

УДК 621.863.2

## ОСНОВНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ КРИТЕРІЇВ РИЗИКУ ДО ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ АДС

Н.В. Внукова, проф., д.т.н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Система автомобіль–дорога–середовище (АДС) є складним техногенним об'єктом. У статті подано математичну модель визначення основних показників ризику аварій. Було встановлено, що запропонована модель дозволяє одержати кількісну оцінку екологічного збитку, завданого внаслідок аварії.

*Ключові слова:* екологічна безпека, автомобіль–дорога–середовище, ризики, навколишнє середовище.

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ РИСКОВ К ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДС

Н.В. Внукова, проф., д.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Система автомобиль–дорога–среда (АДС) является сложным техногенным объектом. В статье представлена математическая модель определения основных показателей риска аварий. Было установлено, что предложенная модель позволяет получить количественную оценку экологического ущерба, полученного в следствие аварии.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, автомобиль–дорога–среда, риски, окружающая среда.

## THE MAIN PRINCIPLES OF USING RISK CRITERIA FOR EVALUATION OF RAE SYSTEM SAFE FUNCTIONING

N. Vnukova, Prof., Ph. D. (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University

*Abstract.* The system automobile-road-environment (ARE) is a complex technological object. The article presents the mathematical model for identifying key risk indicators of accidents. It is established that the proposed model makes it possible to obtain a quantitative assessment of environmental damage as a result of accident occurrence.

*Key words:* ecological safety, automobile-road-environment, risks, environment.

### Вступ

Система автомобіль–дорога–середовище (АДС) є складним техногенним об'єктом. Її інфраструктура включає в себе транспортні магістралі, прилеглі території, підприємства, що обслуговують транспортні потоки, і власне транспортні засоби, серед яких істотний відсоток складають автоцистерни зі зрідженими газами, які є пожежовибухонебезпечними і токсичними речовинами. У випадку

аварійних ситуацій з такими транспортними засобами виникає серйозна загроза для людей, матеріальних засобів і прилеглих територій. Екологічну небезпеку становлять не тільки самі токсичні речовини, але і наслідки їх ліквідації. Тому при комплексній оцінці техногенного впливу системи АДС на людину і навколишнє середовище слід враховувати фактори ризику, що виникають у процесі експлуатації об'єктів, що входять до інфраструктури системи АДС.

### Аналіз публікацій

Основні завдання етапу ідентифікації небезпек – виявлення і чіткий опис усіх джерел небезпек і сценаріїв їх реалізації. Зазначимо, що при ідентифікації слід провести ранжування факторів небезпеки і визначити, які елементи системи, устаткування, технічні пристрої, технологічні блоки або процеси вимагають більш детального аналізу й які становлять менший інтерес з погляду безпеки. Також необхідно виконати аналіз статистичних даних, параметрів і властивостей токсичних і вибухонебезпечних речовин [1–7].

Основними завданнями оцінки ризику при експлуатації системи АДС є:

- визначення частот виникнення подій, що ініціюють аварії;
- оцінка наслідків небажаних подій;
- оцінка показників ризику (що резюмують етап аналізу).

Для визначення частоти небажаних подій доцільно використовувати:

- статистичні дані щодо аварійності й надійності елементів системи АДС;
- логічні методи аналізу «дерев подій», «дерев відмов», імітаційні моделі виникнення аварій;
- експертні оцінки.

Оцінка наслідків включає аналіз можливих впливів на людину, майно і навколишнє природне середовище. Для оцінки наслідків необхідно оцінити фізичні ефекти-наслідки небажаних подій (руйнування транспортних засобів, устаткування і технічних пристроїв, будівель і споруд, що входять до складу АДС), а також встановити об'єкти, на яких можуть виникати пожежі, вибухи, викиди токсичних речовин і т. ін. Аналіз наслідків аварій базується на математичному моделюванні аварійних процесів, які призводять до ураження, руйнування об'єктів, що досліджуються. Важливим етапом дослідження є встановлення зв'язку між кількістю аварій і частотою їх виникнення (крива Фармера).

