

*І.А. Чуб, д.т.н., професор, зав. кафедри, НУЦЗУ,  
В.В. Матухно, ад'юнкт, НУЦЗУ*

## **МЕТОД МІНІМІЗАЦІЇ РІВНЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО БЛОКУ ШЛЯХОМ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ**

Наведено математичну модель та метод розв'язання задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного підприємства за рахунок раціонального розміщення обладнання в умовах надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші

**Ключові слова:** мінімізація рівня вибухонебезпеки, вибух, хмара газоповітряної суміші, раціональне розміщення обладнання.

**Постановка проблеми.** Надзвичайні ситуації (НС) на об'єктах газонафтопереробної (ГНП) промисловості України характеризуються великими об'ємами викидів вибухонебезпечних речовин, утворенням хмар газо-повітряних сумішей (ГПС), вибухи яких приводять до загибелі людей та значних матеріальних збитків. Зростаюче в останні роки число техногенних НС на цих об'єктах свідчить про те, що існуюча структура нормативної бази в галузі техногенної безпеки не дозволяє достовірно оцінити їх небезпеку, сформулювати практичні рекомендації щодо визначення рівня та забезпечення вибухобезпеки об'єктів газонафтопереробки. При цьому слід зазначити відсутність затверджених методик управління рівнем вибухонебезпеки газонафтопереробних підприємств та їх технологічного обладнання при можливості виникнення хмари ГПС та її подальшим вибухом.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка методів зниження рівня вибухонебезпеки технологічного блоку об'єкту газонафтопереробної галузі в умовах НС з вибухами хмар ГПС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На теперішній час в Україні є відсутнім єдиний підхід до розв'язання задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки на об'єктах з можливим виникненням та вибухом хмар газоповітряних сумішей (ГПС). Діючий нормативний документ [1] дає методика визначення основних параметрів вибуху хмари ГПС, яка виникла при надзвичайній ситуації (НС) з викидом вибухонебезпечної речовини в результаті розгерметизації устаткування. Але дана методика не враховує склад вибухонебезпечної суміші, режим її вибуху та не визначає шляхів зменшення негативних наслідків вибуху. У закордонному дослідженні [2] пропонується методика підвищення рівня вибухобезпеки технологічного блоку газонафтопереробного заводу (ГНПЗ) при вибухах хмар ГПС шляхом оптимізації розміщення обладнання. Проте її застосу-

вання при аналізі реальних НС обмежене тим, що розглядається лише детонаційний режим вибуху (який реалізується лише у (2...3) % випадків) та відсутнє врахування дрейфу хмари ГПС під дією вітру в умовах забудови технологічної площадки блоку. Роботи [3–7] присвячені моделюванню оптимального розміщення об'єктів техногенної небезпеки, зокрема пожежонебезпечних, на території потенційно-небезпечного об'єкту з мінімізацією рівня впливу небезпечних чинників можливої НС з точки зору підвищення ефективності регіональної системи техногенної безпеки. У роботах [8, 9] аналізуються шляхи зниження вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП та пропонується загальна схема методу її мінімізації в умовах НС з вибухом хмари ГПС.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є побудова методу розв'язання задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку об'єкту газонафтопереробної промисловості в умовах НС з вибухом хмари ГПС з урахуванням адвективного переміщення хмари та її розсіювання під дією турбулентної дифузії.

Аналіз рівня вибухонебезпеки технологічного блоку в умовах НС з викидами хмар ГПС та розробка методу її зниження передбачає визначення критерію  $\Lambda$  кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки блоку. При цьому критерій  $\Lambda$  є інтегральним, побудова якого виконується на базі часткових критеріїв, що кількісно характеризують рівні вибухонебезпеки технологічного обладнання (апаратів) різних типів у складі блоку.

