

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 504.05

М.І. Адаменко

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

## ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ДІЇ АВТОМАТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ХІМІЧНИХ ВИКИДІВ

У статті розглядається новий підхід до локалізації екологічних наслідків хімічних викидів у повітря. Запропоновано створення нових автоматичних установок локалізації екологічних наслідків хімічних викидів у повітря з головним параметром проектування – подавання маси рідини-нейтралізатора, що падає на одиницю поверхні опрацювання в одиницю часу, яка множиться на швидкість руху рідини. Доводиться головна відмінність автоматичних установок, які пропонуються від існуючих на сьогоднішній день та доцільність використання запропонованих установок на хімічно потенційно небезпечних об'єктах з можливістю різних хімічно небезпечних викидів. На основі математичного апарату гідродинаміки розглядається розширення стиснутої в резервуарі речовини, яка реагує з хімічно небезпечним реагентом викиду. Наводяться основи розрахунку принципової дії подібних автоматичних установок та можливості їхнього практичного застосування.

**Ключові слова:** локалізація екологічних наслідків, автоматична установка, хімічна безпека.

### Вступ

**Актуальність.** Третина з промислових підприємств, які розташовані на території України, відносяться до потенційно небезпечних об'єктів, на яких виробляються, зберігаються та транспортуються небезпечні хімічні речовини. 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 людей.

**Постановка проблеми.** Таким чином, постає наукова проблема щодо збереження екологічної рівноваги у атмосфері, розробки заходів по ліквідації та локалізації аварій, пов'язаних з викидом небезпечних хімічних речовин.

**Попередні дослідження та вивчення літератури.** Проблемам забруднення атмосфери від хімічних джерел викиду, розповсюдження домішок в приземному шарі атмосфери та можливості локалізації їх дії вчені приділяли увагу протягом багатьох років. Велика увага до цього питання приділяється і на сучасному етапі розвитку науки [1 – 5].

Отже, постає наукова задача по розрахунку та визначенню основних принципів дії нових локалізаційних установок з метою захисту населення при ліквідації наслідків аварій з викидом хімічних речовин.

### Основний матеріал

На відміну від існуючих пожежних локалізаційних установок для об'єктів з підвищеною хімічною безпекою в якості параметрів ефективності

установки приймається відношення об'єму розпорошеної рідини в одиницю часу до об'єму області розпорошення, яке ділиться на радіус краплі:

$$\left. \begin{aligned} V_p &= n_k \frac{4}{3} \pi a^3, \\ V_{об} &= \frac{4}{3} \pi R^3, \\ \frac{1}{a} \frac{V_p}{t} &= \frac{n_k}{t} \frac{a^2}{R^3}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $V_p$  – об'єм розпорошеної рідини;  $V_{об}$  – об'єм області розпорошення;  $a$  – радіус краплі;  $n_k$  – число крапель;  $t$  – час впливу;  $R$  – радіус хмари розпорошення.

Іншими словами, забезпечується число крапель, розпорошених в одиницю часу, яке множиться на відношення квадрата радіусу краплі до кубу радіусу області розпорошення:

$$\frac{n_k}{t} \frac{a^2}{R^3} = \frac{1}{3} \frac{n_k}{t} \frac{4\pi a^2}{R^3} = \frac{1}{3} \frac{S_k}{t V_{об}}, \quad (2)$$

де  $S_k$  – поверхня, яка створена розпорошеними краплями.

Для простоти дану вимогу можна охарактеризувати відношенням третини поверхні, яка створена розпорошеними краплями в одиницю часу, до об'єму розпорошення;

– для об'єктів з підвищеною вибухопожежною безпекою в якості параметру ефективності зменшення екологічної безпеки приймається тиск нейтралізуючої речовини при її витіканні, який створюється системою, віднесений до площі опрацювання ( $\text{Н/м}^2$ ):

$$\frac{F}{S} = \frac{M}{tS} v, \quad (3)$$

де  $F$  – сила тиску нейтралізуючої речовини;  $S$  – площа поверхні опрацювання;  $M$  – маса нейтралізуючої речовини;  $t$  – інтервал часу;  $v$  – швидкість витікання нейтралізуючої речовини.

Для простоти головним параметром проектування установки, яка пропонується, можна вважати подавання маси рідини, що падає на одиницю поверхні опрацювання в одиницю часу, яка множить на швидкість руху рідини.

Забезпечення швидкості спрацювання всього комплексу превентивної локалізації екологічних наслідків аварій на потенційно небезпечних об'єктах, структура якого наведена у попередніх публікаціях [6 – 8], дозволяє значно знизити екологічну небезпеку внаслідок аварій на хімічних потенційно небезпечних об'єктах та довести її до прийнятного рівня.

Основи розрахунку дії автоматичної установки превентивної локалізації екологічних наслідків хімічних аварій на потенційно небезпечних об'єктах наведемо нижче.

