

## МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЗОН УРАЖЕННЯ ТА НАСЛІДКІВ ВІД АВАРІЙ ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВІДХОДІВ

**Р. В. Петрук**

Вінницький національний технічний університет,

вул. Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця, Україна. E-mail: prroma07@gmail.com

У роботі запропонована методологія оцінювання зон ураження від аварій під час транспортування небезпечних відходів, алгоритм побудови карт ураження з врахуванням розподілу населення, яке може опинитися в зоні аварії. Крім того, розроблені моделі оцінювання як індивідуального, так і соціальних ризиків, а також ризики можливих сценаріїв та надзвичайних ситуацій. Запропоновано параметри, що впливають на ефективність оцінки зони ураження, що включають ефекти витікання небезпечних речовин у середовище. Враховано розподіл населення для різних ділянок автодоріг з врахуванням часових факторів. Проведено попередню вхідна оцінка даних, що використовуються для розрахунку ризиків при транспортуванні. Запропоновано механізм побудова карт ураження з врахуванням. Запропоновано підходи до транспортування небезпечних речовин автострадою, зокрема, враховано обчислення окремого ризику та створення алгоритму обертання і карти одиничного ризику. Запропоновано алгоритм оцінювання окремого (індивідуального) ризику, а також оцінка ризику для всіх ділянок і апаратів ТЗ, алгоритм обчислення соціального ризику. Наведено математичну модель розрахунку можливих сценаріїв і частота надзвичайних ситуацій. В математичних моделях розрахунку ризиків враховано моделі, що включають напрям вітру в частоті сценарію, моделювання руху джерела ризику, соціальні процедури визначення ризику.

**Ключові слова:** екологічна безпека, ризики, зони ураження, карти ураження, індивідуальний та соціальний ризики

## МЕТОДОЛОГІЯ ОЦЕНКИ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТ АВАРИЙ ВО ВРЕМЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ

**Р. В. Петрук**

Винницкий национальный технический университет,

ул. Хмельницкое шоссе, 95, 21021, г. Винница, Украина. E-mail: prroma07@gmail.com

В работе предложена методология оценки зон поражения от аварий при транспортировке опасных отходов, алгоритм построения карт поражения с учетом распределения населения, которое может оказаться в зоне аварии. Кроме того, разработаны модели оценки как индивидуального, так и социальных рисков, а также риски возможных сценариев и чрезвычайных ситуаций. Предложено параметры, влияющие на эффективность оценки зоны поражения, включающие эффекты утечки опасных веществ в среду. Учтены распределение населения для различных участков автодорог с учетом временных факторов. Проведена предварительная входная оценка данных, используемых для расчета рисков при транспортировке. Предложен механизм построения карт поражения с учетом. Предложены подходы к транспортировке опасных веществ автострадой, в частности, учтено вычисления отдельного риска и создания алгоритма вращения и карты единичного риска. Предложен алгоритм оценки отдельного (индивидуального) риска, а также оценка риска для всех участков и аппаратов ТС, алгоритм вычисления социального риска. Приведена математическая модель расчета возможных сценариев и частота чрезвычайных ситуаций. В математических моделях расчета рисков учтены модели, включающие направление ветра в частоте сценария, моделирование движения источника риска, социальные процедуры определения риска.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, риски, зоны поражения, карты поражения, индивидуальный и социальный риски

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** В Україні за минулі роки, особливо під час радянського періоду господарювання, накопичено значні обсяги небезпечних, некондиційних, невикористаних, змішаних та невідомих агрохімікатів, зокрема пестицидних препаратів, як органічних, так і неорганічних засобів захисту рослин, інших небезпечних відходів. Крім того, в сучасних умовах функціонування потужних агрохолдингів, фермерських господарств та ін. ввозиться зовні і виробляється всередині держави величезні обсяги цих небезпечних для людини та довкілля речовин. Отже, тривалий час постає гостра проблема утилізації, знешкодження, переробки цих відходів на місці, або їх транспортування до місця такої складної технологічної переробки як на вітчизняних потужностях, так і на можливих відпо-

