**Keywords:** spring suspension system, pneumatic elastic elements, stiffness correctors.

*К.М. Карпець, к.геогр.н., наук. співр., НУЦЗУ*

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ГІС-АНАЛІЗУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОНИ ПОВЕНІ ТА ВИТРАТ ВОДИ ПІД ЧАС ПАВОДКА З МЕТОЮ ЗАПОБІГАННЯ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

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

Розглянуто можливість застосування комп'ютерних технологій водорозподілу для отримання оцінки стану поверхневих водних об'єктів та водозбірних територій, для виявлення можливості виникнення надзвичайних ситуацій з метою своєчасної ліквідації їх наслідків.

**Ключові слова:** водорозподіл, моделювання, зона затоплення.

**Постановка проблеми.** Значна кількість грошових та матеріальних витрат щороку йде на ліквідацію наслідків повені, паводку або катастрофічного затоплення на річках України. На величину характеристик повені, паводку або катастрофічного затоплення здійснюють вплив кількість опадів, їх інтенсивність, тривалість, площа охоплення, водопропускна здатність ґрунтів, рельєф басейну, величини уклону русел, наявність і глибина мерзлоти та інші.

Дана робота присвячена особливостям застосування цих та інших характеристик, що дає можливість моделювати зони повені та витрати води під час паводка та в свою чергу, отриману інформацію можливо використовувати відповідними управлінцями міністерств з метою запобігання виникнення надзвичайних ситуацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В умовах, коли все частіше на річках формуються швидкоплинні гідрологічні явища, коли погодні умови зими не сприяють формуванню стабільних чинників весняного водопілля для достовірного довгострокового прогнозування можливості виникнення надзвичайних ситуацій, найбільш актуальним стає розвиток систем короткострокового прогнозування [1, 2].

У [3,4] доведено, що при розробці геоінформаційної моделі водозбору об'єктом моделювання є водозбірний басейн. Розроблена інформаційно-аналітична система. Розглянуто науково-методичні засади створення басейнових прогностичних систем та показано застосування математичних моделей формування стоку води як основи методичної бази системи та її функціональних складових [5].

**Постановка завдання та його вирішення.** У складі застосування методів дистанційного зондування землі для проведення оцінки екологічного стану поверхневих водних об'єктів та водозбірних територій, для виявлення можливості виникнення надзвичайних ситуацій з

метою своєчасної ліквідації їх наслідків, доцільним буде застосування комп'ютерних технологій водорозподілу. У роботі ми розглядаємо процес моделювання максимальних руслових витрат від весняних повеней і літніх паводків на території м. Харкова.

На першому етапі моделювання застосовується розподілене гідрологічне моделювання (РГМ) максимумів від талих вод, які в основному фізично визначаються групою метеорологічних факторів. Проте, ми розуміємо, що геометричні характеристики басейну і річки, зокрема, розвиток мережі рельєфу реально впливають на весняні максимуми. Вказані характеристики для ГІС-моделювання будуть прямо отримані із цифрової моделі рельєфу. Структура руслових витрат під час весняної повені, що реалізована в геоінформаційному програмному забезпеченні *GIS-Module Ukrainian 1.5*, показана на рис. 1.

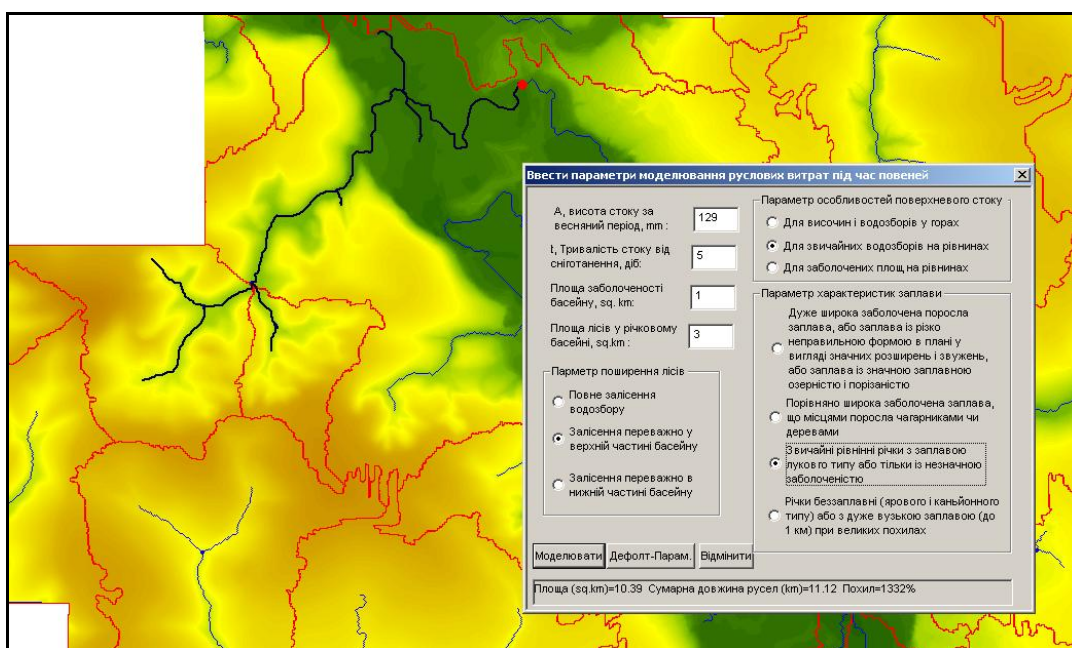
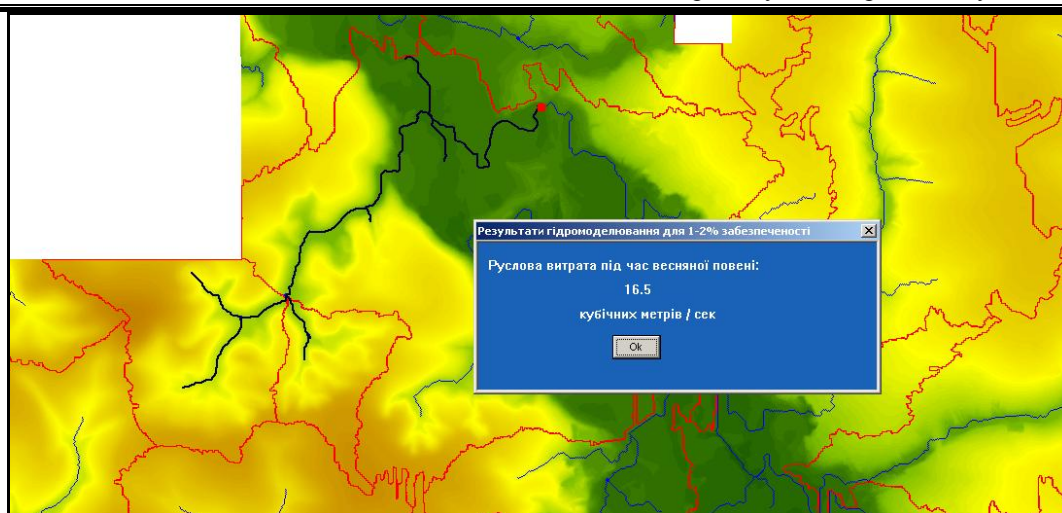


Рис. 1. Структура руслових витрат під час весняної повені

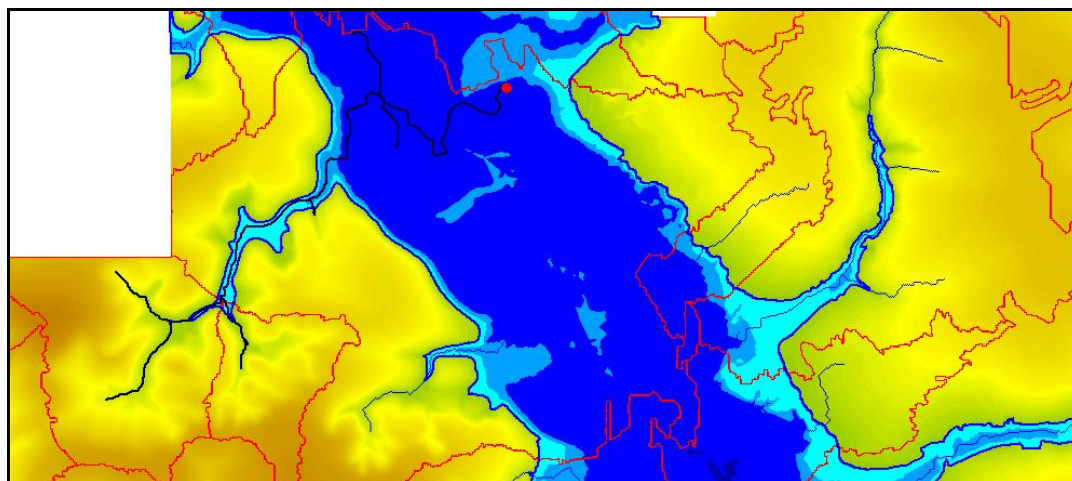
Генерована витрата води під час весняної повені відображена на рис. 2. Наведений приклад стосується моделювання руслових максимумів у гирлі великої балки під час активного весняного сніготанення. В регіональному аспекті дана територія належить до басейну р. Сіверський Донець, і вхідні параметри моделі відбивають місцеві фізико-географічні умови відповідної пори року, які і обумовлюють весняну повінь 1% ступеню забезпеченості.

На рис. 3 наведена імовірна зона затоплення під час такої повені. Ця зона обумовлюється відповідними вхідними параметрами моделі (див. рис. 1), і подібний результат важко переоцінити для планування заходів щодо запобігання надзвичайних ситуацій.

Головним вихідним параметром другої РГМ – максимумів від літніх паводків є показник руслових витрат ( $Q$ ,  $m^3/сек$ ) 1-2% забезпеченості ( $p$ ) для певної точки поперечного перерізу (створу) річкового русла.



**Рис. 2.** Результати моделювання руслових витрат в обраному перерізі русла під час весняної повені в басейні р. Уди



**Рис. 3.** Імовірна зона затоплення

Тобто, саме такий параметр, як і в РГМ витрат від весняних повеней. В РГМ руслових витрат від дощових злив таким же чином враховуються параметри тієї складової системи водозбору, яка відбивається морфолого-морфометричними характеристиками рельєфу, котрі і склали першу групу вхідних параметрів цієї РГМ (рис. 4). Тобто, крім залежності від домінуючого параметра – площі, також враховується зв'язок максимальних дощових витрат  $q$  із сумарною довжиною ділянок русла (від витoku до точки визначення – поперечного створу)  $L$  і із середньозваженим похилом русла  $J$ . Друга група вхідних параметрів складається із решти гідролого-метеорологічних характеристик, наприклад – інтенсивність злив, і інших ландшафтних показників. Третя група вхідних параметрів РГМ витрат від дощових злив відбиває фактори місцевого характеру: лісистість водозбору; його заболоченість; ті особливості рельєфу, що не входять до першої групи, наприклад – характеристики русла та поверхні заплави; зарегульованість русла – природна (через озера) і штучна (ставки і водосховища).

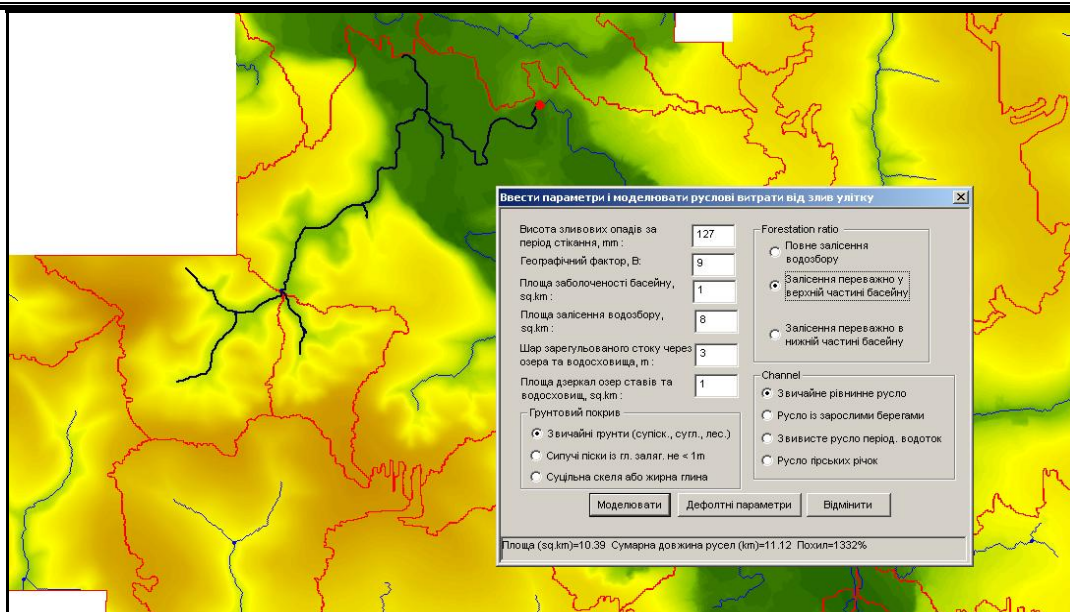


Рис. 4. Руслові витрати під час літнього зливого паводку

Для уточнення остаточних результатів в другій РГМ шукалася залежність між: 1) географічним параметром розрахунків; 2) максимальним добовим шаром опадів 3) значенням максимальної руслової витрати від зливи за певною емпіричною формулою; 4) значенням максимальної руслової витрати від зливи за даними спостережень.

**Висновки.** Важливими параметричними характеристиками структури руслових витрат є, по-перше, емпіричний зв'язок довжини головного русла басейну із водозбірною площею, яка дренується цим руслом, а, по-друге – знову ж таки емпірична залежність між довжиною ділянки цього русла від витоків до певної точки на руслі і наростанням величини площі, яка дренується цією ділянкою, якщо робити виміри при русі спостерігача від витоків до гирла головного русла.

Так звана "Імовірнісна Модель Річкової Мережі" Р. Шрива пропонує вже аналітичний вираз залежності між показником магнітуди мережі (яка дорівнює кількості витоків у мережі і є, як правило, прямо пропорційною площі басейну)  $m$  і довжиною головного русла у мережі, що має таку магнітуду  $l(m)$ . Ця залежність передбачає коефіцієнт  $\theta(m)$ , який визначається середніми ухилами по ланках мережі

$$\log l(m) = \theta(m) \cdot \log(m)$$

В цілому ж методи ГІС-аналізу дозволяють досить коректно реалізувати складні просторові моделі комплексної оцінки стану середовища й одночасно вивчати комбінації різних природно-техногенних чинників. Ці технології призводять до швидкого і ефективного оперування даними, що мають виразну, детальну (чітко координатну, тривимірну) просторову прив'язку, збереження даних, швидкий і зручний доступ до них. Що на-

дасть можливість здійснювати удосконалення методики наукового обґрунтування розрахунку визначення зон затоплень при розташуванні дамб обвалування із врахуванням імовірності процесу формування стоку. Отримані результати стосуються покращення сучасної автоматизованої системи гідрометеорологічних спостережень та прогнозування гідроекологічного стану геосистем в межах басейну р. Уди.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Чіпак В.П. Система протипаводкових заходів у басейні р. Боржава / В.П. Чіпак, Т.П. Мельник. – Рівне: Волинські обереги, 2008. – 202 с.
2. Якушев А.І. Гідроморфологічний моніторинг стоку річок басейну р. Тиси і її приток / Якушев А.І., Зубач В.М., Мельник Т.П. – Рівне: Волинські обереги, 2009. – 64 с.
3. Костріков С.В. Загальні принципи вибору моделей і середовищ моделювання водозбірних басейнів / С.В. Костріков // Культура народів Причорномор'я (Географічні науки). Научний журнал, 2005. – № 67 – С. 24-29.
4. Карпець К.М. Щодо можливості прогнозування якості стану довкілля та попередження виникнення надзвичайних ситуацій застосовуючи ГІС-технології / К.М. Карпець // Проблеми надзвичайних ситуацій : зб. наук. пр. / НУЦЗ України. – Вип. 17. 2013. – С. 66-71.
5. Лук'янець О.І. Комплексна басейнова система прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових / О.І. Лук'янець, М.М. Сусідко // Наук. праці УкрНДГМІ, 2004. – Вип. 253. – С.47-51.

К.М. Карпець

**Применение методов ГИС-анализа для моделирования зоны наводнения и расхода воды в период паводка с целью предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций**

Рассмотрена возможность применения компьютерных технологий водораспределения для проведения оценки экологического состояния поверхностных водных объектов и водосборных территорий, для выявления возможности возникновения чрезвычайных ситуаций с целью своевременной ликвидации их последствий.

**Ключевые слова:** водораспределение, моделирование, зона затопления.

К.М. Karpets

**Application of methods of GIS analysis for modeling flood zone and water expenses during floods to prevent emergencies**

The possibility of using computer technology to assess water distribution ecological status of surface water bodies and catchment areas in order to identify the potential for emergency in order to response timely.

**Keywords:** water distribution, modeling, area flooding.

*В.И. Кривцова, д.т.н., профессор, НУГЗУ,  
Ю.П. Ключка, д.т.н., с.н.с., нач. НИЛ, НУГЗУ,  
А.И. Тарариев, адъюнкт, НУГЗУ*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ГАЗОВ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Дальнейшее развитие получила математическая модель по определению воздействия опасных факторов чрезвычайных ситуаций на системы хранения взрывоопасных газов из композитных материалов.

**Ключевые слова:** пропан-бутан, взрывоопасные газы, термодинамические характеристики, композитные баллоны.

**Постановка проблемы.** В последние десятилетия композитные материалы находят широкое применение в промышленной среде [1-5, 7-9]. Наибольший прогресс достигнут в области композитных трубопроводов, баков хранения и оборудования для жидких текучих сред. Высокая стоимость замены стали (сплавов) и увеличение срока службы новых конструкций способствуют применению композитов, выдерживающих экстремальные условия. Эта тенденция наблюдается и в изготовлении композитных баллонов для газов пропан-бутан. Одной из проблем является отсутствие информации о пожаровзрывоопасных характеристиках данных систем и, как следствие, действий оперетивно-спасательных сил в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) при наличии в области воздействия опасных факторов ЧС композитных баллонов с газом пропан-бутан.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Анализ показал, что по всем потребительским качествам композитные баллоны являются не хуже, чем металлические [2]. Следует отметить, что выбору композитов способствует ряд преимуществ этих составов по сравнению со сталью, что обуславливает большую надёжность данных систем [2, 9]:

- Показатели коэффициентов удельной прочности и жесткости. При одинаковой прочности композиты могут быть на 80% легче стали и на 60% легче алюминия.

- Устойчивость к коррозии практически в любой химической среде.

- Низкая теплопроводность.

- Износоустойчивость.

