

УДК 614.8

О.В. Захаренко<sup>1</sup>, М.І. Адаменко<sup>2,3</sup>, О.А. Клименко<sup>3</sup><sup>1</sup>Головне управління МНС у Дніпропетровській області, Дніпропетровськ<sup>2</sup>Академія внутрішніх військ МВС України, Харків<sup>3</sup>Харківська державна академія фізичної культури, Харків

## ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ШЛЯХОМ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАХОДІВ ПО ЛОКАЛІЗАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

У статті запропоновані прості та ефективні моделі, які пристосовані для оперативних розрахунків зон хімічного зараження, зон з нижнім та верхнім концентраційними межами займання. Моделі можливо використовувати при складанні планів з ліквідації аварійних ситуацій. Розглянуто досягнення гранично-допустимих концентрацій хімічно-небезпечних речовин у повітрі при постійно діючому джерелі забруднення та одинокому викиді.

**Ключові слова:** безпека життєдіяльності, об'єкти хімічної промисловості, надзвичайна ситуація.

### Вступ

**Актуальність теми.** На території України розташована велика кількість промислових підприємств. Третина з них відноситься до потенційно небезпечних об'єктів, на яких виробляються, зберігаються та транспортуються небезпечні хімічні речовини.

Ризик виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру постійно зростає, оскільки рівень зносу виробничого устаткування на більшості хімічних об'єктах наближається до критичного.

Аварії на таких об'єктах можуть супроводжуватись забрудненням навколишнього середовища небезпечними хімічними речовинами, а також пожежами та вибухами. При цьому площа зон забруднення буде вимірюватись квадратними кілометрами, а постраждале населення нараховуватиме сотні та тисячі чоловік.

**Постановка проблеми.** Таким чином постає наукова проблема щодо розробки заходів по ліквідації та локалізації аварій, пов'язаних з викидом (вилівом) небезпечних хімічних речовин, передбачають не тільки наявність інформації про фізико-хімічні характеристики речовини, площу хімічного забруднення, але й відомості про концентрацію хімічної речовини в зоні забруднення.

**Попередні дослідження та вивчення літератури.** Проблемам забруднення атмосфери від висотних джерел викиду, розповсюдження домішок в приземному шарі атмосфери вчені приділяли увагу протягом багатьох років. Перші теоретичні дослідження з цього напрямку належать таким вченим як А. Робертс, О. Сеттон. На сучасному етапі розвитку науки існують роботи, в яких за допомогою математичних моделей розглядаються питання забруднення навколишнього середовища від висотних джерел викиду, які представлені у роботах Берлянда М.Е.,

Бизовой Н.Л., Колмогорова А.Н., Марчука Г.И., Гаргера Е.К., Иванова В.Н., Яглома А.Н., Моніна А.С., Соловей В.В., Прохача Е.Ю., Беляєва М.М та інших.

Отже, постає наукова задача по розрахунку зон токсичного зараження, зон з нижнім та верхнім концентраційними межами займання, яка може бути використана для подальшого прийняття оперативно-тактичних рішень пожежно-рятувальними підрозділами МНС з метою захисту населення при ліквідації наслідків аварій з викидом (вилівом) хімічних речовин.

### Розв'язання задачі

На підставі рівнянь турбулентної дифузії можливо розробити аналітичну модель для опису просторового розподілу концентрації небезпечних хімічних речовин як у стаціонарному, так й у нестационарному випадках розвитку аварій, що пов'язані з викидом (вилівом) небезпечних хімічних речовин. Вихідне напівемпіричне рівняння турбулентної дифузії хімічних речовин в атмосфері за певних умов можливо подати у вигляді:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \sigma \varphi + \bar{V} \bar{V} \varphi - \mu \Delta_2 \varphi - \nu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = F(\bar{r}, t), \quad (1)$$

де  $\varphi = \varphi(\bar{r}, t)$  – концентрація (кг/м<sup>3</sup>);  $\bar{V}$  – швидкість

повітря (м/с),  $\Delta_2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ ;  $\mu$  і  $\nu$  – коефіцієнти

горизонтальної та вертикальної турбулентної дифузії; функція  $F(\bar{r}, t)$  описує джерела викиду речовини, а коефіцієнт  $\sigma$  уведено для врахування можливостей розпаду або реакції розглядуваної речовини з компонентами зовнішнього середовища;  $\bar{r} = (x, y, z)$  – поточні координати;  $t$  – час.