Нехай технологічний блок містить  $I$  одиниць технологічного обладнання (об'єкти  $S_i$ ,  $i=1, 2, \dots, I$ ). Для кількісної характеристики рівня його вибухонебезпеки в роботі [8] введений інтегральний критерій  $\Lambda$

$$\Lambda = \sum_{i=1}^I \lambda_i \Lambda_i, \quad (1)$$

де  $\Lambda_i$  – частковий критерій, що кількісно характеризує рівень вибухонебезпеки об'єкту  $S_i$ ;  $\lambda_i$  – вагова функція об'єкту  $S_i$ , що моделює ступінь впливу вибуху хмари ГПС, яка утворилася при НС на ньому, на сусідні об'єкти.

Для обчислення величини часткового критерію  $\Lambda_i$  пропонується використання наступної формули [8]

$$\Lambda_i = E_B^i \cdot Q_{НС}^{in} \cdot Q_B^{in} \cdot q_{iv}, \quad n \in \{1, 2, \dots, 5\}, \quad v \in \{1, 2\}, \quad (2)$$

де  $E_B^i$  – відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки об'єкту  $S_i$ ;  $Q_{НС}^{in}$  – ймовірність виникнення НС з викидом вибухонебезпечної речовини та виникненням хмари ГПС, на об'єкті  $S_i$   $n$ -го типу;  $Q_B^{in}$  – ймовір-

ність вибухового перетворення хмари ГПС, яка виникла при НС на об'єкті  $S_i$   $n$ -го типу,  $q_{iv}$  – ймовірність реалізації сценарію вибуху.

Множина функцій  $\lambda_i$  визначається за формулою [8]

$$\lambda_i = 1 + \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} k_{ij} \Lambda_j, \quad (3)$$

де  $J$  – кількість одиниць технологічного обладнання (об'єктів  $S_j$ ), які були повністю зруйновані або пошкоджені в результаті вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті  $S_i$ ;  $\alpha_{ij}$  – коефіцієнт, що враховує ступінь впливу ударної хвилі від вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті  $S_i$ , на об'єкт  $S_j$ ;  $k_{ij}$  – коефіцієнт, який залежить від ступеню пошкодження об'єкту  $S_j$  від вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті  $S_i$ :

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } L_{ij} \leq R_i^{\text{повн}}, \\ p_{ij}, & \text{якщо } R_i^0 \geq L_{ij} \geq R_i^{\text{повн}}, \\ 0, & \text{якщо } L_{ij} \geq R_i^0, \end{cases} \quad (4)$$

де  $L_{ij}$  – відстань між центром об'єкту  $S_j$  та епіцентром вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті  $S_i$ ;  $R_i^{\text{повн}}$  – радіус зони повних руйнувань від вибуху хмари ГПС;  $R_i^0$  – радіус безпечної зони від вибуху хмари ГПС;  $p_{ij}$  – ймовірність повного руйнування об'єкту  $S_j$  від вибуху хмари ГПС при НС на об'єкті  $S_i$ , яка визначається за допомогою пробіт-функції [10].

З урахуванням (3) оптимізаційна задача мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку має вигляд:

знайти

$$\min_W \Lambda = \min_W \left( \sum_{i=1}^I \Lambda_i \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} k_{ij} \Lambda_j \right) \quad (5)$$

де  $W$  – область допустимих розв'язків задачі, що містить систему геометричних  $W_G$  та технологічних  $W_T$  обмежень [11]:  $W = W_G \cup W_T$ .

Як було показано в [8], оптимізаційна задача (5) мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку може бути сформульована як задача оптимізації розміщення об'єктів  $S_i$  з урахуванням параметрів вибуху хмар ГПС та природно-кліматичних умов. Для її розв'язку пропонується чисельний метод, що враховує специфіку оптимізаційної задачі та дає змогу отримати її наближений розв'язок.

Загальна схема методу розв'язку оптимізаційної задачі (3) складається з наступних етапів.