відних зарубіжних заводах. Останнє передбачає значні організаційні, науково-технологічні, природоохоронні та управлінські заходи, зокрема, прогнозування та оцінювання ризиків від можливих аварій під час транспортування небезпечних відходів (ТНВ) по магістралях через урбоєкосистеми та густо заселені території. При цьому необхідно ретельно оцінити сценарії аварій, а також зон ураження і відповідних можливих негативних наслідків для людей та довкілля, зокрема, з допомогою теорії ймовірності та кількісних показників. Далі, за результатами цього моделювання необхідно вміти управляти цими ризиками та вживати відповідних управлінських рішень. При цьому транспортування небезпечних вантажів територією України здійснюється регулярно різними видами транспор-

## Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

ту: автомобільним, залізницею, водним та ін. В результаті, виникає досить велика імовірність транспортних аварій, які можуть призвести до вкрай негативних, іноді катастрофічних наслідків, в першу чергу, для людей, інших живих екосистем та довкілля в цілому. Запобігти цьому можна, оцінюючи можливі сценарії зон ураження та відповідні масштаби наслідків з врахуванням всіх параметрів та впливів. Методологія такого прогнозного моделювання існує, але вона потребує значного удосконалення та подальшого розвитку. Відтак, зазначена проблематика залишається надто актуальною і до теперішнього часу [1-20].

*Метою даної роботи є удосконалення існуючих методів оцінювання зон ураження та наслідків від аварій під час транспортування небезпечних відходів.*

## МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

*Параметри, що впливають на ефективність оцінки зони ураження.* Щоб оцінити можливі зони ураження від аварій під час транспортування небезпечних відходів (ТНВ), необхідно, у першу чергу, розглянути ефекти витікання (випуску) небезпечних речовин (НР) у навколишнє середовище, а також встановити відповідні фізичні параметри: температуру й вологість повітря, типологію ландшафту тощо; метеорологічні умови, що характеризують зону ураження; розу вітрів  $p_{wind}(l, k, \theta)$ , на основі якої можна спрогнозувати силу та напрям вітру в зоні ураження для кожної метеорологічної умови  $k$  і сезонної ситуації  $j$ . Кут  $\theta$  використовується, щоб відзначити розу вітрів. Всі параметри, що впливають на оцінку ефектів, можуть динамічно змінюватись від однієї до іншої зони ураження, особливо на великих площах.

*Розподіл населення.* Розподіл населення в зоні ураження – важлива складова для того, щоб обчислити соціальний ризик. При цьому запропонована процедура достатньо точно описує людей, що живуть у зоні ураження, і, крім того, бере до уваги, що люди можуть бути в закритому приміщенні при виникненні витікання, що спричиняє нещасний(і) випадок(и). Цей алгоритм описує також зони, де людей можна вважати однорідно розподіленими, і центрів скупчення, де люди групуються. При цьому зони з однорідною щільністю населення можуть мати прямокутну форму, наприклад, житлові квартали, де живе позамаршрутне населення, у той час, як лінійні зони представляють дорожню мережу.

Загальна кількість прямокутників і основного прямокутника відзначено, відповідно,  $N_A$  і  $n$ ; загальна кількість ліній і основної лінії маршруту  $N_L$  і  $m$ . Для кожної зони необхідно знати географічну позицію, а також щільність населення ( $\rho_A$ , осіб/м<sup>2</sup> для вибраних прямокутників;  $\rho_{L_m}$ , осіб/м для сегментів), і, для кожної зони, фракції людей, що є всередині ( $x_{A_n}$  для прямокутників і  $x_{L_m}$  для сегментів).

Особливо важливі центри для аналізу ступеня ризику, такі як: школи, лікарні, торгові центри то-

що, описані як пункти в зоні впливу, де людей можна розглянути у вигляді групи. Властивості центрів скупчення: географічна позиція, кількість осіб і ймовірність того, що вони перебувають у зоні впливу. Основний центр скупчення відзначений  $O$ ; загальна кількість таких центрів –  $N_C$ ; частка осіб, які є в приміщенні –  $x_{C_o}$  і загальна кількість осіб у кожному центрі –  $P_{C_o}$ .