Одним из наиболее распространенных видов ЧС являются пожары. В работах [2–5] проанализирована изученность вопроса пожаровзрывоопасности (ПВО) композитных баллонов с газом "пропан-бутан" и для композитных баллонов получено аналитическое выражение, которое отображает время достижения критических температур для систем хранения газа в композитных баллонах при воздействии на них тепловых потоков [2]

$$T_{2i}A_i + \int_0^{\tau_i} T_{2i} d\tau = 345 \int_0^{\tau_i} \lg(8 \cdot \tau + 1) d\tau + T_0(A_i + \tau_i), \quad (1)$$

где  $A_i = \frac{c_{gi} m_{gi} \delta_i}{\lambda_i S_i}$ ;  $c_{gi}, m_{gi}$  – теплоемкость и масса газа в  $i$ -ой системе;  $T_{2i}$  – температура газа в  $i$ -ой системе в процессе воздействия тепловых потоков;  $\lambda_i, S_i, \delta_i$  – теплопроводность стенок, площадь и толщина стенок сосуда в  $i$ -ой системе.

Однако данное выражение не учитывает нелинейность изменения температуры в стенке, что оказывает существенное воздействие на показатели прочности баллона.

Анализ экспериментальных данных [9] показал, что изменение относительной прочности композита от температуры может варьироваться в широком диапазоне значений, особенно при температуре свыше  $200^\circ\text{C}$  (рис. 1).

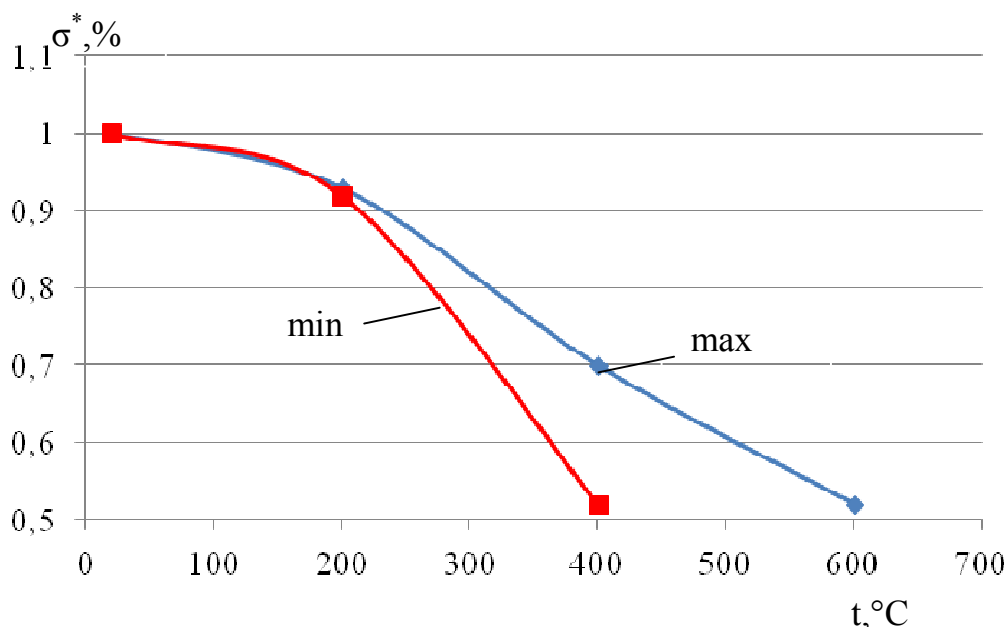


Рис. 1. Зависимость относительной прочности материала от температуры [9]



Из рисунка следует, что, например, относительная прочность равная 0,5 может достигаться в интервале температур (400–600)°С, что может оказывать существенное влияние на состояние композитного баллона в условиях пожара.

В работе [8] получена математическая модель по определению воздействия опасных факторов пожара на композитные системы хранения газов. Однако в данной работе температура в стенке принимается как средняя, в то время как ее распределение имеет параболический вид и в качестве граничных условий на внешней стороне стенки принимаются – первые, в то время как, например, при воздействии лишь конвективных потоков от пожара, рациональнее применять граничные условия третьего рода.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является построение математической модели по определению воздействия опасных факторов ЧС на композитные системы хранения газов с учетом вышеизложенных недостатков.

В данной статье будет рассмотрена ситуация когда огонь не оказывает непосредственное воздействие на баллон, а учитывается лишь воздействие конвективных тепловых потоков от источника огня в соответствии со стандартным температурным режимом при пожаре. Тогда зависимость температуры можно записать в виде [6]

$$T_1 = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0 + 273, \quad (2)$$

где  $T_0$  – начальная температура в помещении;  $\tau$  – длительность пожара в мин.

Аппроксимация кривых (рис.1) позволила представить зависимости относительной прочности от температуры в следующем виде

$$\sigma_{\max}^* = -6,05 \cdot 10^{-7} T^2 - 4,882 \cdot 10^{-4} T + 1,02, \quad (3)$$

$$\sigma_{\min}^* = -4,094 \cdot 10^{-6} T^2 + 4,561 \cdot 10^{-4} T + 0,992. \quad (4)$$

Тогда, усредненное значение относительной прочности, можно представить в виде рис. 2.

С учетом того, что площадь поперечного сечения баллона равна  $\pi(r_1^2 - r_2^2)$ , относительную прочность стенки баллона можно записать как

$$\sigma_s^* = \int_{r_2}^{r_1} \frac{2\pi \sigma^*(T(r, \tau))}{\pi(r_1^2 - r_2^2)} dr. \quad (5)$$

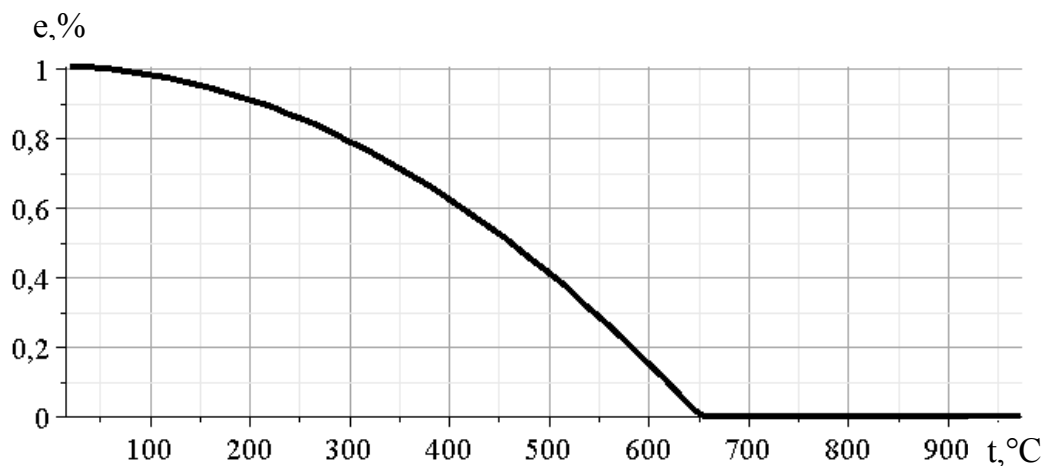


Рис. 2. Среднее значение относительной прочности материала от температуры [7, 9]

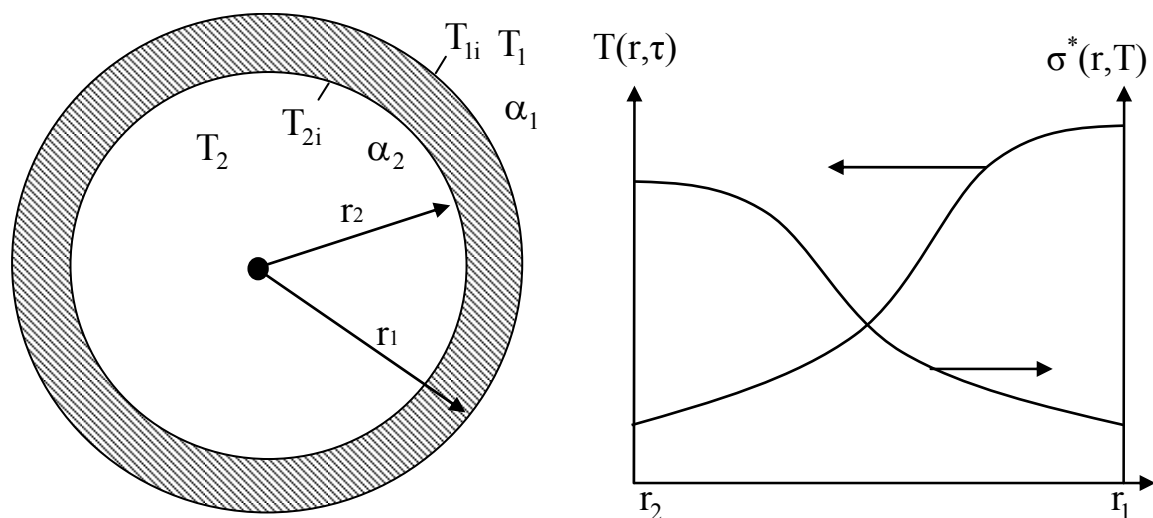


Рис. 3. Схема поперечного разреза баллона и распределения температуры, относительной прочности в стенке композитного баллона при воздействии тепловых потоков:  $T_{1i}$ ,  $T_{2i}$  – температура внешней и внутренней поверхности стенки баллона;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – усредненные значения коэффициента теплоотдачи на внешней и внутренней поверхности стенки баллона;  $T_2$  – температура газа

В условиях пожара коэффициент теплоотдачи от нагретых продуктов сгорания к объекту можно представить в виде [6]

$$\alpha = 11,63 \cdot \exp(0,0023T). \quad (6)$$

Уравнение сохранения тепла при передаче тепла от стенки баллона к газу, с учетом граничных условий третьего рода можно записать в виде

$$S \int_0^{\tau} \alpha_2 (T_{2i} - T_2) d\tau = (T_2 - T_0) c_{gi} m_{gi}. \quad (7)$$

Тогда математическую модель по определению воздействия продуктов сгорания на баллон с пропан-бутаном можно записать в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1 = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0 + 273; \\ \alpha_1 (T_1 - T_{1i}) = \lambda_b \frac{\partial T}{\partial r}; \alpha_1 = 11,63 \cdot \exp(0,0023T_1); \\ \frac{\partial}{\partial \tau} T(r, \tau) = \alpha \cdot \left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} T(r, \tau) + \frac{\frac{\partial}{\partial r} T(r, \tau)}{r} \right); \\ \alpha_2 (T_{2i} - T_2) = \lambda \frac{\partial T}{\partial x}; \\ S \int_0^{\tau} \alpha_2 (T_{2i} - T_2) d\tau = (T_2 - T_0) c_{gi} m_{gi}; \\ \sigma_s^* = \int_{r_2}^{r_1} \frac{2\pi r \sigma^*(T(r, \tau))}{\pi(r_2^2 - r_1^2)} dr; \\ P_{\max} = f \left[ T_{2i}, c_{p_{gi}}, m_{gi}, V_{bi}, \sigma^*(T(r, \tau)) \right]; \\ \tau_{\max} = \varphi \left[ T_{2i}, c_{p_{gi}}, m_{gi}, V_{bi}, \sigma^*(T(r, \tau)) \right]. \end{array} \right. \quad (8)$$

Решение данной системы уравнений позволяет определить изменение давления газа пропан-бутан, а также время до достижения предельного давления, с учетом изменения прочности баллона, и выделения взрывоопасного газа из баллона.

**Выводы.** В результате проведенной работы дальнейшее развитие получила математическая модель по определению воздействия опасных факторов ЧС на композитные системы хранения взрывоопасных газов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев В.В. Композиционные наноматериалы / А.Ю. Алентьев, Б.И.Лазорьяк, О.Н. Шорникова // Учебное пособие для студентов. – Москва: МГУ, 2010.-С.16-19.
2. Ключка Ю.П. Характеристики композитных баллонов с газом «пропан-бутан» с учётом их пожаровзрывоопасных свойств / Ю.П. Ключка, А.И. Тарариев // Проблемы пожарной безопасности. –

2014. – Вып. 35. – С. 93-99.

3. Лурье С.А. Моделирование зависимостей физико-механических характеристик от параметров микро- и наноструктуры полимерных композиционных материалов / Ю.М. Миронов, В.А. Нелюб, А.С. Бородулин, И.В. Чуднов, И.А. Буянов, Ю.О. Соляев. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014 – С. 13-19.

4. Ключка Ю.П. Анализ пожаровзрывоопасности систем хранения газа "пропан-бутан" / Ю.П. Ключка, А.И. Тарариев // Проблемы пожарной безопасности. – 2013. – Вып. 34. – С. 98-106. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol34/kluchka.pdf>.

5. Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе» [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.metaninfo.ru/aftmarchive/aftm\\_3.pdf](http://www.metaninfo.ru/aftmarchive/aftm_3.pdf).

6. Рябова І.Б. Термодинаміка і теплопередача у пожежній справі / І.Б. Рябова, І.В. Сайчук, А.Я. Шаршанов // Навчальний посібник. – Харків: АПБУ, 2002. – 382 с.

7. Павлов В.П. Прочность конструкций из стеклопластиков при повышенных и высоких температурах / В.С. Жернаков // Автореферат. – Уфа: УГАТУ, 2005. – 24 с.

8. Кривцова В.И. Определение времени разрушения баллона с водородом, обусловленного изменением температурных параметров окружающей среды / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка, В.Г. Борисенко // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2010. – № 27. – С. 83–95.

9. Гутников С.И. Стекланные волокна / С.И. Гутников, Б.И. Лазорак, Селезнев А.Н. // Учебное пособие для студентов. – Москва: МГУ, 2010. – 126 с.

В.І. Кривцова, Ю.П. Ключка, А.І. Тарарієв

**Математична модель з визначення впливу небезпечних факторів надзвичайних ситуацій на системи зберігання вибухонебезпечних газів з композитних матеріалів**

Подальший розвиток отримала математична модель по визначенню впливу небезпечних чинників надзвичайних ситуацій на системи зберігання вибухонебезпечних газів з композитних матеріалів.

**Ключові слова:** пропан-бутан, вибухонебезпечні гази, термодинамічні характеристики, композитні балони.

V.I. Krivtsova, Yu.P. Kluchka, A.I. Tarariev

**Mathematical model for determination of hazard emergency factors influence on explosive storage of composite materials systems**

It has been continued the development of a mathematical model to identify the impacts of emergency hazards on the storage systems of explosive gases from composite materials.

**Keywords:** propane, butane, explosion gases, thermodynamic characteristics, composite cylinders.

*М.В. Кустов, к.т.н., зам. нач. каф., НУГЗУ*

## **ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ В АТМОСФЕРЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСАДКОВ НАД ЗОНОЙ ВЫБРОСА ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ**

(представлено д-ром техн. наук Тарасенко А.А.)

Аналитически рассмотрено влияние концентрации ядер каплеобразования и относительной влажности воздуха на скорость коагуляции и испарения воды в процессе осадкообразования в атмосфере.

**Ключевые слова:** вымывание веществ из атмосферы, свободные ионы, ядра конденсации, степень пересыщения, коагуляция, интенсивность осадков.

**Постановка проблемы.** При авариях на предприятиях использования и переработки радиоактивных и химически опасных материалов происходит выброс опасных веществ в верхние слои атмосферы, что приводит к значительной зоне загрязнения. Существенно снизить зону распространения радиоактивных и химически опасных веществ позволяют атмосферные осадки. Искусственное инициирование и интенсификация осадков возможна за счёт введения активных центров каплеобразования. Наиболее активными центрами каплеобразования в атмосфере являются заряженные частицы (ионы). Исходя из этого, одной из проблем подлежащих разрешению, является определение достаточной концентрации атмосферных ионов для искусственного инициирования осадкообразования в атмосфере.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вымывание осадками из атмосферы загрязняющих веществ происходит путём их седиментации на поверхности капель дождя [1, 2]. На сегодняшний день в целях интенсификации осадков применяются методы засева атмосферы химическими центрами каплеобразования (соли AgI) и ядрами кристаллизации (твёрдый CO<sub>2</sub>) [3]. Однако применение таких методов жёстко ограничено метеорологическими условиями, при которых их можно применять. Снизить требования по метеоусловиям для искусственного инициирования осадков позволяет использование в качестве ядер конденсации ионов [1, 3-5]. Однако вопрос установления влияния их концентрации на интенсивность осадков остается нерешённым.

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является установление концентрационной зависимости интенсивности осадкообразования от ионного состава атмосферы над зоной выброса опасных радиоактивных и химических веществ.

В общем виде интенсивность осадков определяется влажностью воздуха в области осадкообразования и количеством первичных ядер конденсации:

$$\begin{aligned} \frac{dr}{d\tau} &= \left( \frac{dr}{d\tau} \right)_{kond} + \left( \frac{dr}{d\tau} \right)_{koag} = \\ &= \frac{D \cdot M \cdot P_{\infty}}{k \cdot N_A \cdot \rho \cdot T_{\infty} \cdot r} [S - S_{кр}] + \rho \int_{r_0}^r \frac{E(r, R) \cdot \eta(r, R) \cdot R^3}{3r^2} dR \end{aligned} \quad (1)$$

где  $r$  – радиус капли в момент времени  $\tau$ , м;  $R$  – радиус капель-доноров, которые поглощаются более крупными каплями в результате коагуляции, м;  $D$  – коэффициент молекулярной диффузии водяного пара в воздухе,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $M$  – молярная масса воды,  $M = 0,018 \text{ кг моль}^{-1}$ ;  $k$  – постоянная Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $N_A$  – число Авогадро,  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ ;  $P_{\infty}$  – давление насыщения водяного пара на достаточно большом расстоянии, Па;  $\rho$  – плотность воды,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $T_{\infty}$  – температура пара на достаточно большом расстоянии от капли, К;  $n(r)$  – концентрация капель с радиусом  $r$ ,  $\text{м}^{-3}$ ;  $E(r)$  – коэффициент коагуляции нейтрального аэрозоля;  $\eta(r)$  – функция распределения капель по размеру;  $S_{кр}$  – критическая относительная влажность атмосферы, ниже которой происходит обратный процесс – испарение капли.

Как видно из (1) скорость роста капли и при конденсации и при коагуляции существенно зависит от размера самой капли, однако имеет различный характер зависимости. Графическая зависимость скорости каплеобразования от размеров капли представлена на рис. 1.

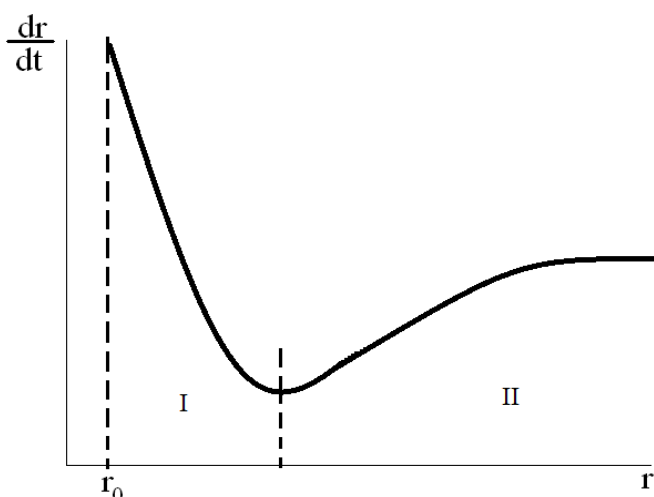


Рис. 1. Влияние размера капель на скорость каплеобразования

На рис. 1 видно, что если ядро конденсации не достигает определённого критического размера  $r_0$ , то конденсация не происходит. Это связано с тем, что разница свободных энергий пара и конденсиро-

ванной воды имеет экстремум по радиусу капли  $\left[ \frac{d(\Delta G)}{dr} = 0 \right]$ . Представленную на рис. 1 зависимость также можно разделить на два участка. Первому участку соответствует доминирующая роль процесса конденсации, а во втором участке начинает преобладать процесс коагуляции.