Кількісна оцінка ризику аварій повинна відбивати стан безпеки досліджуваного об'єкта з урахуванням показників ризику від усіх небажаних подій, що можуть статися в рамках системи АДС, і складатися з таких оцінок:

- потенційного територіального ризику загибелі людини;

- індивідуального ризику загибелі людини;
- соціального ризику загибелі людей (крива Фармера);
- колективного ризику загибелі людей;
- залежності частоти негативних наслідків від їх тяжкості;
- очікуваного річного збитку з обліком екологічних наслідків;
- відповідності умов експлуатації вимогам безпеки і критеріям прийняттого ризику.

Потенційним територіальним ризиком загибелі людини заведено називати ймовірність або частоту реалізації вражаючих факторів у розглянутій точці території, якою оперують тоді, коли дані про можливість виникнення аварії й її розвитку з формуванням деякого вражаючого впливу отримані на основі статистичних даних. Вважають, що ймовірність реалізації вражаючих факторів в досліджуваній точці території чисельно дорівнює частоті реалізації вражаючих факторів в досліджуваній точці території.

Потенційний територіальний ризик (ПТР) характеризує просторовий розподіл небезпеки за об'єктом і прилеглою територією. ПТР не залежить від факту перебування людини в даному місці простору. Потенційний ризик виражає собою рівень максимально можливої небезпеки для конкретних об'єктів впливу (реципієнтів), що знаходяться в даній точці простору. Розподіли потенційного ризику в досліджуваній зоні дозволяють одержати кількісну оцінку колективного й індивідуального ризику загибелі людей як з числа персоналу, так і для третіх осіб, а також ризику забруднення навколишнього середовища.

Оскільки поняття ризику аварій тісно пов'язане з поняттям ризику загибелі людини внаслідок аварій і збитку навколишньому середовищу, то останнє дозволяє говорити про ризик як про ступінь можливості аварій, або, у термінах теорії ймовірності, як про математичне очікування визначеної величини показників загибелі людини і майнового й екологічного збитків.

Для дослідження можливості визначення рівня експлуатаційної безпеки на вибухопожежо- і токсонебезпечних об'єктах системи АДС запишемо вираження для визначення ризику аварій з урахуванням ймовірності аварії та збитків (важкість наслідків).

Розглядаючи всю сукупність можливих аварій в основних показниках – ймовірності аварії й важкості її наслідків, одержимо

$$R = \sum_{i=1}^m P_i \cdot \lambda_i \cdot G_i, \quad (1)$$

де  $P_i$  – ймовірність (або частота) виникнення  $i$ -ї аварії;  $\lambda_i$  – ймовірність (або частота) розвитку  $i$ -ї аварії до деякого наслідку, що характеризується формуванням вражаючого фактора, наприклад, ударний, токсичний або тепловий вплив;  $G_i$  – вага наслідків (збиток), заподіяних  $i$ -ю аварією матеріальним ресурсам і навколишньому середовищу.

Частотою при визначенні  $P_i$  оперують тоді, коли дані про можливість виникнення аварії й її розвитку з формуванням деякого вражаючого впливу отримані на підставі статистичних даних. У цьому випадку ймовірність реалізації негативних факторів у розглянутій точці території чисельно дорівнює частоті реалізації вражаючих факторів. Ризик заподіяння збитку є середнім зваженим за один рік значенням збитку. Використання цих даних дозволяє проводити науково обгрунтоване планування видаткової частини фінансових ресурсів на протиаварійні та природозахисні заходи.

У випадку географічно локалізованого небезпечного об'єкта (наприклад, газо- або бензозаправна станція, авторемонтна майстерня, підприємства сфери обслуговування) дослідник має у своєму розпорядженні деякий масив даних про можливі аварії як важкі, так і незначні, кожна з яких може бути охарактеризована ймовірністю й очікуваним збитком.

Ймовірність виникнення аварії, як правило, визначають методом графів «дерево відмов». Ймовірність розвитку аварії до досягнення деякого наслідку, що характеризується формуванням вражаючого фактора, заведено визначати методом побудови й аналізу «дерева подій». Ймовірність заподіяння збитку деякого рівня  $P_{por}$  (рівень враження визначається виходячи із задач аналізу. Наприклад, у разі проведення процедури оцінювання безпеки системи АДС обов'язковому оцінюванню підлягають такі рівні: смертельне враження людини, повне руйнування транспортних засобів, техногенний вплив на на-

воколишнє природне середовище) визначається функцією Гауса [8]

$$P_{por} = f(\text{Pr}) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\text{Pr}-5} \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) dt, \quad (2)$$

де  $\text{Pr}$  – пробіт-функція, обумовлена як  $\text{Pr} = a + b \cdot \ln(D)$ , де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти (константи) для кожної речовини або явища, що характеризують специфіку і міру небезпеки його впливу (наводяться в довідковій літературі);  $D$  – доза негативного впливу, визначається за відповідною методикою.