Розподіл населення може змінитися різко за певний час: наприклад, кількість населення на дорозі може бути більшим вдень, ніж уночі; протягом ночі школи й торгові центри порожні; школи, крім того, порожні влітку; у місцях, де купаються, є висока щільність населення тільки влітку тощо.

Щоб описати такі зміни, соціальний код ризику може залежати від різних " карт населення " протягом кожного сезону: це означає, що певні змінні,  $\rho_A, \rho_{L_m}, P_{C_o}, x_{A_n}, x_{L_m}, x_{C_o}$  – функція сезонної ситуації  $j$ .

Крім того, для автострад – доріг високої скупченості з мінімумом двох маршрутів у кожному напрямку, ми розглядаємо кожний зв'язок, як пари зв'язків. Також вважаємо кожну проїзну частину цих двох напрямів зі своєю специфікою (тобто рух, будмайданчики, геометричні особливості і т.д.). У результаті, беремо до уваги таке:  $v$  – загальна типологія транспортного засобу (ТЗ) на кожній ділянці  $l$ ;  $N_{vef}(l)$  – різні засоби, що пересуваються на кожному зв'язку  $l$ ;  $p_{rel}(l, v)$  – імовірність витікання для кожної типології ТЗ, тобто імовірність для кожного джерела ризику подорожі при наявності випуску (витікання), як тільки відбувся інцидент;  $f_{rel}(l, v, j)$  – частота наявності витікання від зазначеного засобу на відповідному зв'язку в зазначений сезон;  $N_{out}(v)$  – особливості кожного апарату (транспортного засобу)  $i$ ;  $P_{out}(i)$  – імовірність наявності кінцевого результату, як тільки випуск відбувся.

*Попередня вхідна оцінка даних.* Процедури по оцінці індивідуальних і соціальних ризиків вимагають вхідних даних, описаних вище. Дані, звичайно, повинні виходити із зовсім інших джерел, наприклад: "карти населення" можуть легко бути побудовані, як тільки дані про перепис відомі; метеорологічні параметри можуть бути отримані з даних, зібраних у метеорологічних станціях; частоти нещасного випадку й імовірності кінцевих результатів від банків даних або відкритих джерел літератури тощо. При цьому вичерпний список даних про зв'язок і визначення характеристик різних засобів (апаратів) може бути знайдений в [1].

*Побудова карт ураження.* Вхідні дані базуються, перш за все, на картах ураження, побудова яких описана в цьому підрозділі. Уразливість – імовірність страждання певної частини населення, що може бути або невеликим, або навіть смертельним, після того, як стався випуск (витікання) небезпечної речовини.

**Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля**

При цьому кожний нещасний випадок, що розглядався раніше, може спричинити  $N_{out}(v)$  кінцевих результатів, які можуть мати місце для усіх  $N_{met}(j)$  метеорологічних умов, можливих для зони ураження. Це означає, що кожна типологія ТЗ провадить різні кінцеві результати в залежності від різних метеоумов" і може призвести до розподілу різних ефектів. Ці ефекти можуть бути, залежно від кінцевого результату, віднесені до отруйних газових концентрацій, теплових випромінювань і надлишкових тисків вибуху тощо [1]. Щоб виконати ці оцінки ефектів, кожен типологію апарата потрібно розглянути як джерело ризику пункту в загальній точці  $Q(t)$ , де  $t$  – пряма абсциса маршруту уздовж ділянки зони ураження.