Однако в случае каплеобразования на ионе процесс конденсации можно разделить на две отдельных стадии. Во-первых, происходит образование начального кластера на ионе за счёт ион-дипольного взаимодействия с молекулами воды, и в этом случае критическая относительная влажность ( $S_{кр}^i$ ) определяется из выражения [6]:

$$S_{кр}^i = \exp \left[ \frac{M}{\rho \cdot N_A \cdot k \cdot T} \left( \frac{2\sigma}{r_{кл}} - \frac{q^2}{32\pi^2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r_q^4} - \frac{\rho \cdot N_A \cdot q \cdot \mu_e}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l^2 \cdot M} \cdot \cos\theta \right) \right], \quad (2)$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения, Дж·м<sup>-2</sup>;  $r_{кл}$  – радиус первичного кластера воды, м;  $r_q$  – радиус заряженного ядра конденсации, м;  $q$  – заряд ядра конденсации, Кл;  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость атмосферы;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума,  $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф·м<sup>-1</sup>;  $\mu_e$  – момент диполя молекулы воды, Кл·м;  $l$  – расстояние между ионом и диполем, м;  $\theta$  – угол, образованный осью между ионом и центром диполя и осью диполя.

Для ионов  $O_2^+$  критическая относительная влажность составляет  $S_{кр}^i = 0,47$ , что является границей применения различных методов искусственного увеличения концентрации ионов для стимуляции осадкообразования в атмосфере. Для примера граница применения метода засева области атмосферы химически активными солями (AgI) составляет 0,6-0,75 и при этом воздействие возможно лишь на уже сформировавшиеся облака [1, 3, 7, 8].

Второй стадией является конденсация пара на поверхности водяного кластера. В этом случае влиянием иона можно пренебречь:

$$S_{кр}^e = \exp \left( \frac{2\sigma \cdot M}{\rho \cdot N_A \cdot k \cdot T \cdot r} \right). \quad (3)$$

В нормальных атмосферных условиях  $S_{кр}^e \approx 1$ , при которой обычно и наблюдаются осадки, однако при влажности воздуха меньше влажности насыщения ( $S_{кр}^i < S < S_{кр}^e$ ), фоновой концентрации ионов недостаточно для инициирования осадков.

Это объясняется тем, что образовавшиеся в малом количестве капли с достаточным размером «выпадают» из зоны осадкообразования (облака) и в нижних слоях тропосферы попадают в зону с другими

термодинамическими параметрами (с меньшей влажностью и более высокой температурой) где происходит их испарение. В работе [9] нами рассмотрен процесс испарения капель при выпадении и установлено, что капли испаряются полностью в атмосфере не достигая поверхности земли до тех пор пока увеличение влажности нижней тропосферы не снизит скорость испарения. Таким образом, для того, что бы осадки достигали поверхности земли скорость роста капель в облаке должна превышать скорость испарения капель при выпадении.

При низких значениях влажности ( $S_{кр}^i < S < S_{кр}^e$ ) влияние конденсации на скорость роста капель незначительно, а определяющую роль играет коагуляция первичных водяных кластеров. В формировании капель дождя в облаках наибольшую роль играет гравитационная коагуляция [10], физический смысл которой заключается в захвате мелких капель крупной при падении.

Таким образом, для определения минимальной концентрации ионов при которой будут наблюдаться осадки в условиях  $S_{кр}^i < S < S_{кр}^e$  необходимо сравнить скорость коагуляции кластеров со скоростью испарения. Используя (1) и модель испарения капли [9] получаем графические зависимости, представленные на рис. 2. Здесь необходимо отметить, что представленная на рисунке зависимость скорости каплеобразования (пов. 1) рассчитывается для термодинамических параметров в зоне осадкообразования (облако). Тогда как скорость испарения капель зависит от термодинамических параметров той зоны атмосферы (ниже облака), которую пролетает капля при падении. Поэтому на рис. 2 представлена для сравнения скорость испарения капель (пов. 2) при постоянных термодинамических параметрах нижней тропосферы (степень пересыщения – 0,5; температура воздуха – 10°C).

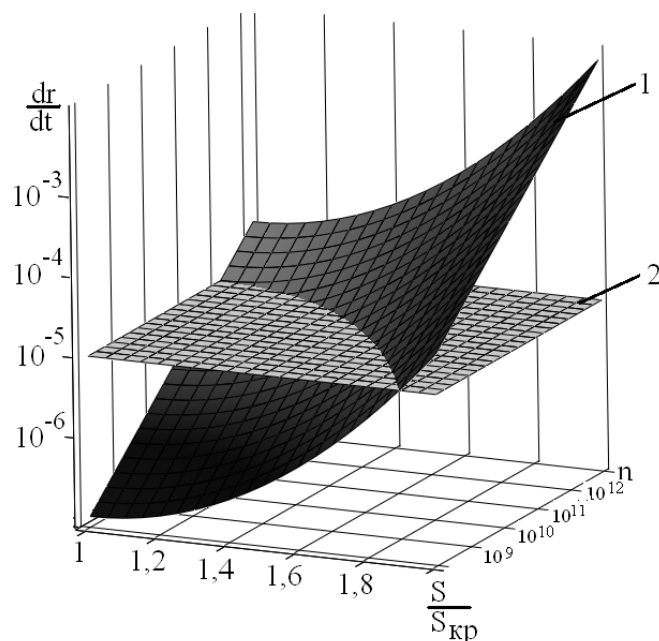


Рис. 2. Влияние концентрации ядер и относительной влажности на скорость коагуляции (пов. 1) и испарения (пов. 2)



Из рисунка 2 видно, что осадкообразование в условиях  $S_{кр}^i < S < S_{кр}^6$  протекает при концентрации ионов не ниже  $(10^{11}-10^{12}) \text{ м}^{-3}$  в зависимости от относительной влажности воздуха. Учитывая, что фоновая концентрация ионов в атмосфере составляет  $(10^8-10^9) \text{ м}^{-3}$  [1], то для искусственного инициирования осадков необходимо увеличение концентрации ионов на 2-4 порядка.

**Выводы.** В работе рассмотрено влияние концентрации ядер каплеобразования на интенсивность совместного процесса конденсации пара и коагуляции капель в облаке. Полученные зависимости позволяют прогнозировать интенсивность осадков над зоной выброса опасных веществ в атмосферу с учётом их химических свойств и термодинамических характеристик атмосферы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ивлев Л.С. Физика атмосферных аэрозольных систем / Л.С. Ивлев, Ю.А. Довгалюк. – СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. – 194с.
2. Семенченко Б.А. Физическая метеорология / Б.А. Семенченко // М.: Аспект Прогресс, 2002. – 415 с.
3. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы / Л.Г. Качурин // Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 463 с.
4. Куни Ф.М. К теории зародышеобразования на заряженных ядрах. 2. Термодинамические параметры равновесного зародыша / Ф.М. Куни, А.К.Щекин, А.И.Русанов // Коллоидный журн, 1982. – Т.44. №.6. – С. 1062-1068.
5. Палей А.А. Исследование процессов конденсации паров на электрически заряженных аэрозольных частицах / А.А. Палей, В.Б. Лапшин, Н.В. Жохова, В.В. Москаленко // Электронный научный журнал «Исследовано в России» – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/027.pdf>.
6. Кустов М.В. Влияние межчастичных взаимодействий на процесс осадкообразования в искусственно ионизированной области атмосферы / М.В. Кустов, В.Д. Калугин // Пожежна безпека. – Львів: ЛДУБЖД, 2013. – №. 23. – С. 94-101.
7. Мейсон Б.Дж. Физика облаков / Б.Дж. Мейсон // Л.: Гидрометиздат, 1962. – 541 с.
8. Порядок проведения работ по искусственному вызыванию осадков из конвективных облаков при борьбе с лесными пожарами с борта легкомоторных воздушных судов. Инструкция: РД 52.04.628-2001. – [Действительный с 2002-03-01]. – Росгидромет. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 18 с. – (Руководящий документ).
9. Шаршанов А.Я. Моделирование атмосферных осадков для определения их противопожарного потенциала / А.Я. Шаршанов,

---

М.В. Кустов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2013. – Вып. 34. – С. 186-193. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol34>.

10. Волошук В.М. Кинетическая теория коагуляции. Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 284 с.

М.В. Кустов

**Вплив концентрації іонів в атмосфері на інтенсивність опадів над зоною викиду небезпечних речовин**

Аналітично розглянуто вплив концентрації ядер капле утворення та відносної вологості повітря на швидкість коагуляції та випаровування води в процесі опадоутворення в атмосфері.

**Ключові слова:** вимивання речовин з атмосфери, вільні іони, ядра конденсації, ступінь перенасичення, коагуляція, інтенсивність опадів.

M.V. Kustov

**The effect of the ion concentration in the atmosphere on the intensity of precipitation over the area of dangerous substances release**

It is analytically examined the effect of the nuclei drop concentration and relative humidity on the rate of coagulation and evaporation of water in the process of precipitation in the atmosphere.

**Keywords:** leaching of substances from the atmosphere, free ions, condensation nuclei, the degree of supersaturation, coagulation, precipitation intensity.

*І.М. Неклонський, ст. викладач, НУЦЗУ,  
В.О. Самарін, викладач, НУЦЗУ,  
О.М. Фурсенко, к.т.н., докторант, Інститут геохімії  
наволишнього середовища НАН України*

## **СПОСІБ КІЛЬКІСНОГО ОПИСАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОГО ПІДПОРЯДКУВАННЯ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

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

На основі теорії графів визначено спосіб кількісного описання взаємодії підрозділів різного підпорядкування при виникненні надзвичайних ситуацій.

**Ключові слова:** взаємодія, система взаємодії.

**Постановка проблеми.** Забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту здійснюється єдиною державною системою цивільного захисту (ЄДС ЦЗ), яка складається з функціональних і територіальних підсистем та їх ланок. [1] Тобто ЄДС ЦЗ є організаційною системою, в рамках якої взаємодіють і координують свою роботу відповідні органи управління. Ця система повинна забезпечити комплексне використання сил і засобів органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування та організацій (галузей і об'єктів економіки), а також різних громадських організацій, до компетенції яких входить вирішення питань захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій (НС). Відомо, що при дослідженні систем різного призначення часто приходиться розглядати взаємодію їх елементів з точки зору теорії конфліктів: як відносини співпраці, або як конфліктні відносини, або як нейтральні відносини [2]. При цьому в залежності від прикладного характеру задач, що вирішуються, вважають, що наявність (відсутність) конфліктної взаємодії негативно (позитивно) впливає на функціонування системи в цілому.

Сучасні наукові дослідження проблем взаємодії підрозділів різного підпорядкування при ліквідації наслідків НС направлені на отримання формальних критеріїв для оцінки ефективності організації взаємодії суб'єктів з точки зору доцільності або раціональності її організації і не дають чіткого розуміння змін стану самих суб'єктів при впливі керуючих факторів. У зв'язку з цим виникає необхідність кількісного опису взаємодії між суб'єктами організаційної системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З метою розв'язку задачі отримання формальних критеріїв для оцінки ефективності органі-

зації взаємодії під час аналізу системи взаємодії в роботах [3, 4] одержано формальні критерії (показник подібності структурних елементів, показник повноти організації взаємодії, показник раціональності варіантів організації взаємодії) для порівняння варіантів організації взаємодії двох суб'єктів, які беруть участь у ліквідації наслідків НС. Розроблена в роботі [5] методика структурно-функціонального аналізу організації взаємодії на основі експертних оцінок за допомогою даних критеріїв дозволяє провести відповідний аналіз системи взаємодії, яка існує або буде створена, але не дає можливості проаналізувати процеси, що проходять у самій системі при зміні стану її елементів під впливом існуючої системи управління.

Способи завдання кількісних характеристик взаємодії елементів системи розглянуті в роботі [6] і можуть бути використані для дослідження широкого спектру різних систем.

**Постановка завдання та його вирішення.** Розглянемо спосіб дослідження системи взаємодії за допомогою теорії графів, що дає можливість оцінити зміни стану елементів системи до і після керуючого впливу.

Структурно-функціональна модель організації взаємодії організаційних систем при ліквідації наслідків НС [7] може бути представлена у вигляді орієнтованого графа  $G=(V,E)$ , де  $V$  – множина вершин графа, що відповідає кількості елементів системи,  $E$  – множина дуг, що відповідає кількості бінарних відносин між елементами системи.

Нехай в початковий період стан кожного елемента кількісно дорівнює вазі відповідної вершини  $x_i^0$ , і із вершини  $x_i$  до вершини  $x_j$  мається дуга  $u_{ij}$ . На елемент системи  $x_i$  впливає орган управління, що змінює його стан до  $x_i^1$ , що, в свою чергу, приводить до зміни вершини  $x_j$  до значення  $x_j^1$ . Тоді для дослідження системи важливим стає кількісна характеристика дуг графа – вага дуги  $u_{ij}$ .

Визначення ваги дуги  $u_{ij}$  пропонується у наступний спосіб:

$$u_{ij} = \frac{x_j^1 - x_j^0}{x_i^1 - x_i^0}. \quad (1)$$

Значення ваги при даному способі буде змінюватись в інтервалі  $(-\infty; +\infty)$ . По знаку дуги можна легко визначити характер зв'язку між вершинами:

- якщо  $u_{ij} > 0$ , то елементи системи співпрацюють;
- якщо  $u_{ij} < 0$ , то елементи системи конфліктують;
- якщо  $u_{ij} = 0$ , то відносини нейтральні;

- якщо  $u_{ij} = +\infty$  або  $u_{ij} = -\infty$ , то відбувається тісна співпраця або суперконфлікт відповідно, коли при малому змінні значення  $x_i$  відбувається безкінечно велике зміння значення  $x_j$ .

В свою чаргу, відповідно (1) розрахунок ваги вершин графа може розраховуватись по наступній формулі:

$$x_j^1 = x_j^0 + \Delta x_i \cdot \prod u_{ij}, \quad (2)$$

де  $\Delta x_i = x_i^1 - x_i^0$ ,  $\prod u_{ij}$  – добуток ваги дуг простого шляху з вершини  $x_i$  до вершини  $x_j$ .

Таким чином, отримана відповідність дозволяє давати кількісну характеристику ваги дуг в графовій моделі й проводити дослідження системи взаємодії з урахуванням аналізу процесів, що проходять у самій системі при зміні стану її елементів під впливом існуючої системи управління.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про єдину державну систему цивільного захисту: постанова Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014р. № 11 [Текст] // Офіційний вісник України. – 2014. – № 8. – Ст. 341.

2. Сысоев В.В. Конфликт. Сотрудничество. Независимость: системное взаимодействие в структурно-параметрическом представлении [Текст] / В.В. Сысоев. – Москва: МАЭиП, 1999. – 151 с.

3. Кириченко І. О. Підбір вихідних даних для визначення пріоритетних напрямів взаємодії між формуваннями сил цивільного захисту МНС України та підрозділами внутрішніх військ МВС України у разі виникнення надзвичайних ситуацій [Текст] / І.О. Кириченко, І.М. Неклонський // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. – 2011. – Вип. 13 – С. 77 – 84.

4. Неклонський І.М. Визначення критерія оцінки ефективності організації взаємодії підрозділів МНС України та МВС України при ліквідації надзвичайних ситуацій [Текст] / І.М. Неклонський, О.В. Єлізаров // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. – 2012. – Вип. 15. – С. 89 - 98.

5. Неклонський І.М. Методика структурно-функціонального аналізу організації взаємодії між частинами та підрозділами внутрішніх військ МВС України та формуваннями сил цивільного захисту при виникненні надзвичайних ситуацій [Текст] / Неклонський І.М. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України, 2013. – Вип. – 18.– С. 125-145.

6. Пьянков О.В. Способы задания количественных характеристик взаимодействия элементов системы [Текст] / О.В. Пьянков [Текст] // Вестник ВИ МВД России. – 2007. – №4. – С.137-139.

7. Неклонський І.М. Структурно-функціональна модель організації взаємодії організаційних систем при ліквідації надзвичайних ситуацій [Текст] / І.М. Неклонський, О.В. Єлізаров // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. – 2012. – Вип. 16. – С. 69-81.

И.М. Неклонский, В.А. Самарин, А.М. Фурсенко

**Способ количественного описания взаимодействия подразделений разного подчинения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций**

На основе теории графов определен способ количественного описания взаимодействия подразделений разного подчинения при возникновении чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** взаимодействие, система взаимодействия.

I.M. Neklonsky, V.O. Samarina, O.M. Fursenko

**The method of quantitative description of different subdivisions cooperation at liquidation of emergencies consequences**

The method of quantitative description of subdivisions cooperation that has different submissions in case of occurring emergencies is defined by the basis of graphs theory.

**Keywords:** interaction, system interaction.

*Б.Б. Поспелов, д.т.н., професор, вед. научн. сотр., НУГЗУ,  
К.М. Остапов, ад'юнкт, НУГЗУ*

## **ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ ГАУССОВОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ФОНОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

(представлено д-ром техн. наук Тарасенко А.А.)

Представлены результаты проверки соответствия закону Гаусса распределения фоновой температуры земной поверхности, регистрируемой радиометром спутника NOAA.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, закон распределения Гаусса, критерий согласия Пирсона.

**Постановка проблемы.** По данным ГСЧС Украины в 2013 г. большая часть чрезвычайных ситуаций обуславливалась пожарами и взрывами [1]. Лесные и другие пожары наносят значительный материальный ущерб и разрушения. Статистика свидетельствует, что ежегодно в среднем возникает около 3,5 тыс. природных пожаров, которыми уничтожается свыше 5 тыс. га леса [2]. Поэтому проблема оперативного и надежного обнаружения лесных пожаров становится одной из главных для Украины. В последнее время для обнаружения лесных пожаров широко используются спутниковые системы с различным пространственным разрешением. При этом надежность обнаружения пожаров по спутниковым данным существенно зависит от статистики температуры фонового излучения поверхности, регистрируемой бортовыми радиометрами.

В [3,4] задача повышения надежности обнаружения пожара по спутниковым данным формулируется в виде статистической задачи обнаружения сигнала на фоне шума. При этом статистика температуры фонового шума, полагается гауссовой. Однако известно, что характеристики обнаружения существенно зависят от статистики фонового шума.

Поэтому важным является проверка адекватности гипотезы о гауссовом распределении фоновой температуры земной поверхности, регистрируемой спутниковыми радиометрами.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Общие методы проверки гипотезы, о виде неизвестного распределения исследуемой выборки данных изложены в [5-7]. Данные методы базируются на соответствующем критерии согласия. Известны несколько критериев согласия. Наиболее универсальным следует считать критерий согласия

Пирсона [5]. При этом проверка адекватности гауссовой статистике распределения реальной фоновой температуры поверхности, регистрируемой бортовыми спутниковыми радиометрами, не проводилась. В силу высокой оперативности получения данных указанная проверка должна, прежде всего, выполняться для спутниковой группировки NOAA.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является проверка адекватности гипотезы о том, что реальная фоновая температура поверхности, регистрируемая спутниковыми радиометрами NOAA, распределена по закону Гаусса.