Розглянемо розширення стиснутої в резервуарі речовини-нейтралізатора. Нехай у початковий момент часу газ у резервуарі займає обсяг  $V_{г,п}$ , а рідина – обсяг  $V_{р,п}$ . При цьому засувка, що регулює зв'язок речовини в резервуарі з атмосферою, була закрита і речовина в резервуарі (газ і рідина) була стиснута до тиску  $P_{п}$ . Будемо вважати, що тиск у резервуарі досить великий, так що можна не враховувати залежність тиску в рідині від відстані до її поверхні. У воді занурення на 1 метр (м) призводить до зміни тиску на величину порядку 0,1 атмосфери (ат), що, як правило, істотно менше тиску в резервуарі.

Знайдемо, яким буде обсяг газу  $V_{г,к}$  і рідини  $V_{р,к}$  після того, як засувка буде відкритою і кінцевий тиск у газі і рідині буде дорівнювати  $P_{к}$ .

Відповідно до закону збереження маси маємо

$$V_{п} \rho_{п} = V_{к} \rho_{к}, \quad (4)$$

де  $V_{п}$  і  $V_{к}$  – відповідно початковий і кінцевий обсяг газу (рідини), а  $\rho_{п}$  і  $\rho_{к}$  – відповідно початкова і кінцева щільність газу (рідини). Рівняння (4) можна переписати у вигляді

$$V_{к} = V_{п} (1 + \Delta p / \rho_{к}), \quad (5)$$

$$\text{де} \quad \Delta p = \rho_{п} - \rho_{к}. \quad (6)$$

З огляду на те, що швидкість звуку в газі (рідині)  $c$  визначається рівністю

$$\frac{\partial p}{\partial \rho} = c^2, \quad (7)$$

одержимо зв'язок між зміною щільності  $\Delta \rho$  і зміною тиску  $\Delta P$ . Рівняння (7) дає

$$\Delta \rho = \int_{P_{п}}^{P_{к}} \frac{dP}{c^2(P)}. \quad (8)$$

Зі співвідношення (8) випливає

$$\Delta p = \frac{1}{c^2} \Delta P, \quad (9)$$

де  $\overline{c^2}$  – середнє значення квадрату швидкості звуку, а зміна тиску

$$\Delta P = P_{п} - P_{к}. \quad (10)$$

Підстановка (9) у (5) дає

$$V_{к} = V_{п} \left( 1 + \frac{\Delta P}{\overline{c^2} \rho_{к}} \right). \quad (11)$$

Для води при атмосферному тиску щільність рідини  $\rho_{р} = 1 \text{ г/см}^3$ , а  $c_{р} = 1,45 \cdot 10^5 \text{ см/сек}$ . При  $\Delta P = 10 \text{ ат} = 10^7 \text{ бар}$ , із зазначеними чисельними значеннями, відносна зміна обсягу води при розширенні дорівнює

$$\frac{\Delta P}{\overline{c_{р}^2} \rho_{р}} = 5 \cdot 10^{-4}. \quad (12)$$

Величина (12) настільки мала, що нею можна знехтувати. Так, при розширенні 1000 літрів ( $V_{р,п} = 1 \text{ м}^3$ ) стиснутої до 11 ат. води при відсутності газу в резервуарі ( $V_{г,п} = 0$ ) в атмосферу, де тиск  $P_{а} = 1 \text{ ат}$ , витісниться з резервуару тільки 0,5л води.

Для повітря при атмосферному тиску щільність газу  $\rho_{г} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ , а  $c_{г} = 3,3 \cdot 10^4 \text{ см/сек}$ . При  $\Delta P = 10 \text{ ат}$ , із зазначеними значеннями, відносна зміна обсягу при розширенні повітря дорівнює

$$\frac{\Delta P}{\overline{c_{г}^2} \rho_{г}} = 7,2. \quad (13)$$

У підсумку кінцевий обсяг повітря при атмосферних умовах буде в 8,2 рази більше обсягу стиснутого до 11 ат повітря. Мале відношення відносних змін обсягів при розширенні рідини і газу

$$\frac{\Delta \rho_{р} / \rho_{р}}{\Delta \rho_{г} / \rho_{г}} = \frac{c_{г}^2 \rho_{г}}{c_{р}^2 \rho_{р}} \quad (14)$$

дозволяє не враховувати стискання рідини і вважати, що при відкритій засувці рідина з резервуару буде витіснитися тільки за рахунок розширення газу.

Знайдемо, який відносний обсяг повинний займати газ при тиску  $P_{п}$ , щоб витиснути всю рідину з резервуару та мати кінцевий тиск  $P_{к}$ . Вихідним при цьому є рівняння Клапейрона, відповідно до якого

$$\frac{P_{п} V_{г,п}}{T_{г,п}} = \frac{P_{к} V_{г,к}}{T_{г,к}}, \quad (15)$$

де  $T_{г,п}$  і  $T_{г,к}$  – відповідно початкова та кінцева температура газу.

Використані гази при адиабатичному розширенні (без теплообміну з навколишнім середовищем) охолоджуються. Оскільки  $V_{г,п} < V_{г,к}$ , то при адиабатичному розширенні  $T_{г,п} > T_{г,к}$ . При витисненні рідини з резервуару газом, що розширюється, відбувається теплообмін газу з рідиною і зі стінками ре-

зервуару. Ця обставина дозволяє вважати процес близьким до ізотермічного, при якому  $T_{г.п} = T_{г.к}$ . Відзначимо, що згідно (15), кінцеве значення тиску при адиабатичному процесі буде менше кінцевого значення тиску при ізотермічному процесі.