Коефіцієнти пробіт-функції слід брати з літературних джерел або, у випадку їх відсутності, за допомогою побудови рівняння регресії, використовуючи метод найменших квадратів.

Важкість наслідків від  $i$ -ї аварії  $G_i$ , \$, або кількість потерпілих  $N$ , як було показано вище, є математичним очікуванням збитку, тому й оцінка важкості наслідків повинна проводитися з використанням методів ймовірності.

Нехай  $J = \{1, \dots, j, \dots, n\}$  є множиною усіх можливих наслідків розвитку  $i$ -ї аварії з ймовірністю (або частотою)  $\lambda_{i,j}$ ; тоді  $G_i = \{G_{1,j}, \dots, G_{i,j}, \dots, G_{i,n}\}$  є множиною відповідних показників наслідків аварії. Тоді задача управління ризиком зводиться, в загальному випадку, до аналізу трьох основних характеристик:

- збитку при реалізації  $j$ -го наслідку аварії з максимально важкими наслідками від аварії  $\max(G_i)$ ;
- величини очікуваного збитку (матеріального й екологічного) для всіх можливих наслідків аварії;
- нормованих і ненормованих (майновий ризик) показників ризику аварій.

Очікувані наслідки від  $i$ -ї аварії визначаються можливим  $j$ -м її наслідком (аварійної ситуації). Наслідки розвитку однієї  $i$ -ї аварії є неспільними подіями, кожна з яких має свою

частоту  $\lambda_{i,j}$ , тому  $\sum_{j=1}^n \lambda_{i,j} = 1$  з визначення

повної групи подій. Важкість наслідків від  $i$ -ї

аварії  $G_i$ , \$, або кількість потерпілих  $N$  вважаємо як

$$G_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \cdot G_{i,j}. \quad (3)$$

Якщо доповнити (3) значенням імовірності виникнення аварії  $P_i$ , то одержимо вираження для визначення ризику заподіяння збитку від  $i$ -ї аварії, тобто математичне очікування збитку  $RG_i$

$$RG_i = P_i \cdot G_i,$$

або

$$RG_i = \sum_{j=1}^n P_i \cdot \lambda_{i,j} \cdot G_{i,j}. \quad (4)$$

Розглядаючи всю сукупність можливих аварій, одержимо основне рівняння ризику заподіяння збитку  $R$  внаслідок можливих аварій за 1 рік

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_i \cdot \lambda_{i,j} \cdot G_{i,j}. \quad (5)$$

Одиниці виміру ризику  $R$ : гривень/рік або кількість потерпілих/рік.

Існуюча практика проведення пробіт-аналізу в задачах оцінки безпеки на сьогодні обмежується застосуванням пропонованих закордонними дослідниками пробіт-функцій [11, 12].

У теорії ймовірностей і статистиці під функцією пробіта (далі – ФП) розуміють зворотну функцію розподілу, або функцію квантилів, пов'язану з нормованим нормальним розподілом

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2}. \quad (6)$$

Такий підхід є найбільш прийнятним для застосування при розв'язанні задач теорії кореляції з виконанням регресійного аналізу.

Ідея практичного застосування ФП була запропонована Честером Блізом у 1934 р. і розвинута в роботах Девіда Фінні починаючи з 1947 р. при розв'язанні задач типу «доза – ефект» для оцінки ефективності застосування пестицидів проти шкідників [10, 11].

Можливість використання нормального розподілу для оцінки ймовірності влучення в заданий інтервал впливає з центральної граничної теореми А.М. Ляпунова, у якій йдеться: «якщо випадкова величина  $X$  являє собою суму дуже великого числа взаємно незалежних випадкових величин, вплив кожної з яких на всю суму мізерно малий, то  $X$  має розподіл, близький до нормального» [11].