Проверка гипотезы о виде распределения осуществлялась на основе реализации критерия согласия Пирсона. В соответствии с методом, описанным в [7], определялась мера расхождения эмпирических и теоретических частот по критерию  $\chi^2$  в соответствии с выражением вида:

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}, \quad (1)$$

где  $n_i$  - эмпирические частоты,  $n'_i$  - теоретические частоты.

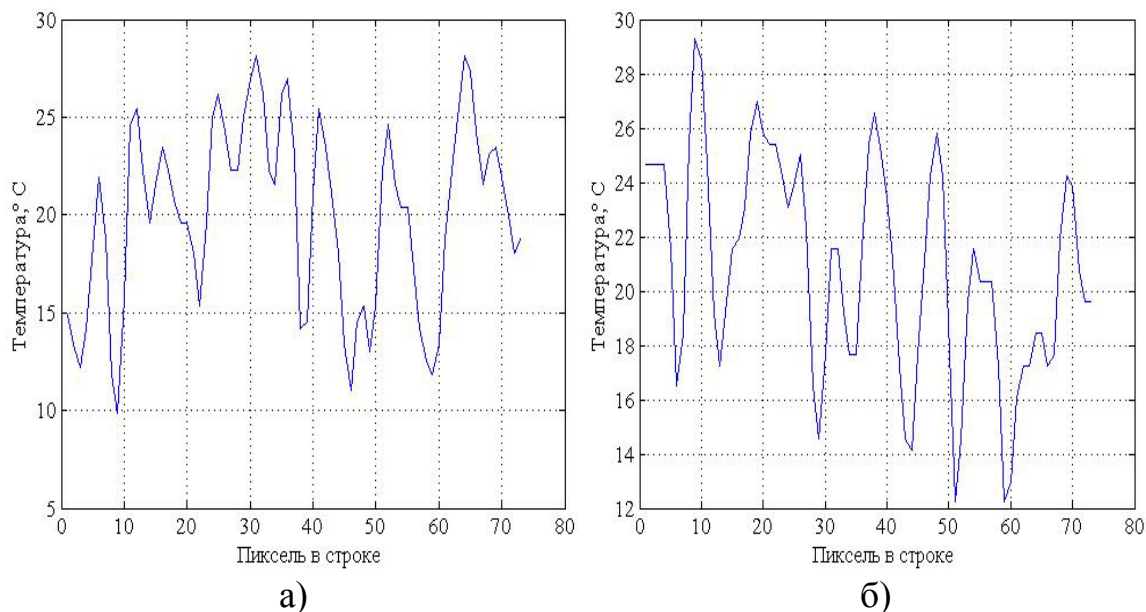
Для выбранного уровня значимости 0,05 по таблице  $\chi^2$  - распределения определялось критическое значение критерия  $\chi_{кр.}$  для числа степеней свободы  $k = b - r - 1$ . Здесь  $b$  — число групп (интервалов) выборки;  $r$  — число параметров предполагаемого распределения.

Если фактически наблюдаемое значение критерия  $\chi_{набл.}$  больше критического, т.е.  $\chi_{набл.} > \chi_{кр.}$ , то принимается решение о том, что распределение является негауссовым, если  $\chi_{набл.} \leq \chi_{кр.}$ , то выборки распределены в соответствии с гауссовым законом.

В качестве исходных использовался архив спутниковых данных за 2012-2014 года. Снимки были получены с помощью персональной спутниковой станции Национального университета гражданской защиты Украины. Исследовались данные радиометра NOAA с пиксельным разрешением 1,1км и 4км. Значения реальных температур земной поверхности выбирались для летнего периода, как наиболее пожароопасного. В качестве иллюстрации на рис. 1 представлены характерные фрагменты реальных значений температур участков земной поверхности для лесостепной и степной зон Украины.

Приведенные данные свидетельствуют о существенной неравномерности значений фоновой температуры для различных пикселей, что подтверждает необходимость проверки адекватности гипотезы о гауссовом распределении фоновой температуры земной поверхности, регистрируемой радиометрами NOAA.





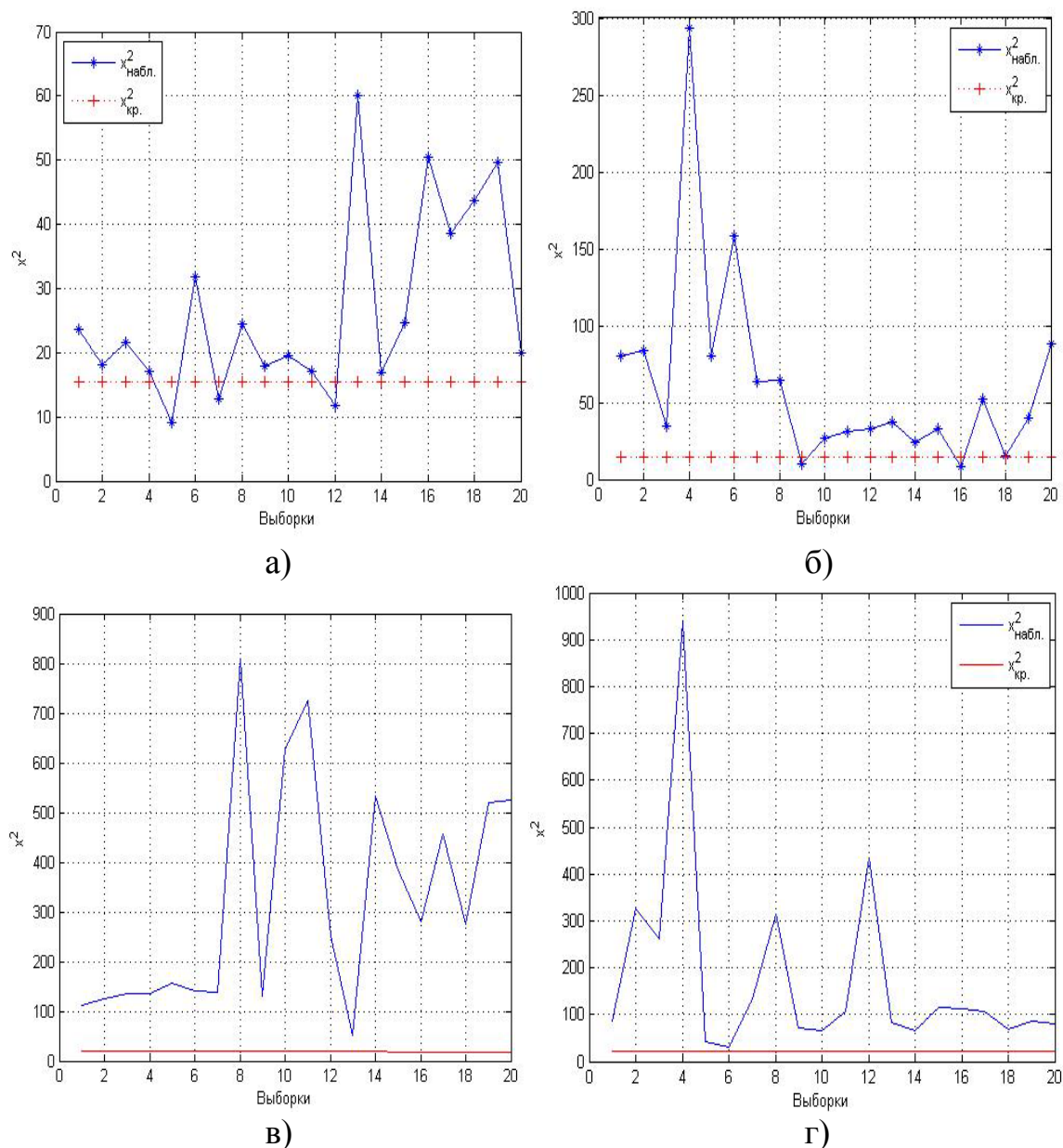
**Рис. 1. Фрагменты реальных значений температур по данным инфракрасного канала радиометра спутника NOAA для лесостепной (а) и степной (б) зон Украины**

На рис. 2 представлены значения критериев  $\chi_{набл.}$  и  $\chi_{кр.}$  для лесостепной и степной зон Украины, полученные на основе данных радиометра при разрешении 4 км и 1,1 км.

Из распределений  $\chi_{набл.}$  и  $\chi_{кр.}$ , полученных на основании снимков с разрешением 4 км., лишь в 10-15% случаев распределение соответствует гауссовскому. Из распределений  $\chi_{набл.}$  и  $\chi_{кр.}$ , полученных на основании снимков с разрешением 1,1 км. на всех выборках  $\chi_{набл.} > \chi_{кр.}$ . Поэтому есть основание утверждать, что температура земной поверхности, регистрируемая спутниковой группировкой NOAA, распределена не по гауссовскому закону.

Из анализа значений  $\chi_{набл.}$  и  $\chi_{кр.}$ , полученных для различных участков на основе данных радиометра с разрешением 4км, справедливость гипотезы о гауссовом распределении температур имеет место в 10-15% случаев. Аналогичный анализ значений  $\chi_{набл.}$  и  $\chi_{кр.}$ , полученных на основе данных радиометра с разрешением 1,1км свидетельствует о том, что  $\chi_{набл.} > \chi_{кр.}$  и поэтому есть основание утверждать, что гипотеза о гауссовом распределении фоновой температуры земной поверхности, регистрируемой радиометром спутника NOAA, не может быть признана адекватной (истинной). Поэтому она должна быть отвергнута.

Исследования в данном направлении целесообразно продолжить в направлении поиска адекватного распределения для описания реальных данных фоновых температур спутникового радиометра NOAA.



**Рис. 2.** Значения критериев  $\chi^2_{\text{набл.}}$  и  $\chi^2_{\text{кр.}}$  для различных участков: а) лесостепной зоны при разрешении 4 км; б) степной зоны при разрешении 4 км; в) лесостепной зоны при разрешении 1,1 км; г) степной зоны при разрешении 1,1 км

**Выводы.** Проверка адекватности закону Гаусса распределения реальной фоновой температуры радиометра NOAA показала, что для исходных спутниковых данных с разрешением 4 км гипотеза о гауссовом распределении оказывается справедливой в 10-15% случаях. Для данных с разрешением 1,1 км гипотеза о гауссовом распределении фоновой температуры является неадекватной или ложной. Поэтому она не может быть признана состоятельной при синтезе вероятностных методов для повышения эффективности обнаружения пожара по спутниковым данным радиометра NOAA [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Информационно-аналитический справочник о чрезвычайных ситуациях, которые произошли на территории Украины за 2013 год [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.mns.gov.ua/opinfo/7094.html>.
2. Моніторинг надзвичайних ситуацій: підручник/ [Ю.А. Абрамов, Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін, П.А. Коротинский и др.]; Акад. цив. зах. України. – Х.: АЦЗУ, 2005. – 530 с.
3. Швецов Е.Г. Вероятностная технология обнаружения и оценки интенсивности природных пожаров по данным спутниковой съемки / Швецов Е.Г., Сухинин А.И. // Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии: Материалы междунар. конф., 25 июня 2007 г., Томск / Томский госуд. ун-т – Томск, 2007. – С. 188-189.
4. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы: Аналит. обзор / [Н.А. Абушенко, Д.А. Алтынцев, В.Н. Антонов, С.В. Афонин и др.] – Н.: СО РАН. ИОА. ГПНТБ, 2003. – 135 с. (Сер. Экология. Вып. 70).
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель – М.: Наука, 1969. – 576 с.
6. Ткачев Н.Н. Статистические методы в математическом моделировании и научных исследованиях / Н.Н. Ткачев. – К.: Красноярский Государ. техн. ун-т, 1996. – 151 с.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

Б.Б. Поспелов, К.М. Остапов

### **Перевірка адекватності розподілу температур земної поверхні при виявленні надзвичайних ситуацій за допомогою супутникових даних**

Представлені результати експериментальної перевірки відповідності розподілів температур земної поверхні, реєстрованої супутниковим угрупованням NOAA, закону розподілу Гауса.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, нормальний розподіл Гауса, критерію згоди Пірсона.

B.B. Pospelov, K.M. Ostapov

### **Check of earth's surface temperatures distribution adequacy at detection of emergency situations by means of satellite data**

It is experimentally checked temperatures distributions compliance of the terrestrial surface registered by satellite group NOAA, to the law of distribution of Gauss, results of research are presented.

**Keywords:** emergency, Gaussian distribution, Pirson criterion.

*А.С. Рогозін, к.т.н., доцент, докторант, НУЦЗУ,  
О.М. Соболев, д.т.н, с.н.с., нач. каф., НУЦЗУ,  
Р.Т. Левченко, ад'юнкт, НУЦЗУ*

## ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ПО РЕГІОНАМ УКРАЇНИ

В статті розглянуто питання оптимізації розподілу сил цивільного захисту по регіонах країни на основі врахування стохастичної природи виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій та участі в процесі ліквідації сил цивільного захисту з інших регіонів. Побудовано оптимізаційну модель розподілу сил цивільного захисту на території країни.

**Ключові слова:** модель, оптимізація, сили, цивільний захист, розподіл, регіони.

**Постановка проблеми.** Під час загострення проблем пов'язаних з кризовими процесами в економіці країн, як правило, постає питання оптимізації витрат на виконання основних функцій держави. Однією серед основних функцій держави є забезпечення цивільного захисту населення та територій.

Треба визнати, що за роки існування незалежної України, у сфері забезпечення цивільного захисту населення та територій відбувались перманентні структурні зміни під час яких відбувалось переосмислення та уточнення цілей та завдань в цій сфері. Нарешті, з прийняттям «Кодексу цивільного захисту», сфера забезпечення цивільного захисту отримала належне юридичне забезпечення.

На сучасному етапі під Цивільним захистом розуміється функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період [1], серед основних завдань єдиної державної системи цивільного захисту є: забезпечення готовності міністерств та інших центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підпорядкованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на надзвичайні ситуації; забезпечення реалізації заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій.

Що в свою чергу, обумовлює залучення до забезпечення цивільного захисту оперативно-рятувальну службу цивільного захисту; аварійно-рятувальні служби; формування цивільного захисту; спеціалізовані служби цивільного захисту; пожежно-рятувальні підрозділи (частини); добровільні формування цивільного захисту.

Практика визначення кількісних параметрів сил цивільного захисту на території регіонів в основному здійснюється згідно визначених норм прив'язаних до кількості населення, яке мешкає на території, кількості населених пунктів, тощо.

В рамках окремих аварійних служб розроблені методики визначення та оптимізації кількісного складу сил [2, 3] на території. Але питанням сумісного виконання завдань службами та підрозділами під час ліквідації надзвичайних ситуацій увага приділялась в основному за напрямком організації взаємодії.

Питання визначення оптимальної кількості сил з врахуванням залучення їх до ліквідації надзвичайних ситуацій не розглядались.

Для визначення оптимальної кількості сил цивільного захисту на території необхідно, по-перше, мати уявлення про інтенсивність реалізації небезпек на території, по-друге, мати знання про розподіл часу ліквідації деструктивних подій, по-третє, мати уявлення про кількість сил та засобів, які залучаються до ліквідації надзвичайних ситуацій.

Всі названі змінні мають стохастичну природу і для визначення параметрів розподілу потребують використовувати статистичні підходи.

Суттєве скорочення виробництва структурні зміни в економіці, інфраструктурі після розпаду СРСР, унеможливили використання ретроспективних даних того часу, для побудови адекватних оптимізаційних моделей розподілу сил цивільного захисту на території регіонів України.

Накопичений, за роки незалежності України, статистичний матеріал, щодо виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій, дає можливість адекватної оцінки параметрів процесів, що відбуваються в сфері забезпечення цивільного захисту, гостра необхідність оптимізації використання ресурсів країни, ставлять на повістку дня вирішення актуальної наукової задачі створення математичних моделей оптимізації розподілу сил цивільного захисту на території України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [4-6] розглянуті питання використання методів математичного програмування для оптимізації розподілення сил та засобів.

Формалізація процесу реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах України присвячені роботи [7-9]. Формалізації залучення сил цивільного захисту для ліквідації надзвичайних ситуацій на території України присвячена робота [10]. Питання визначення оптимальної кількості сил цивільного захисту та їх розподіл по регіонах країни, як задача математичного програмування, не розглядалась.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є розробка оптимізаційної моделі розміщення сил цивільного захисту по регіонах.

При розподілі сил цивільного захисту по території країни необхідно врахувати:

- інтенсивність реалізації загроз на території;
- інтенсивність ліквідації наслідків НС;
- очікувану кількість залучених сил до ліквідації наслідків НС;
- можливість залучення до ліквідації наслідків НС з інших регіонів.

Рішення задачі оптимізації розподілення сил та засобів будемо здійснювати у загальному виді, використовуючи методи математичного програмування.

При побудові оптимізаційної моделі на першому етапі необхідно визначитися з завданням та деталізацією моделі, припущеннями та спрощеннями на базі яких буде створена модель об'єкта дослідження. Аналіз питань подібного роду і коректне формулювання математичної моделі є центральною ланкою вирішення завдань оптимізації. В нашому випадку проблемним є визначення кількісних характеристик сил цивільного захисту по регіонах країни. Для побудови оптимізаційної моделі розподілу сил цивільного захисту по регіонам країни зробимо наступні застереження.

Оптимізацію розміщення сил будемо здійснювати виходячи з математичного очікування знаходження сил цивільного захисту регіонів в стані ліквідації НС.

Для спрощення задачі оптимізації розміщення сил на території регіонів, будемо вважати, що сили цивільного захисту розподілені по території регіону рівномірно, час слідування сил цивільного захисту регіону до місця виникнення НС набагато менший ніж час слідування сил з інших регіонів країни, що дає можливість вважати що сили ЦЗ сконцентровані в геометричному центрі регіону.

Врахування часу слідування сил інших регіонів здійснюється шляхом визначення лінійної відстані між центрами регіонів.

Для формалізації розподілу сил по території країни необхідно задатись системою координат.

Для створення оптимізаційної моделі було обрано прямокутну систему координат.

Особливості регіонів за кількістю сил цивільного захисту та математичним очікуванням знаходження сил в стані ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, врахуємо, визначивши їх відносні показники, використовуючи матрицю парних порівнянь наступного виду:

$$\omega = \begin{pmatrix} 1 & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} & \dots & \omega_{1n} \\ \frac{1}{\omega_{12}} & 1 & \omega_{23} & \omega_{24} & \dots & \omega_{2n} \\ \omega_{12} & \frac{1}{\omega_{12}} & 1 & \omega_{34} & \dots & \omega_{3n} \\ \omega_{13} & \omega_{23} & \frac{1}{\omega_{12}} & 1 & \dots & \omega_{4n} \\ \frac{1}{\omega_{14}} & \frac{1}{\omega_{24}} & \frac{1}{\omega_{34}} & 1 & \dots & \omega_{4n} \\ \omega_{14} & \omega_{24} & \omega_{34} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{\omega_{1n}} & \frac{1}{\omega_{2n}} & \frac{1}{\omega_{3n}} & \frac{1}{\omega_{4n}} & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

де  $\omega_{dk}$  – оцінки порівняння показника  $i$ -го регіону з  $j$ -м.