**Етап 1.** Визначення початкового варіанта розміщення об'єктів  $S^0(x_1^0, y_1^0, \dots, x_N^0, y_N^0)$  у межах технологічного блоку.

**Етап 2.** Визначення для початкового варіанта розміщення параметрів НС з вибухом хмари ГПС для кожного з множини об'єктів розміщення та характеристик впливу вибуху хмари ГПС на  $i$ -му об'єкті на інші об'єкти блоку.

**Етап 3.** Розрахунок критерію  $\Lambda$ .

**Етап 4.** Визначення вектору параметрів розміщення об'єктів, що відповідає локальному мінімуму цільового критерію оптимізаційної задачі при заданій орієнтації блоку відносно сторін світу.

**Етап 5.** Перебір локальних мінімумів для множини заданих орієнтацій блоку відносно сторін світу з визначенням вектору розміщення об'єктів, який відповідає мінімуму цільового критерію  $\Lambda$ .

Область розміщення  $\Omega$  – це територія технологічного блоку без зон  $Q_n$  ( $n=1, 2, \dots, N$ ), у яких розташування об'єктів  $S_i$  не допускається. Розміщення множини об'єктів  $S_i$  в межах області  $\Omega$  задається вектором параметрів розміщення  $Z = (z_1, z_2, \dots, z_N) = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N)$ .

Початковий варіант розміщення об'єктів  $S_i$  ( $i=1, 2, \dots, I$ ) в межах технологічного блоку (Етап 1) може визначатися різними шляхами, виходячи з умов конкретного завдання.

При побудові генерального плану підприємства розміщення технологічного обладнання виконується відповідно до особливостей технологічного процесу, що може накладати на розташування обладнання і апаратів набір обмежень, що включають в себе вимоги до їх взаємного розміщення; до параметрів і характеристик зв'язуючих інженерних мереж (електропостачання, продуктопроводів і т.п.), до заданого розташування по відношенню до транспортних мереж, до заданого розташування по відношенню до населених пунктів, різного роду виробничим і невиробничим об'єктів, рекреаційних територій тощо.

В умовах розробки плану реконструкції підприємства або його окремого структурного підрозділу без істотної зміни технологічного процесу і модернізації виробництва з заміною технологічного обладнання, в якості початкового варіанту розміщення зазвичай використовується наявні варіанти компоновання технологічних апаратів і блоків.

Наступний крок (Етап 2) містить:

- визначення характеристик хмар ГПС, які виникають внаслідок НС на об'єктах  $S_i$  – маси вибухонебезпечної речовини, яка виходить з пошкодженого обладнання при НС та утворює хмару ГПС, щільність вибухонебезпечної речовини в хмарі ГПС в початковий момент часу та розміри хмари ГПС в початковий момент часу [12, 13];

- розрахунок характеристик динаміки хмар ГПС, що виникають при НС на об'єктах  $S_i$  – моделювання їх дрейфу, розрахунок концентраційного поля вибухонебезпечної речовини в хмарах ГПС та маси вибу-

хонебезпечної речовини, що приймає участь у вибуху, а також визначення координат епіцентрів вибухів хмар ГПС [12, 13];

- розрахунок характеристик вибуху хмар ГПС об'єктах  $S_i$  – визначення величин надлишкового тиску  $\Delta P_{ij}$  і імпульсу  $I_{ij}$  в повітряній ударній хвилі від вибуху хмар, визначення параметрів зон ураження від вибуху хмар, визначення оцінки ймовірності  $p_{ij}$  повного руйнування об'єктів  $S_j$  ( $j = 1, 2, \dots, I-1; j \neq i$ ) у результаті вибуху на об'єкті  $S_i$  [10].

На Етапі 3 по визначеним початковим даним обчислюються [8] величини часткових критеріїв  $\Lambda_i$ , коефіцієнтів  $\alpha_{ij}$  і  $k_{ij}$  та інтегрального критерію  $\Lambda$ , що характеризує рівень вибухонебезпеки технологічного блоку в цілому.