### Мета і постановка завдання

Основна мета роботи полягає у визначенні основних показників ризику аварій за допомогою математичної моделі. Нехай є географічно локалізований об'єкт із кількістю  $m$  небезпечного устаткування, тоді  $A = \{1, \dots, i, \dots, m\}$  являє собою множину усіх можливих аварій, джерелом кожної з яких є  $i$ -е устаткування з координатами на площині  $x, y$ ;

$M_i$  – маса небезпечної речовини в  $i$ -му устаткуванні;

$\lambda = \{1, \dots, j, \dots, n\}$  – сукупність можливих наслідків розвитку аварії при розгерметизації та сукупність, яка формує збиток  $G_{i,j}$ ;

$MA_{i,j}$  – маса небезпечної речовини, що бере участь у створенні  $j$ -го вражаючого фактора аварії для  $i$ -го устаткування.

Одержимо масив, що цілком характеризує розглянутий простір  $\Omega$  і небезпечний об'єкт, що знаходиться в ньому, і описує:

а) розташування  $i$ -го небезпечного устаткування на об'єкті (координати  $x, y$ );

б) масу  $M_i$  небезпечної речовини в устаткуванні;

в) масу  $MA_{i,j}$ , що бере участь у створенні вражаючого фактора;

г) ймовірність (або частоту)  $\lambda_{i,j}$  наслідку розвитку аварії;

д) ймовірність  $P_i$  виникнення аварії на  $i$ -му устаткуванні;

е) небезпечний фактор аварії  $F$ , тобто відповідна йому математична модель, що описує формування і поширення у просторі енергії або речовини, які справляють негативний вплив на людину, навколишнє середовище і матеріальні ресурси (надлишковий тиск та імпульс ударної хвилі вибуху, тепловий потік, токсична хвиля);

ж) ймовірність ушкоджень матеріальних об'єктів і навколишнього середовища  $PS_{i,j}$ ;

и) ймовірність смертельного (або будь-якого іншого виду) ураження людини  $PH_{i,j}(x, y)$ ;

- к) вартість матеріальних і природних об'єктів у зоні ураження  $NS(x, y)$ ;  
 л) вартість людського життя  $NH(x, y)$ .

Точка простору  $\Omega$  з координатами  $(x, y)$  буде характеризуватися вектором  $S(x, y)$  як

$$S(x, y) = [(x, y) \cdot M_i \cdot M_{i,j} \cdot \lambda_{ij} \cdot P_i \cdot F \cdot PS_{ij} \cdot PH_{ij}]. \quad (7)$$

Тоді об'єкт та місцевість, яка до нього прилягає, можна буде охарактеризувати всією сукупністю розглянутих точок і описати вектором  $S(x, y)$ . Звівши за координатним принципом вектор  $S(x, y)$  в масив  $OB = f(S)$  розмірністю  $m \times n$ : номер стовпця дорівнює абсцисі координат точки в декартовій системі координат (відстань по  $OX$ , м), а номер рядка – ординаті (відстань по  $OY$ , м), одержимо

$$OB = \begin{matrix} y_k \\ y_{..} \\ y_1 \\ y_0 \end{matrix} \begin{bmatrix} S_{0,k} & S_{1,k} & S_{..,k} & S_{l,k} \\ S_{0,..} & S_{1,..} & S_{..,..} & S_{l,..} \\ S_{0,1} & S_{1,1} & S_{..,1} & S_{l,1} \\ S_{0,0} & S_{1,0} & S_{..,0} & S_{l,0} \end{bmatrix} \\ = \begin{matrix} x_0 & x_1 & x_{..} & x_l \end{matrix} \quad (8)$$

Функція збитку  $G_{i,j}(x, y)$  є щонайменше функцією від  $PS_{i,j}$  і  $PH_{i,j}$

$$G_{ij}(x, y) = f[PS_{ij}(x, y) \cdot NS(x, y) \cdot PH_{ij}(x, y) \cdot NH(x, y)], \quad (9)$$

$$PS_{ij}(x, y) = f[MA_{ij}; F; r_{ij}(x, y)],$$

$$PH_{ij}(x, y) = f[MA_{ij}; F; r_{ij}(x, y)],$$

де  $r_{i,j}(x, y)$ , м – відстань від епіцентру аварії (визначаємо координати розташування устаткування) до досліджуваної точки площадки з координатами  $(x, y)$ .