Та використовуючи наступне співвідношення:

$$W_j = \frac{\sum_{k=1}^n \omega_{jk}}{\sum_{d=1}^n \sum_{k=1}^n \omega_{dk}}. \quad (2)$$

Внесок сил інших регіонів у ліквідацію надзвичайної ситуації оцінимо наступним чином:

$$\mu_j e^{-\mu_j \frac{\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2}}{kv_{cp}}}, \quad (3)$$

$\mu_j$  – параметр закону розподілу часу ліквідації надзвичайної ситуації на території  $j$ -го регіону;  $k$  – коефіцієнт нелінійності шляху між регіонами;  $v_{cp}$  – середня швидкість руху сил цивільного захисту регіону;  $x_i, y_i, x_j, y_j$  – координати центрів  $i$ -го та  $j$ -го регіонів відповідно.

Враховуючи прийняті спрощення, цільова функція оптимального розміщення сил приймає наступний вид:

$$f(W) = \sum_{j=1}^6 \left( \frac{M[W_j]}{W_j + \sum_{i=1}^5 m \cdot (W_i - M[W_i]) \cdot \mu_j e^{-\mu_j \frac{\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2}}{kv_{cp}}}} \right), \quad (4)$$

де  $x, y$  – координати розташування сил;  $M[W_j], M[W_i]$  – оцінка очікування відносного залучення сил до ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на території  $j$ -го та  $i$ -го регіонів відповідно;  $W_j, W_i$  – відносна кількість сил цивільного захисту на території  $j$ -го та  $i$ -го регіонів відповідно;  $m$  – коефіцієнт, що враховує, яку частину вільних сил цивільного захисту можна залучати до ліквідації надзвичайної ситуації в інших регіонах.

Оптимізаційне завдання необхідно доповнити відповідними обмеженнями:

$$x \leq z,$$

$$y \leq g,$$

$$\sum_{j=1}^{25} W_j = 1,$$

$$W_j > 0,$$

які враховують обмеження за координатами розташування регіонів та обмеженість загальної кількості сил цивільного захисту в країні.

**Висновки.** Розроблена оптимізаційна модель розподілу сил цивільного захисту по регіонах країни потребує мати знання щодо математичного очікування знаходження сил цивільного захисту регіону в стані ліквідації надзвичайних ситуацій.

Математичне очікування знаходження сил цивільного захисту регіону в стані ліквідації надзвичайних ситуацій може бути визначено на основі статистичного підходу в процесі аналізу ретроспективних даних щодо ліквідації надзвичайних ситуацій на території відповідних регіонів, або на основі розгляду виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій, як Марківського процесу.

Подальші дослідження в плані оптимізації розподілу сил цивільного захисту по території країни необхідно направити на дослідження доцільності створення та розміщення на території країни локальних міжрегіональних центрів реагування та уточнення створеної оптимізаційної моделі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту. [Електронний ресурс] Режим доступу <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
2. Красавин А.В. Нормирование ресурсов пожарной охраны / А.В. Красавин – М.: Эко-Пресс, 2009. – 194 с.
3. Безопасность городов: имитационное моделирование городских процессов и систем / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, П. Вагнер и др. – М.: «ФАЗИС», 2004. – 172 с.
4. Таха Х.А. Введение в исследование операций/ Х.А. Таха. . – М.: Вильямс, 2005. – 912 с..
5. Вентцель Е.С. Исследование операций / Вентцель Е.С. – М.: Советское радио, 2001. – 208 с.
6. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле / Ю.В. Чуев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.
7. Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру / А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2012. – Вип. 16. – С. 95 – 106.
8. Формалізація реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах з високим рівнем техногенного навантаженням / А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 17. – С. 138 – 145.
9. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької області / А.С. Рогозін //Зб. наукових праць ХУПС. Випуск2(35). – 2013. – С. 206-208.



10. Рогозін А.С. Формалізація залучення сил цивільного захисту для ліквідації надзвичайних ситуацій на території України / А.С. Рогозін, С.О. Скларов // Системи обробки інформації. Випуск 1(117). – 2014. – С. 241-243.

А.С. Рогозін, А.Н. Соболев, Р.Т. Левченко

**Оптимизационная модель распределения сил гражданской защиты по регионам Украины**

В статье рассмотрен вопрос оптимизации распределения сил гражданской защиты по регионам страны, на основе учета стохастической природы возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и привлечения в процессе ликвидации сил гражданской защиты из других регионов. Построена оптимизационная модель распределения сил гражданской защиты на территории страны.

**Ключевые слова:** модель, оптимизация, силы, гражданская защита, распределение, регионы.

A.S. Rogozin, A.N. Sobol, R.T. Levchenko

**Optimization model of civil defense forces distribution in regions of Ukraine**

In the article it is presented the question of optimizing the allocation of civil protection forces in the regions of country, based on consideration of the stochastic occurrence and response to emergency situations, engaging in the process of liquidation of civil defense forces from other regions. It is constructed the optimization model of civil protection forces distribution in the country.

**Keywords:** model, optimization, forces, civil protection, distribution, regions.

*Е.А. Рыбка, к.т.н, ст. науч. сотр., НУГЗУ*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

(представлено д-ром техн. наук Андроновым В.А.)

Получены и проанализированы математические модели, которые описывают эффективности защитных покрытий металлических строительных конструкций промышленных объектов предотвращающих развитию чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, обрушение, защитное покрытие, эксперимент, математическая модель, эффективность, поверхность отклика.

**Постановка проблемы.** Одной из разновидностей чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются пожары на промышленных объектах [1], которые сопровождаются обрушением строительных конструкций. При обеспечении требуемого периода времени от момента начала огневого воздействия до обрушения строительных конструкций перспективным является использование защитных покрытий. Однако это направление сопряжено с проблемой отсутствия сведений об эффективности покрытий в условиях реальных пожаров на промышленных объектах.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Определение эффективности защитных покрытий предусмотрено на фрагментах и образцах строительных конструкций [2] в условиях стандартного теплового воздействия [3]. В реальных же условиях интенсивность нагревания строительных конструкций при пожарах на промышленных объектах предпочтительно ниже нормативной [3], для которой эффективность защитных покрытий не исследовалась.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является получение математических моделей, описывающих эффективность защитных покрытий строительных конструкций для условий теплового воздействия характерных пожарам на промышленных объектах, на примере покрытий для металлических конструкций Эндотерм ХТ150 и Эндотерм 400202.

Показателем эффективности защитных покрытий металлических строительных конструкций является характеристика огнезащитной способности, которая определяет зависимость минимальной толщины защитного покрытия от профильного коэффициента сечения конструкций и ее нормированного предела огнестойкости.

Для адекватной оценки эффективности защитных покрытий вве-

ден показатель защитной способности, который характеризует прирост времени от момента начала теплового воздействия до обрушения защищенной металлической строительной конструкции по сравнению с незащищенной конструкцией.

Для описания такой зависимости в работе использовался полный факторный эксперимент. При этом функция отклика показателя защитной способности покрытия имеет вид

$$y = f(h, V), \quad (1)$$

где  $y$  – показателя защитной способности покрытия, г/см<sup>2</sup>;  $h$  – толщина защитного покрытия, мм;  $V$  – интенсивность теплового воздействия, °С/мин.

Предполагается, что кривая отклика от вышеуказанных факторов будет иметь некоторую кривизну, поэтому для построения математической модели применялся ортогональный центральный композиционный план второго порядка [4], который позволяет установить аналитическую зависимость в виде полиномиального уравнения второй степени

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (2)$$

где  $x_i, x_j$  – независимые переменные (факторы);  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  – коэффициенты регрессии.

План-матрица эксперимента составлялась посредством чередования уровней фактора  $x_2$  в каждом опыте, а  $x_1$  – через три опыта (табл. 1).

**Табл. 1. Матрица планирования эксперимента по изучению зависимости показателя защитной способности покрытий от их исходной толщины ( $x_1$ ) и интенсивности нагрева ( $x_2$ )**

№ опыта	Кодированные значения входных переменных				
	1	2	3	4	5
	$x_1$	$x_2$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_1 x_2$
1	-1	-1	1	1	1
2	-1	0	1	0	0
3	-1	1	1	1	-1
4	0	-1	0	1	0
5	0	0	0	0	0
6	0	1	0	1	0
7	1	-1	1	1	-1
8	1	0	1	0	0
9	1	1	1	1	1

Толщина защитного покрытия на образцах металлических конструкций изменялась в пределах 1÷3 мм с шагом 1 мм. Эксперимент ре-

лизывывался с помощью разработанного термического комплекса [5], при этом интенсивность теплового воздействия составляла 10, 25 и 40 °С/мин. соответственно.

Результаты эксперимента по исследованию эффективности защитного покрытия представлены в табл. 2.

**Табл. 2. Результаты эксперимента по изучению зависимости показателя защитной способности покрытий от их толщины и интенсивности нагрева**

№ опыта	Показатель защитной способности, мин.	
	Эндотерм ХТ150	Эндотерм 400202
1	2	0
2	1	6
3	1	9
4	3	9
5	2	13
6	2	13
7	4	20
8	3	21
9	5	20

Коэффициенты регрессии рассчитывались по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^n x_{iu}^2}, \quad (3)$$

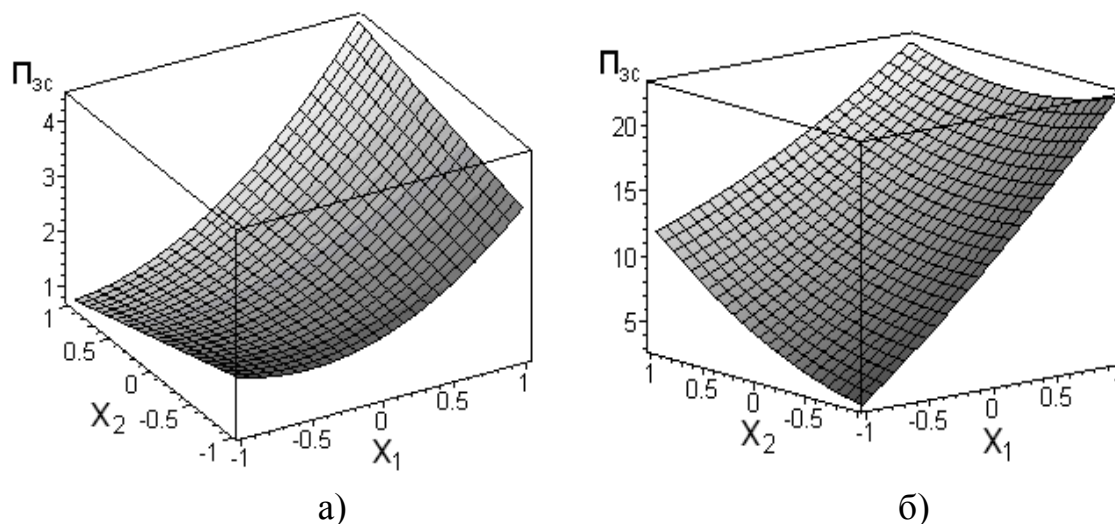
где  $u$  – номер столбца в матрице планирования;  $x_{iu}$  – элементы  $i$ -того столбца.

Статистический анализ показал, что полученные уравнения регрессии являются адекватными экспериментальным данным по критерию Фишера. С учетом исключенных незначимых коэффициентов в соответствии с критерием Стьюдента, модели показателя защитной способности для исследуемых покрытий принимает вид

$$y_{ХТ150} = 1,778 + 1,353 x_1 + 0,833 x_2^2 + 0,5 x_1 x_2; \quad (4)$$

$$y_{400202} = 12,667 + 7,667 x_1 + 2,167 x_2 + x_1^2 + 1,5 x_2^2 - 2,25 x_1 x_2. \quad (5)$$

С помощью программы «Maple» для уравнений (4-5) построены трехмерные модели (рис. 1), которые позволяют зрительно воспринимать соответствующий геометрический образ.



**Рис. 1. Поверхности откликов зависимости показателя защитной способности от начальной толщины ( $x_1$ ) и интенсивность теплового воздействия ( $x_2$ ) покрытий: а) Эндотерм XT150; б) Эндотерм 400202**

Анализ поверхностей отклика на рис. 1 показал, что изменение показателя защитной способности покрытий Эндотерм XT150 и Эндотерм 400202 от соответствующих факторов носит преимущественно квадратичный характер. При увеличении интенсивность теплового воздействия и толщины покрытия показатель защитной способности этих покрытий возрастает.

**Выводы.** Получено математические модели, которые позволяют прогнозировать эффективность защитных покрытий для металлических конструкций Эндотерм XT150 и Эндотерм 400202 с учетом возможного теплового воздействия, что предотвращает развитию чрезвычайных ситуаций техногенного характера на промышленных объектах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Основы мониторинга и управления в условиях чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха, В.В. Тютюник и др. – Харьков: АГЗУ, 2005 – 257 с.
2. Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (EN 13381-4:2002, NEQ): ДСТУ Б В 1.1-17:2007. – [Чинний від 2008-01-01] – К.: УКРАРХБУДІНФОРМ, 2009. – XIV, 105 с. – (Національний стандарт України).
3. Яковлев А.И. Огнестойкость одноэтажных производственных зданий в зависимости от пожарной нагрузки / А.И. Яковлев, Т.Е. Стороженов // Промышленное строительство. – 1979. – № 9. – С. 37-39.
4. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ ре-

---

зультатов / [Блохин В.Г., Глудкин О.П., Гуров А.И. Ханин М.А.]. – М.: Радио и связь, 1997. – 232 с.

5. Абрамов Ю.А. Термический комплекс для испытаний образцов строительных конструкций / Ю.А. Абрамов, Е.А. Рыбка, В.М. Гвоздь. – Харьков: НУГЗУ, 2013. – 128 с.

Є.О. Рибка

**Дослідження ефективності захисних покриттів металевих конструкцій, що працюють в умовах надзвичайних ситуацій**

Отримані і проаналізовані математичні моделі, які описують ефективність захисних покриттів металевих будівельних конструкцій промислових об'єктів, що запобігають розвитку надзвичайних ситуацій.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, обвалення, захисне покриття, експеримент, математична модель, ефективність, поверхня відгуку.

Ye.O. Rybka

**A study of the metal structures protective coatings effectiveness which work in emergencies**

It is obtained and analyzed a mathematical model of the protective coatings effectiveness for metal building constructions at industrial facilities to prevent the development of emergency situations.

**Keywords:** emergency, caving, protective coating, experiment, mathematical model, efficiency, response surface.

*Ю.Н. Сенчихин, к.т.н., профессор, НУГЗУ*

**ПРИБЛИЖЕННЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ (ПРОЦЕССА  
ВЫСТРЕЛА) СПАСАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ  
МЕТАНИЯ СНАРЯДА С ТРОСОМ НА ВЫСОТЫ ЗДАНИЙ**  
(представлено д-ром техн. наук Прохачем Э.Е.)

Предложены приближенные решения с допущениями о совпадении траектории снаряда с положением троса, которые позволяют оценить границы применимости устройств данного типа в смысле оценки максимальной высоты подъема снаряда

**Ключевые слова:** пожарно-спасательные работы, выстрел, пневмометание, задачи анализа, траектория, снаряд с тросом, спасательный конец

**Постановка проблемы.** Для анализа работы спасательного устройства (установки) [1], необходимо иметь математические модели, описывающие процесс метания снаряда с тросом, которые позволят оценить основной параметр задачи (ОПЗ) – высоты пневмометания (выстрела).

В общей постановке задачи анализа движения снаряда с тросом, задано в параметрической форме [2]. Обращено внимание, что траектория полета снаряда и положение троса не совпадают, а составные уравнения движения, которыми описывается исследуемый процесс, с граничными и начальными условиями имеют наиболее общий вид. Для общего случая учитываются, по существу, все силы, действующие на снаряд и трос, что приводит к усложнению задачи настолько, что не всегда можно получить при решении достоверный результат.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Попытка получить «точное» решение для рассматриваемого процесса предпринималась во ВНИИПО РФ, где рассматривалась система метания снаряда со спасательным концом в виде материальной точки с переменной массой [3]. Однако уточняющих решений не получено.

**Постановка задачи и ее решение.** С учетом допущений, необходимо определить максимальную высоту пневмометания снаряда с тросом для установки границ применимости спасательного устройства.

В дальнейшем при решении сформулированной задачи анализа пневмометания будем задавать траекторию снаряда, последовательно увеличивая степень аппроксимирующего ее полинома.

Для приближенной оценки ОПЗ «высота» ( $H_{\max}$ ) эффективной является математическая модель, основанная на следующих дополнительных допущениях:

– трос – бесконечная нерастяжимая тонкая нить с постоянной

линейной плотностью  $\rho$ ;

– выстрел производится вертикально вверх (рис. 1).

Заметим, что учет изменения линейной плотности троса на различных его участках вполне возможен и существенных усложнений в модели и алгоритмы расчетов не внесет.

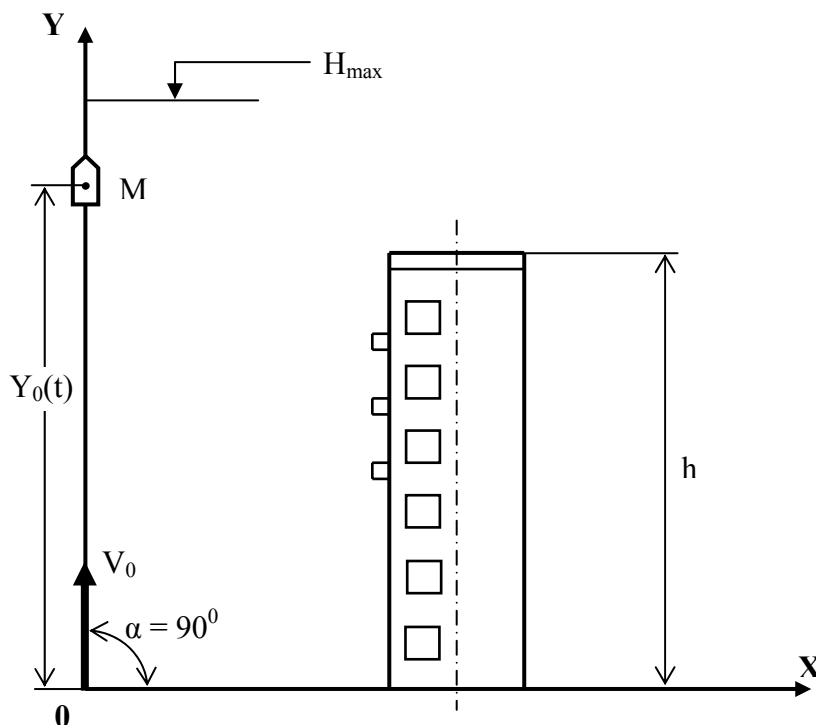


Рис. 1. Схема движения снаряда с тросом, метаемого с помощью пневмовыстрела в вертикальном направлении

Хотя в теоретическом отношении выстрел в вертикальном направлении заведомо лишен смысла (после выстрела при отсутствии ветра снаряд вернется на исходную позицию), тем не менее, при выполнении с помощью спасательного устройства одного из тактических приемов – доставки спасательного конца с тросом на крышу здания – углы наклона полета снаряда на большей части восходящей траектории близки к  $90^\circ$ . Поэтому приведенное предположение в известном смысле оправдано и может дать практически нужные результаты.