Визначення вектору розміщення об'єктів, що відповідає локальному мінімуму цільового критерію оптимізаційної задачі при заданій орієнтації блоку відносно сторін світу (Етап 4) базується на використанні схеми методу мінімізації за групами змінних [15] та складається з наступних кроків:

**Крок 1.** По деякому правилу визначається об'єкт  $S_k$ , що змінює своє положення і має на  $p$ -ой ітерації параметри розміщення  $z_k^p = (x_k^p, y_k^p)$ .

**Крок 2.** Виділяються обмеження, що формують в околиці полюса рухомого об'єкта  $S_k$  область  $W_k^p$  допустимих параметрів його розміщення на  $p$ -ой ітерації.

**Крок 3.** Визначається напрямок і крок зсуву об'єкта  $S_k$ . Параметри розміщення об'єкта  $S_k$  отримують приріст  $\Delta_k^p$ , що приводить до зменшення значення цільового критерію задачі (2.42), визначеного на  $(p-1)$  ітерації:  $\Lambda^p < \Lambda^{p-1}$ . Знаходяться нові параметри розміщення  $z_k^{p+1} = (x_k^{p+1}, y_k^{p+1})$  об'єкта  $S_k$ .

**Крок 4.** Проводиться перевірка виконання системи обмежень для нового положення об'єкта  $S_k$ . У разі її виконання здійснюється перехід до **Кроку 5**, в іншому випадку - до **Кроку 3**

**Крок 5.** Номер  $K$  збільшується на одиницю. При  $K \leq I$  здійснюється повернення до **Кроку 1**.

**Крок 6.** Для об'єктів  $S_m$  ( $m = 1, 2, \dots, M$ ) технологічного блоку, які мають прямокутну форму визначається кут  $\theta_m$  між вектором, що з'єднує ЕЦ для поточного становища об'єктів з центром  $(x_m, y_m)$  об'єкта  $S_m$ , і стіною об'єкта  $S_m$ . Якщо  $\theta_m \neq \pi/4$ , об'єкт  $S_m$  розвертається навколо точки центру таким чином, що кут  $\theta_m$  дорівнював  $\pi/4$ .

**Крок 7.** Якщо на  $p$ -ой ітерації хоча б один з об'єктів змінив своє положення, тобто  $Z^p \neq Z^{p-1}$ , то номер  $P$  збільшується на 1 і здійснюється перехід до **Кроку 1**. В іншому випадку рішенням вважають вектор  $Z^p$  параметром розміщення об'єкта  $S_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ), отриманий на  $(p-1)$  ітерації.

Конкретні алгоритми, що реалізують наведену загальну схему, можуть відрізнятися правилом визначення рухомого об'єкта  $S_k$  (**Крок 1**) і вибором напрямку і величини зсуву  $\Delta_k^p$  (**Крок 3**).

Локальний мінімум оптимізаційної задачі (5), який отриманий на Етапі 4, знаходиться виходячи з допущення, що вітер в області  $\Omega$  розміщення об'єктів  $S_i$  ( $i=1,2,\dots, I$ ) відповідає найбільш ймовірному у цій місцевості за напрямком та швидкістю. Зміна на Етапі 5 орієнтації блоку відносно сторін світу (тобто відносно напрямку найбільш ймовірного вітру) дозволяє отримати інші локальні мінімуми оптимізаційної задачі та організувати їх перебір з визначенням найкращого з них:

$$\Lambda^{\min} = \Lambda(Z^{\min}) = \min \{ \Lambda^{f-\min} \}, f = 1,2,\dots, F.$$

Кількість локальних мінімумів, що перебираються, може визначатися різними шляхами, наприклад, особою, яка приймає рішення, виходячи з умов конкретного завдання, виконання певних вимог тощо.