Враховуючи, що  $G_{i,j}(x, y) = f[PH_{i,j}, NH]$  одержуємо формулу для визначення потенційного територіального ризику загибелі людини внаслідок всіх можливих аварій за 1 рік  $PR(x, y)$

$$PR(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_i \cdot \lambda_{i,j} \cdot PH_{i,j}(x, y). \quad (10)$$

Потенційний територіальний ризик загибелі людини є нормованим параметром, що відіграє принципову роль при аналізі потенційної небезпеки об'єкта. Розрахувавши значен-

ня потенційного ризику  $PR(x, y)$  для кожної точки небезпечної зони і території навколо неї, одержимо розподіл потенційного територіального ризику по площадці. Дана характеристика є по суті картою безпеки території.

При  $G_{i,j}(x, y) = f[PS_{i,j} \cdot NS]$  одержуємо формулу для визначення потенційного територіального ризику забруднення навколишнього середовища і руйнувань промислових споруд або цивільних будинків внаслідок всіх можливих видів аварій за 1 рік  $PR(x, y)$

$$PR(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_i \cdot \lambda_{i,j} \cdot PS_{i,j}(x, y). \quad (11)$$

Для визначення індивідуального ризику загибелі людини  $IR(x, y)$  внаслідок усіх можливих аварій за 1 рік використаємо таку формулу:

$$IR(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_i \cdot \lambda_{i,j} \cdot PH_{i,j}(x, y) \cdot PN(x, y). \quad (12)$$

Також індивідуальний ризик  $IR$  розраховується, відповідно до визначення, як відношення очікуваного числа загиблих внаслідок всіх можливих аварій за 1 рік  $NF$  до кількості людей, що піддаються ризику  $N$

$$IR = NF / N.$$

По своїй суті вираз  $IR = NF / N$  являє собою інтегральну оцінку індивідуального ризику, що може бути корисною при проведенні узагальненої оцінки безпеки об'єкта.

Очікувану кількість загиблих  $NF$  внаслідок усіх можливих аварій за 1 рік одержимо за формулою

$$NF = \sum_x \sum_y \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_i \cdot \lambda_{i,j} \cdot PH_{i,j}(x, y) \cdot PN(x, y) \cdot N(x, y), \quad (13)$$

або

$$NF = \sum_x \sum_y IR(x, y) \cdot N(x, y). \quad (14)$$

#### Визначення основних показників ризику аварій

Відстань від епіцентру аварії до точки перебування реципієнта або відстань будинку/

устаткування  $r(i, j, k)$  у випадку  $k$ -ї аварії визначаємо як

$$r(i, j, k) = \sqrt{(x_k - i)^2 + (y_k - j)^2}, \quad (15)$$

де  $i$  – номер стовпця масиву (фізичним аналогом буде абсциса відносної сітки декартових координат);  $j$  – номер рядка масиву (фізичним аналогом буде ордината відносної сітки декартових координат);  $k$  – кількість усіх можливих негативних наслідків, тобто тих, що вимагають розгляду,  $k = 1 \dots K$ ,  $x_k$  і  $y_k$  – абсциса й ордината  $k$ -го епіцентру аварії.

Події, обумовлені як ураження людини небезпечними факторами аварії (вибух, пожежа, токсикова), є спільними, імовірність суми яких визначається як

$$P_x + P_y - P_{xy}$$

Розподіл потенційного територіального ризику загибелі людини внаслідок усіх можливих аварій на промисловому об'єкті за 1 рік позначимо як  $PR(i, j)$ .

Індивідуальний ризик загибелі людини внаслідок усіх можливих аварій на промисловому об'єкті за 1 рік для локальної групи або категорії персоналу  $IR(i, j)$ , рік<sup>-1</sup> задамо у вигляді

$$IR(i, j) = R(i, j) \cdot PN(i, j), \quad (16)$$

де  $PN(i, j)$  – ймовірність перебування людини в точці з координатами  $(i, j)$ .

Відмітимо, що хоча  $PN(i, j)$  і має вигляд функції, розподіленої по розглянутій площадці, за своєю суттю  $PN(i, j)$  є дискретною, тобто має своє значення тільки для тих точок простору, де розташовані люди.