Така модель (1) є застосованою для аналізу розповсюдження хімічних газів на рівнині без пе-

решкоджань. Нами припускається, що швидкість  $\bar{V}$  відповідає середній швидкості повітря, яка є сталою. Умови  $\mu = \text{const}$  і  $v = \text{const}$  надають обмеження застосування рівняння (1) на час  $t < 60$  хв.

Для визначення просторового розподілу хімічних речовин у випадку стаціонарних умов, тобто при постійно діючому джерелі викиду,  $\varphi = \varphi(\bar{r})$  не залежить від часу  $t$ . Тоді, якщо за граничні умови взяти  $\varphi = \varphi(\bar{r}) \rightarrow 0$ , коли  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow \infty$  і  $\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0$ , коли  $z = 0$ , то фундаментальний розв'язок рівняння (1) для точкового джерела, коли  $F(\bar{r}, t) = Q\delta(\bar{\rho})\delta(z-h)$ , де  $Q$  – витрати речовини з джерела (кг/хв),  $h$  – висота (м) знаходження джерела,  $\delta(x)$  – дельта-функція, можна подати у вигляді:

$$\Phi(\bar{r}) = \frac{Q}{8\pi\sqrt{\mu}} \exp\left(\frac{\bar{\rho}\bar{V}_\perp}{2\mu}\right) (\tilde{\varphi}_1(\bar{r}) + \tilde{\varphi}_2(\bar{r})); \quad (2)$$

$$\tilde{\varphi}_{1,2} = \psi_{1,2}^{-1} \exp\left[-\frac{V_z(z \mp h)}{2v} - \frac{\alpha}{2\mu v} \psi_{1,2}\right];$$

$$\alpha = \sqrt{vV_\perp^2 + \mu V_z^2 + 4\mu v \sigma};$$

$$\psi_{1,2} = \sqrt{v\rho^2 + \mu(z \mp h)^2}.$$

В (2) величини  $\bar{V} = (\bar{V}_\perp, V_z)$ ,  $\bar{\rho} = (x, y)$ .

Нами припускалося, що величина  $V_z$  для джерела викиду з  $h < 10$  м не залежить від  $z$ , що відповідає малим швидкостям  $V_z$ , малим  $h$  і відповідно малим числам Рейнольда. Значення  $V_z$  залежить від густини парів хімічної речовини і стану атмосфери.

Для джерел, що мають скінчені розміри, які можна описати деякою функцією  $W(\bar{\rho})$ , можна застосувати фундаментальний розв'язок (2) і дістати розв'язок стаціонарного рівняння у вигляді:

$$\varphi(\bar{r}) = \int_S \Phi(\bar{\rho} - \bar{\rho}', z) W(\bar{\rho}') d^2\rho'. \quad (3)$$

Запропонована аналітична модель (2), (3) дозволяє проводити розрахунки розповсюдження концентрації небезпечної хімічної речовини для вторинної хмари, яка утворюється при виливі хімічної речовини.

Використання запропонованої моделі дозволяє знаходити зони з граничнодопустимими концентраціями (ГДК) хімічної речовини для робочої зони та населення, а також зон з верхнім й нижнім концентраційними межами займання (ВКМЗ, НКМЗ).

Нестационарний процес турбулентної дифузії можна описати рівнянням (1). Фундаментальний розв'язок цього рівняння при зазначених вище граничних умовах і коли  $F(\bar{r}, t) = Q_\sigma \delta(\bar{\rho}) \delta(z-h) \delta(t)$  можна шляхом застосування інтегрального перетворення Фур'є і інтегрування у комплексній площині подати у вигляді:

$$\Phi(\bar{r}, t) = \frac{Q_G}{(2\pi)^3} \frac{\pi}{\mu} \sqrt{\frac{\pi}{v}} \frac{1}{t^{3/2}} \exp\left[-\sigma t - \frac{(\bar{\rho} - \bar{V}t)^2}{4\mu t}\right] \times$$