Кинетическая энергия, приданная системе в момент  $t = 0$ , непрерывно перераспределяется между снарядом и той частью троса, которая связывает снаряд с установкой. Это предположение выполняется «точно», если трос перед выстрелом сложен на поверхности земли специальным образом – «в укладку».

Траектория снаряда линейна, причем аппроксимируется прямой, проходящей через начало координат т. 0. Тогда (и только тогда) из физических соображений провисание троса отсутствует, и упомянутое семейство в любой момент времени совпадает с траекторией снаряда, т.е. является той же прямой линией.



Линейные размеры снаряда пренебрежимо малы в сравнении с геометрическими характеристиками задачи (высотой здания, длиной троса). Вследствие чего можно считать снаряд точечной массой.

В рамках сделанных предположений, не учитывая аэродинамических поправок, закон сохранения энергии записывается следующим образом:

$$T_{\text{тр}} + M/2(dy_0/dt)^2 + Mgy_0 + \rho gy_0^2/2 = MV_0^2/2. \quad (1)$$

Здесь  $T_{\text{тр}}$  – кинетическая энергия троса, Дж;  $y_0$  – высота полета снаряда, м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $\rho$  – линейная плотность троса,  $\text{кг/м}$ ,  $M$  – масса снаряда,  $\text{кг}$ ;  $V_0$  – начальная скорость снаряда – скорость в момент времени  $t=0$ .

В данном частном случае скорость снаряда равна скорости каждой точки троса и совпадает по величине с  $V_y$  – компонентой скорости, что непосредственно следует из предположения о нерастяжимости троса.

Из (1) направленно находим один из ОПЗ – максимальную высоту полета снаряда – и следовательно, даем оценку «сверху» параметру «высота» здания, для которого еще будет эффективна установка. Иначе, определяем верхнюю границу применимости высотного спасателя.

Полагая в (1)  $y_0=H_{\text{max}}$ , а значит,  $dy_0/dt=0$  и  $T_{\text{тр}}=0$ , имеем:

$$MgH_{\text{max}} + \rho gH_{\text{max}}^2/2 = MV_0^2/2. \quad (2)$$

Решая последнее уравнение, получим:

$$H_{\text{max}} = M/\rho[\sqrt{1 + \rho V_0^2/Mg} - 1]. \quad (3)$$

Скорость снаряда в произвольный момент времени описывается дифференциальным уравнением:

$$\left(\frac{dy_0}{dt}\right)^2 = 2 \frac{V_0^2/2 - y_0g(1/2 M/\rho y_0 + 1)}{1/\rho y_0 M + 1}, \quad (4)$$

с начальным условием  $y_0(0) = 0$ .

Откуда численным интегрированием можно получить время подъема снаряда на максимальную высоту, а затем и время свободного падения.

В настоящей работе для интегрирования использовалась стандартная процедура метода Рунге-Кутты [4,5]. Разностный аналог обыкновенного дифференциального уравнения для расчета зависимости координаты снаряда, как функции времени, имеет конкретный вид:

$$\delta y_0 \delta t = f, \quad (5)$$

$$f = 2 \frac{V_0^2/2 - y_0 g (1/2 M / \rho y_0 + 1)}{1/\rho y_0 M + 1}.$$

Правая часть уравнения (4) такая же, как в (3).

Обозначим правую часть приведенного выше уравнения через  $y^*(y, t)$ ,  $\delta t$  – шаг интегрирования по времени.

Тогда

$$f = 1/2(K_1 + K_2), \quad K_1 = y^*(y_0, t), \quad K_2 = y^*(t + \delta t, y_0 + \delta t K_1). \quad (6)$$

Примененный вариант алгоритма типа Рунге-Кутты является методом второго порядка точности относительно  $\delta t$ , что вполне достаточно для первого приближения.

Оценить влияние сопротивления воздуха тросу и снаряду не сложно, если общее выражение для второго закона Ньютона дополнить слагаемым, учитывающим аэродинамические поправки [3]:

$$M d^2 y / dt^2 = -Mg - \rho g y_0 (dy_0 / dt)^2 \rho_v (C_x + 0.03 \pi d (L dy_0 / dt)^{-0.139} L). \quad (7)$$

Здесь  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления снаряда,  $\rho$  – плотность воздуха,  $L$  – длина пройденного снарядом пути,  $v$  – кинематическая вязкость воздуха,  $d$  – диаметр снаряда (миделево сечение).

Забегая вперед, заметим, что учет аэродинамических поправок приводит к дифференциальным уравнениям, которые не допускают разделения переменных. И тогда, если на первом этапе (задача анализа) такой учет всего лишь несколько усложняет решение, то на втором этапе (решение тактических задач) иногда оказывается невозможным воспользоваться алгоритмом решения задачи анализа для создания тактического обеспечения к спасательному устройству.

**Выводы.** Приближенная модель позволяет быстро рассчитать оценочный параметр выстрела – высота  $H_{\max}$ . Ее целесообразно использовать при установлении границ применимости спасательного устройства, т.к. конечные результаты здесь представимы в виде рабочих формул, в которые достаточно подставить конкретные значения численных данных. С точки зрения точности расчетов ОПЗ упрощенная модель не дает оценочного параметра выстрела – дальность  $L_{\max}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2079311 Российская Федерация, МКИ 6 А 62 В 1/02. Устройство для выполнения пожарно-спасательных работ / Сенчихин Ю.Н., Пустовой А.С.; заявитель и патентообладатель Харьковский инж. строит. ин-т. – № 93053702; заявл. 26.11.93; опубл. 20.05.97, Бюл. №14.

2. Сенчихин Ю.Н. Формализация задачи анализа работы спасательного устройства для метания снаряда с тросом на высоты зданий в общей постановке / Ю.Н. Сенчихин // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Вип. 19. – Харків: НУЦЗУ. 2014. – С. 120-125.

3. Демин А.П. Пневматическое метательное устройство / А.П. Демин, Б.И. Воронин // Пожарная техника и тушение пожаров: сб. научн. трудов. – М.: ВНИИПО, 1982. – С. 121-123.

4. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 831 с.

Ю.М. Сенчихін

**Наближений аналіз роботи (процесу пострілу) рятувального пристрою для метання снаряда з тросом на висоти будівель**

Запропоновано наближені рішення з допущеннями про збіг траєкторії снаряда з положенням троса, які дозволяють оцінити межі застосування пристроїв даного типу в сенсі оцінки максимальної висоти підйому снаряда з тросом.

**Ключові слова:** пожежно-рятувальні роботи, постріл, пневмометання, задання аналізу, траєкторія, снаряд з тросом, рятувальний кінець.

Yu.M. Senchykhin

**An approximate analysis of the work (the firing process) of rescue device for throwing a projectile with a rope at the height of buildings**

An approximate solution to the assumptions of the projectile trajectory coincides with the position of the cable, which allows estimating the limits of applicability of this type of device in terms of assessing the maximum lifting height of the projectile with a rope.

**Keywords:** fire-rescue works, pneumatic throwing, problem analysis, the trajectory of the projectile with a rope, life end.

*В.М. Стрелец, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
М.В. Васильев, нач. сектора ГУ ГСНС України в Харьковской обл.,  
В.В. Тригуб, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАТИВОВ**

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

Проверена эффективность подготовки спасателей к ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросами опасных химических веществ с использованием нормативов, опирающихся на расчет обратных функций нормального распределения, полученных как путем натурального, так и имитационного на ЭВМ эксперимента. Показано, что с уровнем значимости  $\alpha=0,05$  сокращение времени выполнения типовых операций (процессов) является существенным.

**Ключевые слова:** норматив, подготовка, спасатель, время выполнения, операция, процесс.

**Постановка проблемы.** Для оценки уровня подготовленности спасателей используются нормативы, под которыми понимается [1] сопоставительная норма, имеющая в своей основе сравнение людей, относящихся к одной и той же совокупности. Однако говорить об эффективности использования нормативных оценок можно только после сравнения результатов сопоставительных (без использования и с использованием нормативов) экспериментальных исследований.

**Анализ последних исследований и публикаций** показал, что как в физической культуре [1], так и в практике подразделений оперативно-спасательных служб [2, 3] о необходимости использования нормативных оценок пишут, опираясь на экспертные выводы специалистов, которые организуют процесс соответствующей подготовки. Психологические аспекты, в основе которых лежит самораскрытие природной естественности обучаемого и его врожденных свойств, эффективности использования нормативов рассмотрены в [4] на примере подготовки бойца к рукопашному бою. Однако и в этом случае об уровне статистической значимости сделанных выводов ничего не сказано.

**Постановка задачи и ее решение.** Исходя из этого, поставлена задача статистической оценки эффективности подготовки спасателей с использованием нормативов.

Для этого нормативы, обоснование которых приведено в [5], были озвучены в ходе первоначальной подготовки спасателей. Отдельно рассматривались ситуации робинга КСИЗ 1 типа и робинга

КСИЗ в комбинації с фільтруючим протипогозом, а також виконання комплексного завдання (локалізації аварії методом реконденсації).

Результати робінга КСИЗ (в третій спробі для комбинації ізолюючого костюма с фільтруючим протипогозом и в четвертій – для КСИЗ 1-го типу [6]) приведені в табл. 1 и табл. 2. Там же приведені оцінки математических очідувань и середнеквадратических відхилення.

Ето дозволяє перевірити, значимо ли различаються середні значення, полученні по двум незалежним виборкам робінга КСИЗ (без використання разработанного норматива  $\bar{t}_{робинг до}$  и с его использованием  $\bar{t}_{робинг после}$ ), используя t-критерий Стюдента.

**Табл. 1. Результаты робінга ізолюючого костюма с фільтруючим протипогозом при наличии нормативов**

Испытуемый	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{робинг после}, с$	246	128	136	245	190	222	238	234	269	190	164	150
Испытуемый	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$t_{робинг после}, с$	238	237	126	116	259	302	203	244	265	242	117	209
$\bar{t}_{робинг после}, с$	207,08											
$G_{робинг после}, с$	54,45											

**Табл. 2. Результаты робінга КСИЗ 1 типа при наличии нормативов**

Испытуемый	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{робинг после}, с$	266	121	302	288	167	292	257	196	251	213	222	184
Испытуемый	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$t_{робинг после}, с$	183	146	253	163	194	130	237	194	184	209	244	200
$\bar{t}_{робинг после}, с$	212,33											
$G_{робинг после}, с$	49,96											

В этом случае рассматривается гипотеза

$$H_0 : \bar{t}_{робинг до} = \bar{t}_{робинг после} \quad (1)$$

и ее альтернатива

$$H_0 : \bar{t}_{робинг до} \neq \bar{t}_{робинг после} \quad (2)$$

которая доказывает различие средних значений.

С целью выбора конкретной методики расчета t-критерия [7] вначале была проверена гипотеза о равенстве дисперсий.

Было проверено равенство дисперсий, полученных в ходе обработки исходных экспериментов, по которым были получены

нормативные оценки [5], и соответствующих дисперсий, вычисленных по результатам натуральных экспериментов (см. табл. 1, 2) после реализации предложенных нормативов. В качестве критерия для проверки ноль-гипотезы

$$H_0 : G^2_{робинг до} = G^2_{робинг после} \quad (3)$$

был выбран F-критерий [84]

$$F = G_1^2 / G_2^2, \quad (4)$$

где  $G_1^2$  – большая из оценок дисперсий в двух выборках.

При этом критическое значение  $F_{кр}$ , которое при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и числе степеней свободы

$$\nu_{до} = n_{до} - 1 = 23, \quad \nu_{после} = n_{после} - 1 = 23, \quad (5)$$

где  $n_{до} = n_{после} = 24$  – количество натуральных экспериментов по робингу КСИЗ, по результатам которых оценивались статистические характеристики полученных распределений, равно [7]

$$F_{кр} = F_{табл} = 2,3. \quad (6)$$

Сравнение (4) с (6) показывает

$$F = \begin{cases} \frac{G^2_{после}(ИК + ФП)}{G^2_{до}(ИК + ФП)} = \frac{54,45^2}{52,6^2} = 1,07 \\ \frac{G^2_{после}(КСИЗ 1)}{G^2_{до}(КСИЗ 1)} = \frac{49,96^2}{47,61^2} = 1,1 \end{cases} < F_{кр} = F_{табл} = 2,3. \quad (7)$$

Видно, что в рассмотренных случаях правомерной признается ноль-гипотеза (3) и допускается равенство дисперсий

$$G^2_{до}(ИК + ФП) = G^2_{после}(ИК + ФП) \quad (8)$$

и

$$G^2_{до}(КСИЗ 1) = G^2_{после}(КСИЗ 1). \quad (9)$$

Исходя из этого, стандартная ошибка разности  $S_x$ , с учетом того, что выборки малого размера ( $<30$ ), и число степеней свободы  $\nu$  при

вычисления t-критерия рассчитываются [7] следующим образом

$$S_x = \sqrt{\frac{(n_{до} - 1) \cdot G_{робинг до}^2 + (n_{после} - 1) \cdot G_{робинг после}^2}{n_{до} + n_{после} - 2} \cdot \left( \frac{1}{n_{до}} + \frac{1}{n_{после}} \right)} =$$

$$= \begin{cases} 15,45 - \text{для робинга ИК + ФП;} \\ 14,09 - \text{для робинга КСИЗ 1;} \end{cases} \quad (10)$$

$$\nu = n_{до} + n_{после} - 2 = 46. \quad (11)$$

В результате

$$t_{набл} = \frac{|\bar{t}_{робинг до} - \bar{t}_{робинг после}|}{S_x} =$$

$$= \begin{cases} \frac{|\bar{t}_{робинг до} (ИК + ФП) - \bar{t}_{робинг после} (ИК + ФП)|}{S_x (ИК + ФП)} \\ \frac{|\bar{t}_{робинг до} (КСИЗ 1) - \bar{t}_{робинг после} (КСИЗ 1)|}{S_x (КСИЗ 1)} \end{cases} = \quad (12)$$

$$= \begin{cases} \frac{|239,5 - 207,08|}{15,45} = 2,1 \\ \frac{|244,5 - 212,33|}{14,09} = 2,28 \end{cases} > t_{табл} (\alpha = 0,05) = 2,01.$$

Видно, что значения t-критерия  $t_{набл}$  больше критического значения t-критерия  $t_{табл}$  при заданном уровне значимости  $\alpha=0,05$  и числе степеней свободы  $\nu = 46$ . Это говорит о том, что на уровне значимости  $\alpha$  (вероятность ошибки меньше 5%) можно принять гипотезу  $H_0$ .

Следовательно, сокращение времени выполнения робинга КСИЗ (как в случае робинга изолирующего костюма в сочетании с фильтрующим противогазом, так и в случае робинга КСИЗ первого типа) в результате подготовки с использованием предложенных нормативов является статистически значимым.

Проверка того, значимо ли различаются средние значения, полученные по двум независимым выборкам (по результатам имитационного  $\bar{t}_{им}$  моделирования на ЭВМ, которые легли в основу предложенных нормативов [5], и натуральных  $\bar{t}_{нат}$  экспериментов (см. табл. 3, 4), которые проводились после двух тренировочных попыток при выполнении задания личным составом в изолирующих костюмах и фильтрующих противога-

зах, и трех тренировочных попыток – при выполнении задания в КСИЗ первого типа), выполнялась с использованием t-критерий Стьюдента.

**Табл. 3. Результаты локализации аварии в изолирующем костюме с фильтрующим противогазом при наличии нормативов**

Расчет	1	2	3	4	5	6	$\bar{t}_{нат}, c$	$G_{нат}, c$
$t_{нат}(ИК + ФП), c$	600	670	580	570	450	360	538,33	112,68

**Табл. 4. Результаты локализации аварии в КСИЗ первого типа при наличии нормативов**

Расчет	1	2	3	4	5	6	$\bar{t}_{нат}, c$	$G_{нат}, c$
$t_{нат}(КСИЗ 1), c$	610	415	450	590	720	510	549,17	113,07

В этом случае рассматривается гипотеза

$$H_0: \bar{t}(нат) = \bar{t}(им) \quad (13)$$

и ее альтернатива

$$H_1: \bar{t}(нат) \neq \bar{t}(им), \quad (14)$$

которая доказывает различие средних значений.

С целью выбора конкретной методики расчета t-критерия [7] была проверена гипотеза о равенстве дисперсий имитационного и натурального экспериментов (гипотеза  $H_0: G_{нат}^2 = G_{им}^2$  и ее альтернатива  $H_1: G_{нат}^2 \neq G_{им}^2$ ).

Рассчитанные значения F-критерия больше табличного

$$F_{набл} = \frac{G_{им}^2}{G_{нат}^2} = \begin{cases} \frac{G_{нат}^2(ИК + ФП)}{G_{им}^2(ИК + ФП)} = \frac{112,68^2}{59,09^2} = 3,64 \\ \frac{G_{нат}^2(КСИЗ 1)}{G_{им}^2(КСИЗ 1)} = \frac{113,07^2}{66,2^2} = 2,92 \end{cases} > F_{табл} = 2,3, \quad (15)$$

полученного при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и числе степеней свободы

$$\nu_{им} = n_{им} - 1 = 99, \quad \nu_{нат} = n_{нат} - 1 = 5, \quad (16)$$

где  $n_{им} = 100$  – количество имитационных экспериментов на ЭВМ;  $n_{нат} = 6$  – количество натуральных экспериментов.

В результате принимается гипотеза  $H_1$ , т.е. дисперсии отличаются значимо. Исходя из этого, стандартная ошибка разности  $S_{им-нат}$  и число степеней свободы  $\nu$  с учетом того, что выборки отличаются, при



вычисления t-критерия рассчитываются [7], в отличие от (10) следующим образом

$$S_{им-нат} = \sqrt{\frac{G_{им}^2}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2}{n_{нат}}} = \begin{cases} \sqrt{\frac{G_{им}^2 (ИК + ФП)}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2 (ИК + ФП)}{n_{нат}}} = \\ \sqrt{\frac{G_{им}^2 (КСИЗ 1)}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2 (КСИЗ 1)}{n_{нат}}} \end{cases} =$$

$$= \begin{cases} \sqrt{\frac{59,09^2}{100} + \frac{112,68^2}{6}} = \begin{cases} 10,08 - \text{при работе в ИК с ФП;} \\ 9,89 - \text{при работе в КСИЗ 1;} \end{cases} \end{cases}, \quad (17)$$

$$v = \frac{\left(\frac{G_{им}^2}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2}{n_{нат}}\right)^2}{\frac{G_{им}^4}{n_{им}^2 \cdot (n_{им} - 1)} + \frac{G_{нат}^4}{n_{нат}^2 \cdot (n_{нат} - 1)}} =$$

$$= \begin{cases} \frac{\left(\frac{59,09^2}{100} + \frac{112,68^2}{6}\right)^2}{\frac{59,09^4}{100^2 \cdot (100 - 1)} + \frac{112,68^4}{6^2 \cdot (6 - 1)}} = 68,15 \approx 70 - \text{при работе в ИК с ФП;} \\ \frac{\left(\frac{66,2^2}{100} + \frac{113,07^2}{6}\right)^2}{\frac{66,2^4}{100^2 \cdot (100 - 1)} + \frac{113,07^4}{6^2 \cdot (6 - 1)}} = 44,25 \approx 44 - \text{при работе в КСИЗ 1.} \end{cases} \quad (18)$$

В результате

$$t_{набл} = \frac{|\bar{x}_{нат} - \bar{x}_{им}|}{S_{им-нат}} = \begin{cases} \frac{|\bar{t}_{нат} (ИК + ФП) - \bar{t}_{им} (ИК + ФП)|}{S_{им-нат} (ИК + ФП)} = \\ \frac{|\bar{t}_{нат} (КСИЗ 1) - \bar{t}_{им} (КСИЗ 1)|}{S_{им-нат} (КСИЗ 1)} \end{cases} =$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \frac{|538,33 - 556,74|}{10,08} \\ \frac{|549,17 - 583,93|}{9,89} \end{array} \right. = \quad (19)$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 1,82 > t_{\text{табл}}(\alpha = 0,1) = 1,67 - \text{при работе в ИК с ФП}; \\ 3,52 > t_{\text{табл}}(\alpha = 0,05) = 2,02 - \text{при работе в КСИЗ 1,} \end{array} \right.$$

т.е., значение t-критерия  $t_{\text{набл}}$  больше критического значения t-критерия  $t_{\text{табл}}$  при заданном уровне значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы  $\nu$ . Это говорит о том, что на уровне значимости  $\alpha$  можно принять гипотезу  $H_1$ . Следовательно, различие математических ожиданий времени локализации чрезвычайной ситуации методом реконденсации, полученных после того, как личный состав спасателей стал готовиться с использованием предложенных нормативов, является значимым.