Колективний ризик (очікувану кількість загиблих за 1 рік)  $NF$ , чол./рік, визначимо як

$$NF = \sum_i \sum_j (IR_0(i, j) \cdot N_0(i, j) + \sum_p IR_p(i, j) \cdot N_p(i, j)). \quad (17)$$

Оскільки у загальному випадку координати точок розташування людей відмінні від координат точок розташування устаткування, з

метою оптимізації методики розрахунків, яка дозволяє істотно (на порядки) знизити час розрахунків, при розрахунках кількості загиблих, показників соціального і колективного ризиків доцільно перейти до використання інших змінних, замінивши координати  $(i, j)$  на  $(k, h)$ . Відстань від  $k$ -го епіцентру до  $h$ -го місця розміщення людини може бути визначена за формулою

$$r(k, h) = \sqrt{(x_k - x_h)^2 + (y_k - y_h)^2}. \quad (18)$$

Визначення екологічного ризику (ризик заподіяння збитку навколишньому середовищу) виконується аналогічно до визначення соціального ризику.

При кількісній оцінці небезпеки виникнення каскадного ефекту розвитку аварії (тобто у випадку, коли аварія на одному об'єкті ініціює аварії на прилеглих об'єктах) відстань від  $k$ -го епіцентру до  $ob$ -го устаткування визначається співвідношенням

$$r(k, ob) = \sqrt{(x_k - x_{ob})^2 + (y_k - y_{ob})^2}. \quad (19)$$

Математична модель визначення потенційного територіального ризику формується з урахуванням каскадних сценаріїв розвитку аварій у вигляді

$$KAS(i, j, k) = 1 - \prod_{ob} (1 - (P_{pob} \cdot r_b(i, j, k) \cdot \lambda_{ob, l})) \quad (20)$$

при  $ob \in 1 \dots ob \max$ ,  $\Delta p(k, ob) \geq 20$  кПа,

де  $\Delta p(k, ob)$ , кПа – надлишковий тиск на фронті ударної хвилі вибуху;  $P_{pob, l}(i, j, k)$  – ймовірність смертельного ураження людини  $l$ -м вражаючим фактором при розгерметизації  $ob$ -го устаткування унаслідок впливу  $k$ -го вражаючого фактора;  $\lambda_{ob, j}$  – ймовірність (частота) розвитку аварії на  $ob$ -му устаткуванні до наслідку з реалізацією  $l$ -го вражаючого фактора (визначається на підставі статистичних даних або даних експертного аналізу).

У ПЕОМ вводяться моделі визначення індивідуального соціального, колективного, майнового й екологічного ризиків.

Згідно з численними даними про сценарії розвитку аварій на об'єктах зі зрідженими газами саме ударна хвиля вибуху, тепловий вплив опроміненням і прямим полум'ям призводить до каскадного ефекту, що багатократно збільшує масштаби і негативні наслідки техногенних катастроф.

У цілому можна сказати, що виконання кількісної оцінки ризику аварій на ПЕОМ для транспортних установок і заправних станцій, з урахуванням декількох варіантів, становить 2–4 години, що можна вважати досить прийнятним показником.

Однак виконання розрахунків показників ризику для системи АДС, небезпечного ще й можливими аварійними викидами сильнодіючої отруйної речовин (СДОР), займає істотно більший час. Наприклад, при розрахунку показників ризику для 40 наслідків (викидів СДОР) розрахунок ПЕОМ може виконуватися до 24 годин безперервного часу. Ця обставина пов'язана з необхідністю проведення розрахунку як самого розподілу концентрацій токсичного газу в хмарі, так і врахування параметрів дрейфу хмари за весь період її існування з подальшим осадженням її на прилеглий території [16–18].

### Висновки

Результати розрахунків за запропонованою математичною моделлю дозволяють одержати кількісну оцінку екологічного збитку внаслідок аварії і розробити превентивні заходи, спрямовані на зниження негативних наслідків, шляхом правильного взаєморозміщення небезпечних об'єктів, підготовки технічних засобів локалізації й усунення аварійної ситуації, а також спеціальної підготовки персоналу до дій в умовах техногенних катастроф, що супроводжуються значними негативними наслідками для навколишнього середовища.