$$\times [H_1(z, t) + H_2(z, t)]; \quad (4)$$

$$H_{1,2}(z, t) = \exp\left[-\frac{(z \pm h - V_z t)^2}{4vt}\right].$$

Вираз (4) визначає просторово-часовий розподіл концентрації для точкового миттєвого джерела. Його можна застосовувати для визначення концентрації у первинній хмарі. Якщо джерело є не миттєвим, коли при випаровуванні розливу утворюється хмара протягом певного часу  $\tau$ , то розв'язок рівняння (1) з правою частиною у вигляді  $F(\bar{r}, t) = Q_\sigma \delta(\bar{\rho}) \delta(z-h) \Theta(t-\tau)$ , де  $\Theta(x)$  – функція Хевісайда, можна знайти за допомогою фундаментального розв'язку як:

$$\varphi(\bar{r}, t) = t \int_0^1 \Phi(\bar{r}, t(1-u)) du, \quad t < \tau; \quad (5)$$

$$\varphi(\bar{r}, t) = \tau \int_0^1 \Phi(\bar{r}, t - \tau u) du, \quad t > \tau. \quad (6)$$

Вираз (5) відповідає ситуації діючого джерела, описує нестале розповсюдження вторинної хмари протягом часу  $t < \tau$ . Формулу (6) можна й треба застосовувати для визначення концентрації хмари, коли вона утворюється протягом часу від 0 до  $\tau$ , після чого джерело закінчує своє існування. Для довільної функції розподілу джерела  $F(\bar{r}, t)$  розв'язок рівняння (1) набуває вигляду:

$$\varphi(\bar{r}, t) = \int \Phi(\bar{r} - \bar{r}', t - t') F(\bar{r}', t') d^3r' dt'. \quad (7)$$

При розповсюдженні як первинної, так і вторинної хмари важливо знати його місто знаходження в довільний час  $t$ .

Вираз (4) дозволяє знайти координати центру тяжіння первинної хмари і відповідні дисперсії в аналітичному вигляді.

Зокрема, маємо в силу симетрії  $\bar{y}(t) = 0$ :

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{2} V_1 t \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[ \Phi\left(\frac{h+V_2 t}{\sqrt{4vt}}\right) - \Phi\left(\frac{h-V_2 t}{\sqrt{4vt}}\right) \right] \right\} \times$$

$$\times \exp(-\sigma t); \quad (8)$$

$$\bar{z}(t) = \left\{ V_2 t + 2\sqrt{\frac{vt}{\pi}} \text{ch} \frac{hV_2}{2v} \exp\left(-\frac{h^2 + V_2^2 t^2}{4vt}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2} \left[ (h+V_2 t) \Phi\left(\frac{h+V_2 t}{2\sqrt{vt}}\right) + (h-V_2 t) \Phi\left(\frac{h-V_2 t}{2\sqrt{vt}}\right) \right] \right\} \exp(-\sigma t), \quad (9)$$

де  $\Phi(x)$  – інтеграл ймовірностей.

Наведена залежність  $\bar{x}(t)$  цілком відповідає ситуації, яка була розглянута Бизовою Н.Л. шляхом достатньо складних розрахунків. На відміну від результатів Бизової Н.Л. залежність  $\bar{z}(t)$  суттєво залежить від стану атмосфери (від параметру  $V_z$ ). Аналогічно можна розрахувати вирази для дисперсій  $\sigma_x^2(t)$ ,  $\sigma_y^2(t)$ ,  $\sigma_z^2(t)$  і  $\sigma_{zh}^2(t)$ .

Формули (8), (9) дозволяють, зокрема, визначити надлишковий тиск  $\bar{P}$ , який виникає у випадку вибуху хмари:

$$\bar{P} = \frac{P - P_0}{P_0} = 0,285 \frac{\exp(0,52(\ln \bar{R})^2)}{\bar{R}^{0,9}}, \quad (10)$$

де  $\bar{R} = \sqrt{\bar{x}(t)^2 + \bar{y}(t)^2} / R_0$ ;  $R_0 = \left( \frac{m Q}{P_0} \right)^{1/3}$ ;  $m$  – маса

хмари;  $Q$  – питома теплота вибуху. Так само, знаючи  $\bar{x}(t)$ ,  $\bar{y}(t)$  і  $\bar{z}(t)$  можна обчислити густину теплового потоку при загорянні хмари згідно з виразом:

$$q = q_0 \frac{(\bar{z}(t) + 0,5D_e) \sqrt{D_e}}{4[(\bar{z}(t) + 0,5D_e)^2 + r^2]^{1,5}}, \quad (11)$$

де  $q_0$  – середньоповерхова густина випромінювання (кВт/м<sup>2</sup>);  $D_e$  – ефективний радіус вогневої кулі;  $r^2 = (x - \bar{x}(t))^2 + y^2 + (z - \bar{z}(t))^2$ .