**Выводы.** Для статистической оценки нормативов, которые могут использоваться для оценки уровня подготовленности спасателей к работе в КСИЗ, целесообразно использовать параметры нормального распределения времени выполнения рассматриваемой операции (процесса), которые могут быть получены как в результате физического, так и имитационного на ЭВМ эксперимента.

Результаты подготовки спасателей с использованием нормативов с уровне значимости  $\alpha=0,05$  свидетельствуют о существенном сокращении времени выполнения как типовых операций, так и конкретных процессов, обеспечивающих проведение аварийно-спасательных работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Спортивная метрология. Учебник для ин-тов физ. культ. / Под ред. В.М.Зациорского. – М.: ФиС, 1982. – 256 с.
2. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К.: УДПО МВС України, 1995. – 14 с.
3. Методичні рекомендації щодо порядку виконання нормативів радіаційного та хімічного захисту особовим складом органів управління та підрозділів МНС: наказ від 15.10.2008 № 741 МНС України – Офіц. вид. – Київ: МНС України, 2008. – 88 с. – (Нормативний документ МНС України, Методичні рекомендації).
4. Кадачников А.А. Психологическая подготовка к рукопашному бою: моногр./ А.А. Кадачников. – Ростов-на-Дону: Экспериментальный колледж Кубанской государственной академии физической культуры, «Феникс», 2003. – 301 с.

5. Стрелец В.М. Разработка нормативов для оценки подготовленности спасателей к работе в комплексе средств индивидуального типа / В.М. Стрелец, М.В. Васильев, В.В. Тригуб // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2014. – № 19. – С.133-141.

6. Стрелец В.М. Определение количества тренировочных попыток, после которого можно оценивать качество выполнения задания / В.М. Стрелец, М.В. Васильев // Техносферная безопасность. – 2013. – № 1. – С. 61-64.

7. Халафян А.А. STATISTICA 6 Статистический анализ данных / А.А. Халафян. – М.: 000 «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

В.М. Стрелець, М.В. Васильєв, В.В. Тригуб

**Оцінка ефективності підготовки рятувальників з використанням нормативів**

Перевірено ефективність підготовки рятувальників до ліквідації надзвичайних ситуацій з викидами небезпечних хімічних речовин з використанням нормативів, що спираються на розрахунок зворотних функцій нормального розподілу, отриманих як шляхом натурального, так і імітаційного на ЕОМ експерименту. Показано, що з рівнем значущості  $\alpha=0,05$  скорочення часу виконання типових операцій (процесів) є суттєвим.

**Ключові слова:** норматив, підготовка, рятувальник, час виконання, операція, процес.

V.M. Strelets, M.V. Vasilev, V.V. Trygub

**Evaluating the effectiveness of training rescuers using standards**

It is verified the effectiveness of rescuers training for emergency situations with emissions of hazardous chemicals using standards that are based on the calculation of the inverse function of the normal distribution, as obtained by the full-scale and simulation on a computer experiment. It is shown that the significance level  $\alpha=0,05$  reducing runtime model operations (processes) is important.

**Keywords:** standard, training, lifeguard, runtime operation, the process.

Г.В. Фесенко, к.т.н, доцент, ХНУМГ,  
С.А. Грязнова, к.т.н, доцент, ХНУМГ,  
В.І. Д'яконов, к.т.н, доцент, ХНУМГ,  
О.В. Чеботарьова, ст. викладач, ХНУМГ,  
І.І. Попов, к.т.н, доцент, НУЦЗУ

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ПОВЕНІ З УРАХУВАННЯМ КУТІВ НАХИЛУ БЕРЕГІВ РІЧКИ ТА ШВИДКОСТІ ЇЇ ТЕЧІЇ

(представлено д-ром техн. наук Чубом І.А.)

Проведені дослідження впливу кута нахилу лівого берегу річки та швидкості її течії на площу поперекового перерізу її потоку під час проходження повені.

**Ключові слова:** повінь, площа затоплення, інтенсивність опадів, кути нахилу берегів, швидкість течії, поперековий переріз потоку.

**Постановка проблеми.** Серед надзвичайних ситуацій (НС) природного характеру класу 20500 [1], що дошкуляють об'єктам інфраструктури населених пунктів, повені займають лідируюче місце за числом їх повторів, охопленням територій, а також за сумарним середньорічним економічним збитком, який вони завдають.

Вражаюча дія повеней і їх матеріальний збиток полягають в затопленні територій, пошкодженні при цьому житлових і виробничих будівель, автомобільних доріг, ліній електропередач з можливою пожежею, руйнуванні інших комунально-енергетичних мереж. При цьому утворюється зона НС, яка включає територію, в межах якої відбулося затоплення місцевості, пошкодження будівель, споруд і інших об'єктів, що супроводжується ураженнями або загибеллю людей, забрудненням навколишнього природного середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах з досліджуваних питань [2-4], оцінка наслідків повені проводилася лише з урахуванням схеми перерізу річки (у вигляді трапеції чи трикутника), залишаючи поза увагою дослідження впливу на розрахункові параметри повені кутів нахилу берегів при різних можливих швидкостях течії річки та інтенсивності опадів у даній місцевості на заданій площі. Оскільки кути нахилу берегів і швидкість течії, особливо для річок значної довжини, є змінною характеристикою, важливо було врахувати ці характеристики під час розрахунків.

**Постановка завдання та його вирішення.** Основною задачею досліджень було отримання основних характеристик повені з метою подальшої оцінки частки пошкоджених об'єктів міської інфраструкту-

ри у разі повені і розробки рекомендацій стосовно берегоукріплювальних та інших превентивних заходів щодо зменшення впливу вражаючих факторів повені. В ході досліджень проводились розрахунки, метою яких було оцінити вплив кута нахилу лівого берегу річки та інтенсивності опадів на площу поперекового перерізу її потоку під час проходження повені. При цьому приймалося, що переріз річки має форму трапеції. Розрахунки проводились у наступній послідовності:

1. Визначалася площа перерізу річки до повені:

$$S_0 = 0,5 \cdot b_0 \cdot h_0, \text{ м}^2, \quad (1)$$

де  $b_0$  – ширина річки до повені,  $\text{м}$ ;  $h_0$  – глибина річки до затоплення,  $\text{м}$ .

2. Визначалася витрата води до повені:

$$Q_0 = v_0 \cdot S_0, \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}, \quad (2)$$

де  $v_0$  – швидкість води у річці до повені,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ .

3. Визначалася витрата води після випадання опадів та настання повені:

$$Q_{max} = Q_0 + J \cdot F \cdot 0,2778, \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}, \quad (3)$$

де  $J$  – інтенсивність опадів,  $\text{мм} \cdot \text{год}^{-1}$ ;  $F$  – площа випадання опадів,  $\text{км}^2$ .

4. Визначалася висота підйому води у річці після проходження повені:

$$h = \left\{ 2 \cdot Q_{max} \cdot \left[ \frac{b_0 - a_0}{ctg n + ctg m} \right]^{5/3} \right\}^{3/8} - \left[ \frac{b_0 - a_0}{ctg n + ctg m} \right], \text{ м}, \quad (4)$$

де  $m$  і  $n$  – кут нахилу лівого і правого берегів річки відповідно,  $\text{м}$ ;  $a_0$  – ширина дна річки,  $\text{м}$ .

5. Визначалася площа поперекового перерізу потоку річки під час проходження повені:

$$S_{max} = 0,5 \cdot (a_0 + b), \text{ м}^2, \quad (5)$$

де  $b$  – ширина річки під час повені.

З використанням формул (1)-(5) було проведено розрахунки, що дозволили отримати залежності, подані на рис. 1, 2.

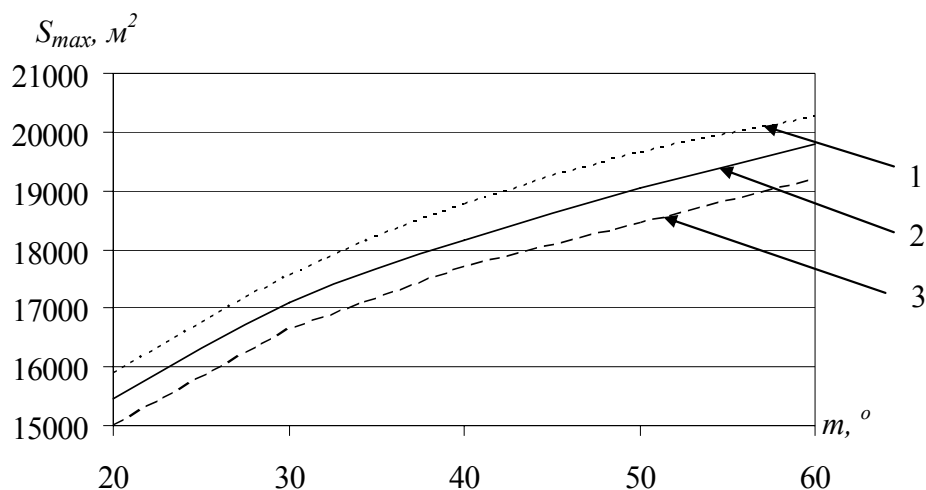


Рис. 1. Графік залежності площі поперечного перерізу потоку річки під час проходження повені від кута нахилу її лівого берегу: 1 – швидкість течії річки до повені  $v_0 = 1,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , 2 – швидкість течії річки до повені  $v_0 = 1,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ; 3 – швидкість течії річки до повені  $v_0 = 0,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$

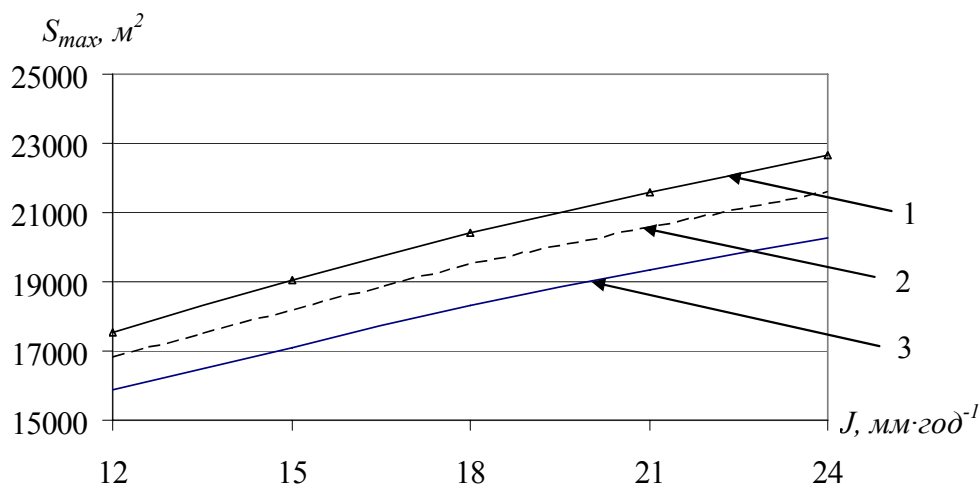


Рис. 2. Графік залежності площі поперечного перерізу потоку річки під час проходження повені від інтенсивності випадання опадів: 1 – кут нахилу лівого берега  $m = 50^\circ$ , 2 – кут нахилу лівого берега  $m = 40^\circ$ ; 3 – кут нахилу лівого берега  $m = 30^\circ$

При цьому для отримання обох залежностей фіксувались наступні вихідні дані:  $a_0 = 65 \text{ м}$ ,  $b_0 = 120 \text{ м}$ ,  $h_0 = 5 \text{ м}$ ;  $n = 15^\circ$ ;  $F = 700 \text{ км}^2$ . Крім того, для побудови першої залежності додатково фіксувався параметр  $J = 15 \text{ мм}\cdot\text{год}^{-1}$ , а для побудови другої – параметр  $v_0 = 1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

Аналіз графіків, поданих на рис 1,2 дозволяє зробити наступні висновки:

- при збільшенні кута нахилу лівого берегу з  $20^\circ$  до  $60^\circ$  площа поперечного перерізу потоку під час проходження повені збільшується в середньому в 1,27 рази, причому для швидкості течії  $1,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  пло-

ща поперекового перерізу потоку річки під час проходження повені на  $1000 \text{ м}^2$  є більшою, ніж при швидкості течії  $0,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ;

- при збільшенні інтенсивності опадів з  $12$  до  $24 \text{ мм}\cdot\text{год}^{-1}$  площа поперекового перерізу потоку річки під час проходження повені збільшується в середньому в  $1,28$  рази, причому для кута нахилу лівого берегу в  $50^\circ$  площа поперекового перерізу потоку під час проходження повені приблизно на  $2000 \text{ м}^2$  є більшою, ніж для кута в  $30^\circ$ .

**Висновки.** У статті показано, що збільшення кута лівого берегу і інтенсивність опадів призводять до збільшення площі поперекового перерізу потоку річки під час проходження повені у  $1,27$  та  $1,28$  рази відповідно. Крім того доведено, що цю площу збільшує також і швидкість течії річки. Для розглянутих вихідних даних ця площа для швидкості течії у  $1,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  є більшою, ніж для швидкості у  $0,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

## ЛІТЕРАТУРА

1. Державний класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. (Затверджений наказом Держспоживстандарту України від 11.11.2010 р., № 457) – (Нормативний документ Держспоживстандарту України. Національний класифікатор). – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 19 с.

2. Красницкий С.С. Метод расчета коэффициентов максимального влияния факторов на возникновение паводковых ситуаций / С.С. Красницкий, О.С. Бутенко, Р.Э. Пашенко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 4. – С. 151–157.

3. Куприенко П.С. Прогнозирование наводнений на малых реках Воронежской области / П.С. Куприенко, Н.Д. Разиньков // Вестник Воронежского государственного технического университета.– Воронеж: ВГТУ, 2007.– Том 3. – Вып № 2.– С. 75-77.

4. Волосухин В. А. Наводнения на Кубани. Проблемы и задачи / В.А. Волосухин, О.М. Щурский // Гидротехника. – 2012. – № 4. – С. 6-10.

Г.В. Фесенко, С.А. Грязнова, В.И. Дьяконов, А.В. Чеботарева, И.И. Попов

**Особенности прогнозирования последствий наводнения с учетом углов наклона берегов реки и скорости ее течения**

Проведены исследования влияния угла наклона левого берега реки и скорости ее течения на площадь продольного сечения ее потока во время прохождения наводнения.

**Ключевые слова:** наводнение, площадь затопления, интенсивность осадков, углы наклона берегов, скорость течения, продольное сечение потока.

G.V. Fesenko, S.A. Griaznova, V.I. Diakonov, O.V. Chebotariova, I.I. Popov

**Features of flood consequences prediction taking into account the angles of river banks slope and speed of its flow**

The effect of the angle of the left river bank and its flow rate by the area of the longitudinal section of its flow during the passage of the flood are investigated.

**Keywords:** flood, flood area, rainfall intensity, the angles of the coast, the flow velocity, longitudinal section of the flow.

*И.А. Чуб, д.т.н., профессор, нач. каф., НУГЗУ,  
В.А. Андронов, д.т.н., профессор, проректор, НУГЗУ,  
А.А. Неронов, оперативный дежурный, НУГЗУ,  
С.Э. Важинский, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ИСПАРЕНИЯ НА ОБЪЕМ ПОТЕРЬ НЕФТИ ПРИ АВАРИЯХ НА ТРУБОПРОВОДАХ**

Определяется зависимость потерь на испарение в атмосферу при аварийном разливе нефти с учетом скорости ветра и температуры окружающей среды.

**Ключевые слова:** аварийный разлив нефти, потери нефти на испарение, температура, скорость ветра.

**Постановка проблемы.** Использование современных технологий добычи, хранения, транспортировки нефти и строгое соблюдение требований безопасности не гарантируют отсутствие чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с аварийными разливами нефти (АРН). Эти аварии приводят, как правило, к тяжелым экологическим последствиям и значительным экономическим потерям. Успешной ликвидации таких ЧС и оценке ущерба, нанесенного окружающей среде, препятствует недостаточная разработка эффективных методов оценки параметров АРН. Решение указанных проблем возможно на основе применения математического моделирования, направленного на разработку моделей потерь нефти на испарение в атмосферу.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В ряде публикаций [1–3] рассматриваются различные вопросы анализа и моделирования потерь нефти при АРН на суше. Недостатками указанных подходов является общий характер рекомендаций без учета физических характеристик нефти, влияющих на формирование и динамику нефтяного пятна и уровень потерь нефти на испарение.

**Постановка задачи и ее решение.** В соответствии с вышесказанным, *целью статьи* является моделирование величины потерь при АРН с учетом процессов испарения нефти и сбора разлившейся нефти в зависимости от характеристик нефти и параметров окружающей среды. Для упрощения анализа рассматривается случай истечения нефти на горизонтальный участок, однако результаты моделирования справедливы и для областей с рельефом.

Рассмотрим аварию, связанную с частичным разрушением нефтепровода (прокол), сопровождающуюся непрерывным истечением нефти на сушу и возникновением области загрязнения.

Как показано в работах [3, 4], оценка величины потерь при АРН



находиться в три етапа:

- определение объема аварийного истечения нефти из дефектного трубопровода;
- определение площади нефтяного пятна с учетом характеристик нефти и времени растекания;
- определение потерь нефти на испарение с учетом характеристик нефти, параметров окружающей среды и времени испарения.

Вычисление объема истечения нефти из дефектного трубопровода при АРН производится суммированием количеств вытекшей нефти при различных режимах истечения.

Способы определения объемов аварийного истечения нефти из трубопровода при различных режимах были проанализированы в работах [4, 5].