Особливого значення вирішення вказаних проблем набуває з огляду на стратегічну мету перетворення України на важливу транзитну ланку Євро-азійського напрямку.

Запропоновані критерії екологічної безпеки при будівництві, ремонті та утриманні автодоріг та оцінювання техногенних і екологічних ризиків при автоперевезенні токсичних і вибухонебезпечних речовин стали основою

методологічного обґрунтування нормування екологічної безпеки системи АДС.

### Література

1. Бордовский А.М. Аналитический обзор. Предупреждение аварий на объектах магистрального транспорта (зарубежный опыт) / А.М. Бордовский. – К.: Основа, 2000. – 228 с.
2. Бордовский А.М. Тенденции в развитии комплексных требований к резервуарам для хранения нефти (зарубежный опыт) / А.М. Бордовский. – К.: Основа, 2000. – 208 с.
3. Бурдаков Н.И. Аварии со сжиженными газами – анализ статистики / Н.И. Бурдаков, А.Н. Черноплеков // Проблемы в чрезвычайных ситуациях. – 1990. – №2. – С. 15–19.
4. Доманський В.А. Державне управління пожежною безпекою України (організаційно-правовий аналіз за матеріалами діяльності Державного департаменту пожежної безпеки): дис...канд. юрид. наук: 12.00.07 / В.А. Доманський. – Х.: НАВСУ, 2004. – 200 с.
5. Перхуткин В.П. Справочник инженера по охране окружающей среды: учеб. пособие / В.П. Перхуткин, З.И. Перхуткина, Т.А. Овчарук и др. – М.: Инфра-Инженерия, 2005. – 864 с.
6. Лебедев В.С. Справочник инженера пожарной охраны: учеб. пособие / В.С. Лебедев, Д.Б. Самойлов, А.Н. Песикин. – М.: Инфра-Инженерия, 2005. – 768 с.
7. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять: ДСТУ 2272:2006. – На заміну ДСТУ 2272-93; чинний з 09.06.2006. – К.: Держстандарт України, 2007.
8. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере // П.Г. Белов. – М.: Академия, 2003. – 512 с.
9. Bliss C.I. The method of probits / C.I. Bliss // Science. – 1934. – Vol. 79. – P. 38–39.
10. Finney D.J. Probit Analysis / D.J. Finney // Cambridge University Press. – 1947. – P. 50–68.
11. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие // В.Е. Гмурман. – 12-е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2006. – 480 с.

12. Внукова Н.В. Методологія екологічної безпеки комплексу АДС (автомобіль–дорога–середовище): монографія / Н.В. Внукова. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 196 с.
  13. Внукова Н.В. Энерго-экологические аспекты утилизации метановоздушных смесей / Н.В. Внукова, В.В. Соловей, С.А. Коверсун // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2006. – Вып. 34–35. – С. 172–174.
  14. Гриценко А.В. Ризики техногенно-екологічного характеру при експлуатації об'єктів автотранспортної інфраструктури / А.В. Гриценко, В.В. Соловей, Н.В. Внукова // Екологія та промисловість. – 2011. – №3(28). – С. 73–80.
  15. Гриценко А.В. Математичні методи конструювання комплексної оцінки рівня розвитку об'єкта в еколого-географічних дослідженнях / А.В. Гриценко, Н.В. Внукова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – №6/4. – С. 4–8.
  16. Внукова Н.В. Методика ексергетичного аналізу технологічних процесів забезпечення автоперевезень при використанні різних видів палива / Н.В. Внукова // Вісник НТУ «ХП»: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2011. – № 54. – С. 60–67.
  17. Grytsenko A. Scientific Bases Of Environmental Security Complex «Automobile-Road-Environment» / A. Grytsenko, N. Vnukiva, M. Barun // Sustainable Development. – 2014. – Vol. 17. – P. 10–14.
  18. Внукова Н.В. Науково-методологічні основи екологічної безпеки комплексу автомобіль–дорога–середовище: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня д.т.н.: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Внукова Наталія Володимирівна. – Х., 2015. – 36 с.
- Рецензент: І.С. Наглюк, професор, д.т.н., ХНАДУ.
- Стаття надійшла до редакції 25 листопада 2015 р.
-