**Висновки.** Побудовано метод розв'язання задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПЗ в умовах надзвичайної ситуації з викидом вибухонебезпечної речовини, утворенням хмари газоповітряної суміші та її вибуховим перетворенням. Показано, що сформульована задача зводиться до задачі оптимізації розміщення технологічних апаратів блоку з урахуванням системи геометричних та технологічних обмежень. Метод, що пропонується, базується на схемі методу мінімізації по групах змінних, у якості яких виступають параметри розміщення технологічних апаратів блоку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будівель та зовнішніх установок за вибухопожежній та пожежній небезпеці. – Київ, 2007.
2. Ковалев Е.М. Оптимизация расположения оборудования опасных производственных объектов нефтеперерабатывающей промышленности / Е.М. Ковалев, Р.Р. Тляшева, Л.Г. Чиркова // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сб. науч. тр. – Уфа: УГНТУ, 2005. – С. 176-180.
3. Чуб И.А. Размещение объектов техногенной опасности с минимизацией уровня воздействия возможной чрезвычайной ситуации / И.А. Чуб, Е.В. Морщ, А.О. Труш // Проблемы пожарной безопасности. – 2004. – Вып. 16. – С. 248-251.
4. Чуб И.А. Моделирование размещения пожароопасных объектов с учетом опасных факторов возможного пожара / И.А. Чуб, Е.В. Морщ // Проблемы пожарной безопасности. – 2004. – Вып. 15. – С. 224-227.
5. Морщ Е.В. Оптимизация размещения пожароопасных объектов на территории промышленного предприятия / Е.В. Морщ // Проблемы пожарной безопасности. – 2005. – Вып. 17. – С. 125-129.
6. Попов В.М. Показатели эффективности региональной системы техногенной безопасности / В.М. Попов, И.А.Чуб, М.В. Новожилова // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2014. – № 2(20). – С. 32-41.

7. Попов В.М. Модель адаптивной системы техногенной безопасности региона / В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2013. – вип. 2. – С. 120-123.

8. Чуб І.А. Модель задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки об'єктів з вибухами хмар газоповітряних сумішей / І.А. Чуб, В.В. Матухно // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2016. – Вип. 24. – С.137-142. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol24/chub.pdf>.

9. Чуб І.А. Метод мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газопереробного підприємства / І.А. Чуб, В.В. Матухно // Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: 19 Всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників, 10-13 жовтня 2017, Київ: матеріали. – Київ: ІДУЦЗ. – С. 430-433.

10. Чуб І.А. Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші / І.А. Чуб, В.В. Матухно // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2016. – Вип. 23. – С.186-191. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Chub.pdf>.

11. Чуб И.А. Построение системы геометрических ограничений в задачах оптимизации размещения пожаровзрывоопасных объектов / И.А. Чуб // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – 2007. – Вип 16. – С. 125–132.

12. Методика оценки последствий химических аварий. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2005. – 57 с.

13. Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2012. – 46 с.

14. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. – 38 с.

15. Бейко И.В. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / И.В. Бейко, Б.Н. Бублик, П.Н. Зинько. – К.: Вища школа, 1983. – 512 с.

*Отримано редколлегією 16.10.2017*

И.А. Чуб, В.В. Матухно

**Метод минимизации уровня взрывоопасности технологического блока путем рационального размещения оборудования**

Приведена схема численного метода приближенного решения задачи минимизации уровня взрывоопасности объекта нефтеперерабатывающего предприятия, на котором возможно возникновение чрезвычайной ситуации со взрывом облака газозвушной смеси.

**Ключевые слова:** взрыв, облако газо-воздушной смеси, минимизация уровня взрывоопасности.

I.A. Chub, V.V. Matukhno

**The method of minimizing the level of explosion of a technological unit by rational arrangement of equipment**

The scheme of a numerical method for approximate solution of the problem of minimization of the explosive hazard level of an oil refinery facility, on which an emergency situation can arise with the explosion of a gas-air mixture cloud, is given.

**Keywords:** explosion, a cloud of gas-air mixture, minimal level of explosion.