

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

МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ МІНІМІЗАЦІЇ РІВНЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ З ВИБУХАМИ ХМАР ГАЗОПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ

Наведено математичну модель задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки газонафтопереробного підприємства, на якому можливо виникнення надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші.

Ключові слова: вибух, хмара газоповітряної суміші, мінімізація рівня вибухонебезпеки.

Постановка проблеми. Газонафтопереробні підприємства є одними з найбільш небезпечних виробничих об'єктів промисловості, на яких утворюються, використовуються, переробляються, зберігаються, транспортуються у великій кількості небезпечні речовини, і, як правило, вони розташовуються поблизу великих населених пунктів. Надзвичайні ситуації (НС) на цих об'єктах характеризуються великими об'ємами викидів вибухонебезпечних речовин, утворенням хмар газо-повітряних сумішей (ГПС), вибухи яких приводять до руйнування або пошкодження будівель, споруд, установок. Тому до цих об'єктів пред'являються вимоги, спрямовані на зниження негативного впливу небезпечних факторів НС, запобігання їх виникненню і мінімізацію збитку від них. При цьому домінуючу роль повинна займати превентивна спрямованість задач зниження рівня вибухонебезпеки.

Наявна нормативно-методична база в Україні містить далеко не всі необхідні практичні рекомендації щодо забезпечення безпеки газонафтопереробних підприємств. При цьому слід зазначити складність застосування наявних методик визначення рівня потенційної небезпеки для конкретного об'єкта, трудомісткість розрахунків тощо.

Таким чином, однією із проблем є вдосконалення наявної методики визначення рівня вибухонебезпеки промислових об'єктів та створення методу мінімізації рівня вибухонебезпеки газонафтопереробного підприємства, на якому можливо виникнення надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні на даний час відсутній єдиний підхід до прогнозування можливих наслідків вибуху хмар ГПС на об'єктах газонафтопереробки. Діючий нормативний документ [1] дає методику визначення основних параметрів вибуху хмари ГПС, яка виникла при НС з викидом вибухонебезпечної речовини в результаті розгерметизації устаткування. Але дана методика не враховує склад вибухонебезпечної суміші та режим її вибуху. Закордонні джерела

[2, 3] при визначенні наслідків вибуху рекомендують розглядати детонаційний режим. Але за статистичними даними до 90% вибухів хмар ГПС відбувається за дефлаграційним механізмом. Робота [4] присвячена розгляду питань надійності технологічного обладнання потенційно небезпечних об'єктів та причин виникнення НС. У роботі [5] пропонується методика підвищення вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного заводу (ГНПЗ) при вибухах хмар ГПС. Проте її застосування при аналізі реальних НС обмежене відсутністю врахування дрейфу хмари ГПС під дією вітру в умовах забудови технологічної площадки блоку.

Постановка завдання та його вирішення. Метою статті є побудова моделі задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку об'єкту газонафтопереробної промисловості, на якому можливі вибухи хмар газоповітряних сумішей, з урахуванням особливостей забудови території, режиму вибуху, характеристик вибухонебезпечних речовин.

Під *технологічним блоком* будемо розуміти групу апаратів (технологічного обладнання), які можуть бути відключені (ізолювані) від технологічної системи (виведені з технологічної схеми) без небезпечних змін режиму роботи суміжного технологічного обладнання.

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

Покладемо, що технологічний блок, що є об'єктом дослідження, містить I одиниць технологічного обладнання (апаратів).

Нехай Λ_i – частковий критерій, що кількісно характеризує рівень вибухонебезпеки i -го технологічного обладнання (апарату). Для його визначення пропонується застосування енергетичного показника вибухонебезпеки за наступною формулою

$$\Lambda_i = E^i \cdot Q_{\text{АВАР}}^i \cdot Q_{\text{ВИБ}}^i, \quad (1)$$

де E^i – відносний енергетичний потенціал [3] i -го технологічного обладнання (апарату); $Q_{\text{АВАР}}^i$ – ймовірність виникнення НС на i -му технологічному обладнанні (апараті), яка супроводжується викидом та виникненням хмари ГПС; $Q_{\text{ВИБ}}^i$ – ймовірність вибухового перетворення хмари ГПС, яка виникла при НС на i -му технологічному обладнанні (апараті).

Оцінка ймовірності виникнення НС на технологічному обладнанні (апараті) пов'язана з його надійністю та залишковим ресурсом. Вважаємо, що технологічний блок працює в штатному режимі, якщо усі його складові справні, а режим НС настає при виході з ладу хоча б одного

апарата, що супроводжується викидом вибухонебезпечної речовини.

У цьому випадку ймовірність виникнення НС визначається обробкою статистичних даних щодо розподілу аварій вказаного характеру для технологічних апаратів одного типу, які функціонують у приблизно однакових умовах [6].

Інтегральний критерій Λ , який характеризує вибухонебезпеку технологічного блоку в цілому, визначається як

$$\Lambda = \sum_{i=1}^I \lambda_i \Lambda_i, \quad (2)$$

де λ_i – вагова функція i -го технологічного обладнання (апарату).