Вважаючи в (15)  $V_{г.к}$  рівним обсягу резервуару  $V_б$ , зі співвідношень (15) і

$$V_б = V_{г.п} + V_{р.п} \quad (16)$$

в ізотермічному режимі одержимо

$$\frac{V_{г.п}}{V_{р.п}} = \frac{P_к}{P_п - P_к} \quad (17)$$

Співвідношення (17) дає відносний об'єм, який повинен займати газ при тиску  $P_п$ , щоб витиснути всю рідину з резервуару та мати кінцевий тиск  $P_к$ .

Так, наприклад, при  $P_п = 10 \text{ ат}$  і  $P_к = P_а = 1 \text{ ат}$  з рівності (17) одержимо

$$V_{г.п} / V_{р.п} = 1/9. \quad (18)$$

Результати (11) та (14) цього розділу дозволяють зробити заключення щодо внеску стислості рідини у процес витікання рідини з резервуару. Зокрема, згідно (12), для води цим вкладом можливо знехатати.

## Висновки

В даному дослідженні на основі теорії гідродинаміки запропоновано створення нових автоматичних установок локалізації екологічних наслідків хімічних викидів.

При подальших дослідженнях необхідно провести індивідуальні розрахунки параметрів запропонованих установок для різних видів хімічних аварій.

## ОСНОВЫ РАСЧЕТА ДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЫБРОСОВ

Н.И. Адаменко

*В статье рассматривается новый подход к локализации экологических последствий химических выбросов в воздух. Предложено создание новых автоматических установок локализации экологических последствий химических выбросов в воздух с главным параметром проектирования - подача массы жидкости-нейтрализатора, которая падает на единицу поверхности проработки в единицу времени, множимую на скорость движения жидкости. Приводится главное отличие автоматических установок, которые предлагаются от существующих на сегодняшний день и аргументируется целесообразность использования предложенных установок на химических потенциально опасных объектах с возможностью разных химических выбросов. На основе математического аппарата гидродинамики рассматривается расширение сжатого в резервуаре вещества, которое нейтрализует химически опасный компонент выбросов. Приводятся основы расчета принципиального действия подобных автоматических установок и возможности их практического применения.*

**Ключевые слова:** локализация экологических последствий, автоматическая установка, химическая опасность.

## BASES OF CALCULATION OF ACTION OF PLUG AND PLAY OF LOCALIZATION OF CHEMICAL EXTRASS

M.I. Adamenko

*In the article we talk about a new approach to the localization of ecological consequences of chemical emissions into the air. We proposing to create a new automatic systems of localization ecological consequences of chemical releases into the air with the main design parameters - supply of fluid neutralization mass, which falls on the processing surface unit at the unit of time, multiplied by the velocity of the fluid. We give the main difference between offered automatic plants and existing plants. We argue the expedient using of the proposed systems on the potential objects of chemical hazards with the possibility of different chemical emissions. On the basis of the mathematical apparatus of the fluid dynamics we examine expansion of the compressed substance in the reservoir that neutralizes chemically dangerous component of the emissions. We provide a basis of calculating the operating principle of such automatic systems and their practical applications.*

**Keywords:** localization of ecological consequences, automatic systems/ automatic plants, chemical hazards.

## Список літератури

1. Липкан В.А. Національна безпека України: нормативно-правові аспекти забезпечення. – К., 2003. – 180 с.
2. Мартынюк В.Ф. Защита окружающей среды в чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие для вузов / В.Ф. Мартынюк, Б.Е. Прусенко. – М.: Нефть и газ, 2003. – 336 с.
3. Мастрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: учебник для вузов / Б.С. Мастрюков. – М.: Изд. Центр «Академия», 2003. – 338 с.
4. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / Под ред. Э.А. Арустамова. – М.: Даишов и Ко, 2004. – 496 с.
5. Биченок М.М. Основи інформатизації управління регіональною безпекою / М.М. Биченок. – К.: РНБО, Інститут проблем національної безпеки, 2005. – 194 с.
6. Адаменко Н.И. Вытекание жидкости из резервуара в режиме «Выстрел с подпором» / Н.И. Адаменко // Наук. вісн. будівництва. – Х.: Харк. держ. ун-т будів. та архіт., 2005. – Вип. 31. – С. 66-69.
7. Адаменко М.І. Розрахунок установки автоматического пожжегасіння складів боєприпасів у трьох режимах витікання рідини з резервуару під дією газу і сили тяжіння / М.І. Адаменко // Системи озброєння і військова техніка. – 2005. – №1(1). – С. 37-40.
8. Адаменко М.І. Зниження масштабів екологічного впливу аварій на потенційно небезпечних об'єктах шляхом їх своєчасного виявлення / М.І. Адаменко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. – К.: ДП «Цент. наук.-досл. ін-т навігації і управління», 2010. – Вип. 4 (16). – С. 240-243.

Надійшла до редколегії 10.06.2013

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