Площадь растекания нефти по грунту при АРН находится с учетом объема и времени разлива, свойств нефти и грунта. Методы оценки площади разлива подробно даны в работах [6, 7].

При разливе нефти по горизонтальной твердой подстилающей поверхности зона загрязнения имеет форму, близкую к круговой. Формула для вычисления площади  $S_{РАЗЛ}$  аварийного нефтяного пятна на момент времени  $t$  после аварии при непрерывном истечении с объемным расходом  $Q = \text{const}$  имеет вид [6, 7]:

$$S_{РАЗЛ} = 36 Q^{0.764} \nu^{-0.367} t^{0.918}, \quad (1)$$

где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости нефти, Ст;  $t$  – время растекания нефтяного пятна, с.

Здесь время растекания равно промежутку времени с момента прорыва до ликвидации течи в трубопроводе.

В случае, если  $Q = Q(t)$ , площадь нефтяного пятна при АРН определяется как

$$S_{РАЗЛ} = 36 \int_0^T Q(t)^{0.764} \nu^{-0.367} t^{0.918} dt, \quad (2)$$

где  $T$  – общее время растекания нефти.

В статье [8] были определены потери нефти на испарение в атмосферу. Объем  $V_{И}$ , легких фракций нефти, испарившихся в атмосферу, может быть найден по формуле

$$V_{И} = \frac{1}{\rho} W_{И} S_{РАЗЛ} t, \quad (3)$$

где  $W_{И}$  – интенсивность испарения, кг / с  $m^2$ ,  $t$  – время испарения, с. Здесь

время испарения равно общему времени локализации и ликвидации АРН.

Для оценки величины  $W_{II}$  в работе [5] предлагается использовать формулу

$$W_{II} = 10^{-6} \eta \sqrt{M_{II} P_H}, \quad (4)$$

где  $M_{II}$  – молярная масса паров нефти, г/моль;  $P_H$  – давление насыщенных паров нефти, кПа;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость ветра и температуру окружающей среды над поверхностью испарения (табл. 1).

**Табл. 1. Значения коэффициента  $\eta$  в зависимости от скорости ветра и температуры окружающей среды над поверхностью испарения**

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С				
	ниже 12	12 – 17	17 – 25	25 – 32	выше 32
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0 – 0,15	3,0	2,6	2,4	1,8	1,8
0,15 – 0,30	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,30 – 0,70	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
больше 0,70	10	8,7	7,7	5,6	4,6

Тогда, с учетом (4), выражение (3) примет вид:

$$V_{II} = 10^{-6} \frac{\sqrt[3]{M_{II} P_H}}{\rho} S_{PA3Л} t. \quad (5)$$

Для различных участков пятна разлива время испарения различно и определяется общим временем растекания  $T$  и временем достижения и покрытия  $t_{ДОСТ}$  нефтяным потоком данного участка:

$$t_{\phi} = t - t_{ДОСТ}. \quad (6)$$

Для определения величины  $t_{ДОСТ}$ , аналогично тому, как показано в работе [6], разобьем нефтяное пятно на элементарные площадки  $S_i$ , соответствующие дискретным моментам времени  $\Delta t$ . В этом случае времен испарения  $t_i$  для  $i$ -ой элементарной площадки равно:

$$t_i = t - i \Delta t, \quad (7)$$

а площадь  $S_i$   $i$ -ой элементарной площадки определяется как

$$S_i = S(t_i) - S(t_{i-1}), \quad (8)$$

где площади испарения  $S(t_i)$  и  $S(t_{i-1})$  определяются по формуле (1) или формуле (2).

Тогда величина общего объема  $V_{II}$  испарившейся нефти имеет вид:

$$V_{II} = \sum_{i=1}^N V_{iII} = 10^{-6} \frac{\sqrt[3]{M_{II} P_H}}{\rho} \sum_{i=1}^N S_i t_i, \quad (9)$$

где  $V_{iII}$  – объем нефти, испарившейся с  $i$ -ой элементарной площадки.

После обнаружения утечки нефти из трубопровода и прибытия к месту АРН аварийно-ремонтной бригады выполняются работы по устранению течи (конкретизация времени разлива  $t$ ) и локализации разлива (конкретизация  $S_{РАЗЛ}$ ). Одновременно с устранением течи и локализацией разлива осуществляется сбор нефти с грунта, что уменьшает ее потери. Эффективность этого процесса характеризуется коэффициентом сбора нефти [6, 9]:

$$K_{CB} = \frac{V - V_{ПОТ}}{V}, \quad (10)$$

где  $V_{ПОТ}$  – общий объем потерь нефти.

Очевидно, что испарившаяся в атмосферу нефть является безвозвратно потерянной, поэтому верхней оценкой  $K_{CB}$  (без учета потерь нефти на впитывание в грунт) является величина

$$K_{CB}^* = \frac{V - V_{II}}{V},$$

полученная в предположении, что вся не испарившаяся нефть будет собрана. Величина  $K_{CB}^*$  зависит от вязкости и температуры нефти, а также скорости ветра и температуры окружающей среды, и колеблется от 0.1 до 0.8. Тогда общие потери нефти при аварии равны:

$$V_{ПОТ} = V(1 - K_{CB}). \quad (11)$$

На рис. 1 и 2 приведены зависимости  $V_{ПОТ}$  от температуры воздуха и скорости ветра, построенные по формулам (9)–(11).

Расчеты выполнялись со следующими исходными данными:

- расход нефти через дефектное отверстие  $0.01 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- время истечения нефти  $1200 \text{ с}$ ;
- плотность нефти  $840 \text{ кг/м}^3$ ;
- молярная масса паров нефти  $270 \text{ г/моль}$ ;
- давление насыщенных паров нефти  $72 \text{ кПа}$ ;
- часть собранной нефти  $50\%$

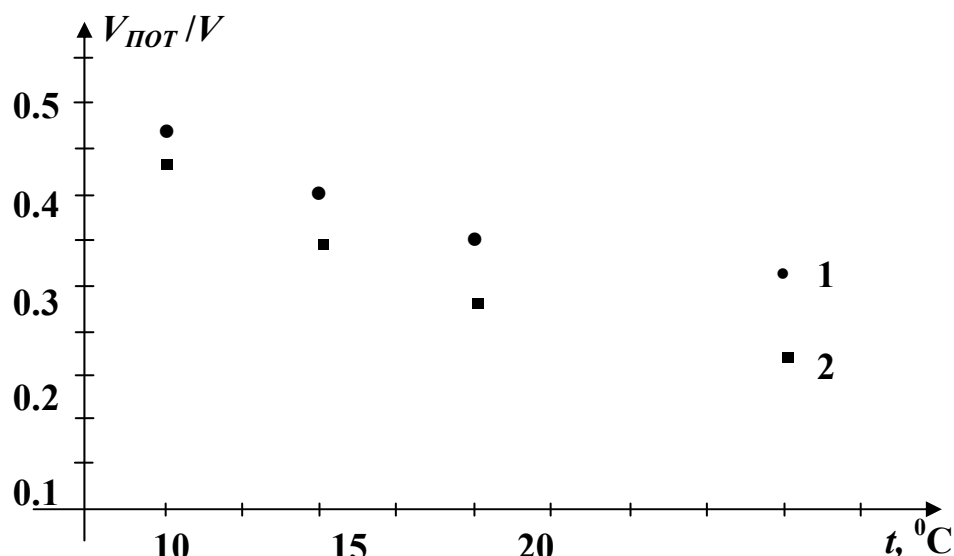


Рис. 1. Зависимость  $V_{\text{пот}}$  от температуры при разной скорости ветра: кривая 1 –  $v=0.5$  м/с; кривая 2 –  $v=1.0$  м/с

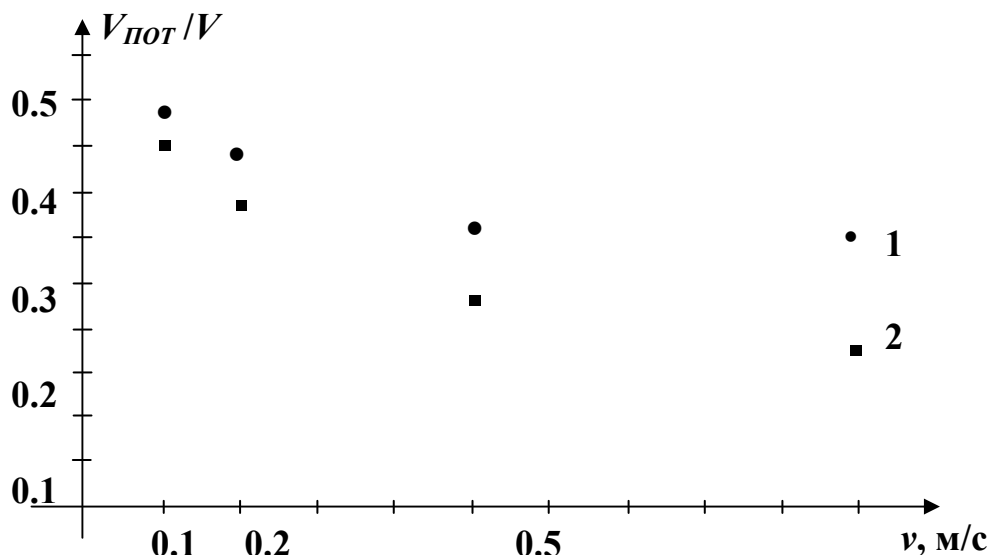


Рис. 2. Зависимость  $V_{\text{пот}}$  от скорости ветра при разной температуре: кривая 1 –  $t=10^{\circ}\text{C}$ ; кривая 2 –  $t=30^{\circ}\text{C}$

**Выводы.** Таким образом, в статье определены величины потерь нефти при аварийном разливе с учетом испарения легких фракций в атмосферу и сбора разлившейся нефти. Потери возрастают с увеличением температуры окружающей среды и скорости ветра над поверхностью разлива.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атнабаев А.Ф. Оценка последствий аварийных разливов нефти на магистральных нефтепроводах / А.Ф. Атнабаев, С.В. Павлов и др. // Нефтегазовое дело. – 2006. – №1. – С. 239-242.

2. Широков Г.В. Анализ рисков аварийных отказов магистральных трубопроводов: моделирование зон загрязнения при разливах нефти на суше / Г.В.Широков, В.И. Ларионов, Т.С. Суцев // Трубопроводный транспорт. – 2010. – №2 (18). – С. 20-24.

3. Козлитин А.М. Количественный анализ риска возможных разливов нефти и нефтепродуктов / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска: Междунар. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 2005. – С. 135-160.

4. Чуб И.А. Количественная оценка масштабов аварийных разливов нефти при авариях на нефтепроводе / И.А. Чуб, А.А. Неронов, В.М. Попов // Збірник наукових праць ХУПС. – 2012. – Вып. 1(30). – С. 185-188.

5. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах / Утверждено Министерством топлива и энергетики РФ 1 ноября 1995 г. – 122 с.

6. Чуб И.А. Моделирование потерь нефти при авариях на трубопроводах / И.А. Чуб, А.А. Неронов // Проблемы чрезвычайных ситуаций. – 2012. – Вып. 16. – С. 131-137.

7. Неронов А.А. Анализ методик определения количественных характеристик аварийных разливов нефти на суше / А.А. Неронов, И.А. Чуб // Проблемы чрезвычайных ситуаций. – 2013. – Вып. 17. – С. 93-98.

8. Неронов А.А. Моделирование влияния времени локализации и ликвидации аварийного разлива нефти на характеристики зоны загрязнения / А.А. Неронов, И.А. Чуб // Проблемы чрезвычайных ситуаций. – 2012. – Вып. 15. – С. 98-103.

9. Пуликовский К.Б. Анализ риска от аварийных разливов нефти на трубопроводной системе Сахалин-2 / К.Б. Пуликовский, В.И. Ларионов, В.Г. Кумохин. – М.: ЦИЭКС, 2006. – 47 с.

I.A. Chub, V.A. Andronov, O.A. Neronov, S.E. Vazhynskiy

#### **Модельювання впливу випарування на об'єм втрат нафти при аваріях на трубопроводах**

Визначається залежність втрат на випарування у атмосферу при аварійному розливі нафти з урахуванням швидкості вітру та температури навколишнього середовища.

**Ключові слова:** аварійний розлив нафти, втрати нафти на випарування, температура, швидкість вітру.

I.A. Chub, O.A. Neronov, S.Ye. Vazhynskiy

#### **Modelling the impact on the amount of evaporation oil losses during pipeline accidents**

It is determined the dependence of the loss by evaporation into the atmosphere of oil spills considering wind speed and ambient temperature.

**Keywords:** emergency oil spill, oil losses to evaporation, temperature, wind speed.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>С.І. Азаров, О.В. Тарановський, В.Л. Сидоренко</b> Оцінка вибухонебезпечності водню на ранній стадії розвитку Чорнобильської аварії.....	3
<b>Г.Н. Алышанов</b> Анализ математических моделей динамики метрических параметров нефтяного пятна при аварии танкера на морской акватории.....	11
<b>А.Е. Басманов, И.А. Горпинич</b> Растекание жидкости на негладкой горизонтальной поверхности при аварии на железнодорожном транспорте.....	16
<b>В.Ю. Беляев, А.М. Яковлев</b> Нахождение оптимального маршрута эвакуации населения в случае угрозы аварии на химически опасных объектах.....	21
<b>П.Ю. Бородич, П.А. Ковальов, І.О. Поляков</b> Імітаційне моделювання оперативного розгортання особового складу автомобілю пожежного першої допомоги установкою триноги на колодязь та спуском в нього.....	28
<b>С.А. Горносталь, Е.А. Петухова, Ю.В. Уваров</b> Усовершенствование метода выбора режима работы аэротенка.....	33
<b>Є.М. Грінченко, Д.Л. Соколов, Р.М. Федоренко, В.О. Собина</b> Метод визначення колективного ризику при виникненні надзвичайної ситуації на підприємстві по збереженню нафтопродуктів.....	38
<b>О.В. Єрьомін, Н.В. Дейнеко, В.М. Стрілець</b> Розробка моделей для довгострокового прогнозування рівня професійного ризику.....	44
<b>А.В. Загора, Є.Є. Селеєнко, А.Б. Фещенко</b> Підвищення точності місцевизначення підсистеми моніторингу мобільних об'єктів ДСНС шляхом комплексування каналів.....	53
<b>Г.В. Іванець, М.П. Букін, О.М. Ігнат'єв</b> Застосування регресійних математичних моделей для прогнозування завданих збитків внаслідок надзвичайних ситуацій чи подій.....	60
<b>Г.В. Іванець, І.О. Толкунов, Є.І. Стецюк</b> Математична модель раціонального використання сил і засобів підрозділів ДСНС України для виконання завдань за призначенням.....	66
<b>А.Я. Калиновський, О.М. Ларін, В.І. Цюлковський, Г.О. Чернобай</b> Визначення параметрів пневматичних пружних елементів другої ступені ресорного підвішування візка для транспортування небезпечних вантажів.....	76
<b>К.М. Карпець</b> Застосування методів ГІС-аналізу для моделювання зони повені та витрат води під час паводка з метою запобігання виникнення надзвичайних ситуацій.....	82
<b>В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка, А.И. Тарариев</b> Математическая модель по определению воздействия опасных факторов чрезвычайных ситуаций на системы хранения взрывоопасных газов из композитных материалов.....	87

<b>М.В. Кустов</b> Влияние концентрации ионов в атмосфере на интенсивность осадков над зоной выброса опасных веществ.....	93
<b>І.М. Неклонський, В.О. Самарін, О.М. Фурсенко</b> Спосіб кількісного описання взаємодії підрозділів різного підпорядкування при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.....	99
<b>Б.Б. Поспелов, К.М. Остапов</b> Проверка адекватности гауссовой статистики для спутниковых данных фоновой температуры земной поверхности при обнаружении чрезвычайных ситуаций.....	103
<b>А.С. Рогозін, О.М. Соболев, Р.Т. Левченко</b> Оптимізаційна модель розподілу сил цивільного захисту по регіонам України.....	108
<b>Е.А. Рыбка</b> Исследование эффективности защитных покрытий металлических конструкций, работающих в условиях чрезвычайных ситуаций.....	114
<b>Ю.Н. Сенчихин</b> Приближенный анализ работы (процесса выстрела) спасательного устройства для метания снаряда с тросом на высоты зданий.....	119
<b>В.М. Стрелец, М.В. Васильев, В.В. Тригуб</b> Оценка эффективности подготовки спасателей с использованием нормативов.....	124
<b>Г.В. Фесенко, С.А. Грязнова, В.І. Д'яконов, О.В. Чеботарьова, І.І. Попов</b> Особливості прогнозування наслідків повені з урахуванням кутів нахилу берегів річки та швидкості її течії.....	132
<b>И.А. Чуб, В.А. Андронов, А.А. Неронов, С.Э. Важинский</b> Моделирование влияния испарения на объем потерь нефти при авариях на трубопроводах.....	136

## СПИСОК АВТОРОВ

Азаров С.І.	3	Петухова Е.А.	33
Альшанов Г.Н.	11	Поляков І.О.	28
Андронов В.А.	141	Попов І.І.	132
Басманов А.Е.	16	Поспелов Б.Б.	103
Беляев В.Ю.	21	Рогозін А.С.	108
Бородич П.Ю.	28	Рыбка Е.А.	114
Букін М.П.	60	Самарін В.О.	99
Важинский С.Э.	136	Селеєнко Є.Є.	53
Васильев М.В.	124	Сенчихин Ю.Н.	119
Горносталь С.А.	33	Сидоренко В.Л.	3
Горпинич И.А.	16	Собина В.О.	38
Грінченко Є.М.	38	Соболь О.М.	108
Грязнова С.А.	132	Соколов Д.Л.	38
Д'яконов В.І.	132	Стецюк Є.І.	66
Дейнеко Н.В.	44	Стрелец В.М.	44, 124
Єрьомін О.В.	44	Тарановський О.В.	3
Закора А.В.	53	Тарариев А.И.	87
Іванець Г.В.	60, 66	Толкунов І.О.	66
Ігнат'єв О.М.	60	Тригуб В.В.	124
Калиновський А.Я.	76	Уваров Ю.В.	33
Карпець К.М.	82	Федоренко Р.М.	38
Ключка Ю.П.	87	Фесенко Г.В.	132
Ковальов П.А.	28	Фещенко А.Б.	53
Кривцова В.И.	87	Фурсенко О.М.	99
Кустов М.В.	93	Ціолковський В.І.	76
Ларін О.М.	76	Чеботарьова О.В.	132
Левченко Р.Т.	108	Чернобай Г.О.	76
Неклонський І.М.	99	Чуб И.А.	136
Неронов А.А.	136	Яковлев А.М.	21
Остапов К.М.	103		



*Наукове видання*

## **ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Випуск 20

Головний редактор Ю.О. Абрамов

Технічні редактори: К.М. Карпець, Н.В. Кринська

---

Підписано до друку 29.09.2014

Друк. арк. 9,06

Ум.-друк. арк. 8,43

Формат паперу 60x84/16

Тир. 300

Зам. 453 – 2014

Ціна договірна

---

61023, Харків, вул. Чернишевська, 94

Електронна адреса: <http://nuczu.edu.ua>

Типографія Національного університету цивільного захисту України