Функції λ_i визначають вплив вибуху хмари ГПС, яка утворилася у результаті НС з викидом вибухонебезпечної речовини на i -му обладнанні, на сусідні технологічні апарати. Вигляд функцій λ_i визначається за наступною формулою

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

де J – кількість одиниць технологічного обладнання (апаратів), які було повністю зруйновано або пошкоджено в результаті вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на обладнанні i -го типу; k_{ij} – коефіцієнт, який залежить від ступеню пошкодження j -го технологічного обладнання (апарата) від вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на i -му обладнанні

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

де L_{ij} – відстань між центром j -го технологічного обладнання (апарата) та центром вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на i -му обладнанні; $R_I^{\text{повн}}$ – радіус зони повних руйнувань від вибуху хмари ГПС; R_I^0 – радіус безпечної зони від вибуху хмари ГПС; p_{ij} – ймовірність повного руйнування j -го технологічного обладнання (апарата) від вибуху хмари ГПС при НС на i -му обладнанні, яка визначається за допомогою пробіт-функції [7, 8]. Відмітимо, що узагальнено ймовірність p_{ij} є оберненою нелінійною функцією відстані L_{ij} .

У остаточному вигляді критерій Λ (2) запишеться як

$$\Lambda = \sum_{i=1}^I \Lambda_i + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J k_{ij} \Lambda_j. \quad (5)$$

Оптимізаційна задача мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку має вигляд
знайти

$$\min_W \Lambda = \min_W \left(\sum_{i=1}^I \Lambda_i + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J k_{ij} \Lambda_j \right), \quad (6)$$

де W – область допустимих рішень задачі.

Перший доданок функції мети у виразі (6) є постійною величиною

$$\sum_{i=1}^I \Lambda_i = \text{const},$$

тому оптимізаційна задача (6) зводиться до пошуку

$$\min_W \Lambda = \min_W \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J k_{ij} \Lambda_j. \quad (7)$$

Аналіз функції мети (7) свідчить, що в якості змінних параметрів, від яких залежить величина Λ , виступають коефіцієнти k_{ij} . Таким чином, мінімізація Λ передбачає зменшення величин k_{ij} . При цьому найбільшого зменшення потребують ті коефіцієнти, які відповідають технологічному обладнанню (апаратам) з максимальним значенням часткових критеріїв Λ_i .

Як свідчить аналіз виразу (4), зменшення величин k_{ij} можливо здійснити за рахунок збільшення відстані між центром вибуху хмари ГПС та сусідніми технологічними апаратами блоку (тобто за рахунок зниження ймовірностей p_{ij}). Таким чином, оптимізаційна задача (7) мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку є еквівалентною до задачі пошуку оптимального розміщення технологічного обладнання блоку.

Область W допустимих рішень задачі (7) формується системою геометричних обмежень [9], що містить умови взаємного неперетину зон, які зайняті технологічним обладнанням, умови неперетину зон, які зайняті технологічним обладнанням з зонами, де розміщення обладнання є неприпустимим, та обмеженнями (8)-(9) на максимально допустимі відстані між технологічним обладнанням блоку

$$(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \leq r_{ij}; \quad (8)$$

$$(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2 = r_{mn}, \quad (9)$$

де r_{ij} , r_{mn} – максимально допустимі відстані між технологічним обладнанням блоку; (x_k, y_k) – координати центру технологічного обладнання – довільної точки в межах зони, зайнятої технологічним обладнанням, яка є центром його власної системи координат.

Наявність в системі (8)-(9) обмежень-рівностей обумовлено неможливістю у деяких випадках зміни відстаней між технологічним обладнанням блоку.

Висновки. Побудовано математичну модель 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 з урахуванням обмежень на максимально допустимі відстані між складовими блоку.

ЛІТЕРАТУРА

1. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будівель та зовнішніх установок за вибухопожежній та пожежній небезпеці. – Київ, 2007.

2. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сб. документов. Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. – 208 с.

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

4. Попов В.М. Моделирование характеристик потока отказов основных производственных фондов объектов повышенной опасности / В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 21. – С. 64-70. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Popov.pdf>.

5. 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.

6. Шебеко Ю.Н. Оценка индивидуального и социального риска аварий с пожарами и взрывами для наружных технологических установок / Ю.Н. Шебеко, А.П. Шевчук, В.А. Колосов // Пожаровзрывобезопасность. – 1995. – № 1. – С. 21-29.

7. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 510 с.

8. 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. [Електрон-

ний ресурс]. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Chub.pdf>.

9. 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.

Отримано редколегією 27.09.2016

И.А. Чуб, В.В. Матухно

Модель задачи минимизации уровня взрывоопасности объектов со взрывами облаков газо-воздушных смесей

Приведена математическая модель задачи минимизации уровня взрывоопасности газонефтеперерабатывающего предприятия, на котором возможно возникновение чрезвычайной ситуации со взрывом облака газо-воздушной смеси.

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

I.A. Chub, V.V. Matukhno

Minimization problem design for explosivity level of objects with explosions of clouds of gas-air mixture

The mathematical formalization of the problem concerning the explosive level of refinery objects, which may cause an emergency situation with the explosion of a cloud of gas-air mixture has been proposed and analysed.

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