

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



С.М. Грінченко, к.т.н., доцент, докторант, НУЦЗУ,  
 Д.Л. Соколов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
 Р.М. Федоренко, заст. нач. НІРЧ, 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.С.)

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 небезпечних 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 третій 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

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

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

Для визначення величини  $R(x, y)$  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  $\Delta P_{op}$  в межах цього майданчика:

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



де  $\Delta P_{\max}$  – максимальний надлишковий тиск на фронті хвилі;  $r_{\text{вони}}$  – 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]:

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

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

$$\text{Pr}(\Gamma) = A + B \cdot \ln[t_0 \cdot (q(\Gamma) - J)^{0.3}], \quad (4)$$

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  $R(x, y)$  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  $(x, y)$ .

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

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

де  $N_{ij}^{P(x,y)}$  – математичне очікування числа людей, розташованих в межах  $ij$  – квадрата території з координатами  $(x, y)$  і об'єднаних у групи з однаковими умовами ураження і часом перебування в  $q$ -му будинку, на  $q$ -му об'єкті, у житловому масиві;  $N_{\tau}^Z$  – кількість людей зосереджених в будівлі  $q$ -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  $S_q^o$ ;  $P_{\tau}^Z(\Delta\tau)$ ,  $P_q^o(\Delta\tau)$  і  $P^c(\Delta\tau)$  – імовірності знаходження середньо статистичного індивідуума з розглянутих груп людей з однаковим часом перебування відповідно в  $q$ -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 прилеглий до об'єкта території, визначаємо середній показник ймовірності перебування середньостатистичного індивідуума  $P(N, x_i, y_j) = \frac{N_{ij}^{P(x_i, y_j)}}{N(x_i, y_j)}$  в межах розглянутого  $ij$ -квадрата території з координатами  $(x_i, y_j)$  і будемо матрицю  $\|P_{ij}^{N(x_i, y_j)}\|$ .

Враховуючи процедуру визначення  $N_{ij}^{P(x_i, y_j)}$  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 ймовірності 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.М. 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.