Прості оцінки, які проведено нами, показують, що коли маса метанолу в первинній хмарі складає 200 – 300 кг, то за 10 хвилин після викиду, значення надлишкового тиску на відстані 600м від центру хмари буде 3 – 4 атмосфери.

Таким чином, нами показано, що окрім токсичної дії газової хмари, також суттєвими факторами небезпеки є надлишковий тиск, який виникає при вибуху хмари, і тепловий потік у випадку створення вогневої кулі при загорянні хмари.

#### ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕКТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

О.В. Захаренко, Н.И. Адаменко, О.А. Клименко

*В статье предложены простые и эффективные модели, которые приспособлены для оперативных расчетов зон химического заражения, зон с нижним и верхним концентрационными границами воспламенения. Модели можно использовать при составлении планов по ликвидации аварийных ситуаций. Рассмотрено достижение граничнодопустимых концентраций химически опасных веществ в воздухе при постоянно действующем источнике загрязнения и одиночных выбросах.*

**Ключевые слова:** безопасность жизнедеятельности, объекты химической промышленности, чрезвычайная ситуация.

#### INCREASE OF SAFETY OF VITAL FUNCTIONS OF OBJECTS OF CHEMICAL INDUSTRY BY DESIGN OF MEASURES ON LOCALIZATION OF EXTRAORDINARY SITUATIONS

O.V. Zakharenko, N.I. Adamenko, J.A. Klimenko

*Simple and effective models which are adjusted for the operative calculations of areas of chemical infection are offered in the article, areas with **нужным** and overhead the scopes of concentrations of self-ignition. A model can use for drafting of plans on liquidation of situations of emergencies. Achieving boundary-permissible concentrations chemically of hazardous substances is considered in mid air at the constantly operating source of contamination and be single troop landings.*

**Keywords:** safety of vital functions, objects of chemical industry, extraordinary situation.

## Висновки

1. На основі рівняння турбулентної дифузії запропоновані моделі у вигляді простих аналітичних виразів, які пристосовані к визначенню концентрації небезпечних хімічних речовин в атмосфері як для стаціонарного випадку опису вторинної хмари, так і нестаціонарного.

2. Запропонована модель дозволяє визначити значення концентрації на різних відстанях від джерела викиду та різних висотах. Досліджено властивості запропонованих моделей в залежності від різних параметрів.

3. Практичне використання результатів, отриманих за допомогою запропонованих моделей, із врахуванням всіх можливих факторів ураження, виникаючих при викиді (виліві) небезпечних хімічних речовин, дає можливість значно підвищити безпеку життєдіяльності об'єктів збереження хімічних речовин шляхом своєчасної локалізації надзвичайної ситуації у початковій стадії.

## Список літератури

1. *Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій: в 2 т./ О.М. Євдікін, В.В. Могильниченко, М.А. Скидан, Е.О. Рібакова. – К.: КІМ, 2007. – Т. 1: Техногенна та природна безпека. – 2007. – 636 с.*

2. *Анализ результатов эксперимента по определении концентрации хлорпикрина в воздухе / Г.Б. Гишко О.В. Захаренко, А.П. Созник и др. // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. праць УЦЗ України. – Х., 2006. – Вип. 5. – С. 60-65.*

3. *Шляхов Н.А. Оценка характерных опасных расстояний при ликвидации аварий на химических предприятиях / Н.А. Шляхов, А.П. Созник, О.В. Захаренко // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Х.: Фолио, 2008. – Вип. 8. – С. 17-28.*

Надійшла до редколегії 19.05.2009

**Рецензент:** д-р техн наук, проф. І.О. Кириченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.