Розглядаємо Декартові координати  $\xi/\eta$  в точці  $O_{\xi/\eta}$  для  $Q(t)$  і  $\xi$ , як підвітряний напрям, і довільного апарату ТЗ, факторів і умов, щоб оціни-

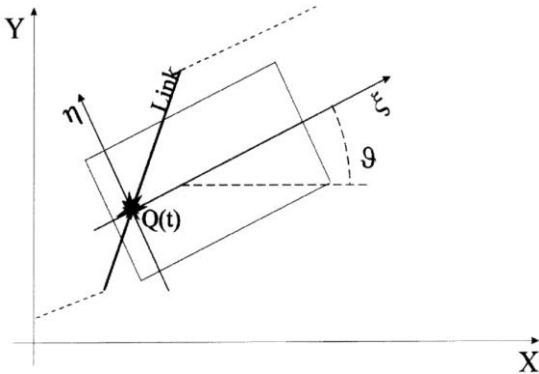


Рисунок 1 – Графічне зображення карти ураження

*ТНВ автострадою: обчислення окремого ризику та створення алгоритму обертання і карти одиничного ризику.* Перший крок процедури повинен оцінити ризик, створений на зоні впливу певної типології ТЗ  $v$ , що пересувається на ділянці  $l$ .

Представимо зону впливу вектором або растровими картами, використовуючи програмне забезпечення ГІС. При цьому на Декартовій площині  $X/Y$  (перекрити із зоною впливу) досліджувана ділянка  $l$ , джерело ризику загальної точки  $Q(t)$  на площині  $\xi/\eta$ , де  $\xi$  є підвітряним напрямом і кут  $\theta$  між  $X$  і  $\xi$ . Проміжна змінна "одиничний ризик" оцінена для всіх пунктів області навколо  $Q(t)$ . Крім того, введена третя Декартова структура  $\xi'/\eta'$ ,  $O_{\xi'/\eta'}$  в  $Q(t)$ , і паралельні осі створюють  $X'/Y'$ . У пунктах  $\xi'/\eta'$  наносять координатну сітку на алгоритм, названий "алгоритм обертання", і будують "карту одиничного ризику".

Для отримання напрямку вітру "карта ураження" повинна обертатися навколо її точки і уразливості  $V_{Q(t) \rightarrow S}(i, k, \vartheta)$ , а пункт, що збігається з  $S$  у кожному пункті обертання  $\theta$ , повинен бути співвід-

ти ефекти в її пунктах. У такий спосіб отримується для кожного результату метеоумов розподіл уразливості навколо  $Q(t)$  і позначається на картах ураження. Рівняння «пробиту» дають точно нульові значення уразливості тільки на нескінченній відстані від точкового джерела ризику, де немає ніякої ймовірності шкоди на кінцевій відстані від місця розташування нещасного випадку, а уразливість оцінюється менше, ніж зафіксоване граничне значення, яке можна розглянути, як незначне. На рис. 1 проілюстрована карта ураження. Для кожної події на ній не враховується розподіл населення, але залежить тільки від визначення характеристики апарата і фізичних параметрів зони ураження. Як наслідок, загальна кількість карт ураження для кожної типології апарата дано значеннями  $N_{out}(v)$  і  $N_{met}(j)$ .

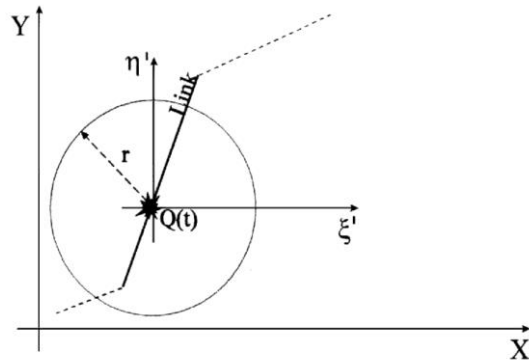


Рисунок 2 – Зображення карти одиничного ризику

несений з ймовірністю попутного вітру. У такий спосіб інтегрування події повинно бути виконане так:

$$\int_0^{2\pi} p_{wind}(j, k, \vartheta) \cdot V_{Q(t) \rightarrow S}(i, k, \vartheta) d\vartheta \quad (1)$$

Координати  $S$  в структурі  $\xi'/\eta'$  повинні бути перетворені в координати  $(\xi_s, \eta_s)$  карти ураження  $\xi/\eta$  для кожного обертання  $\theta$ . Відтак, уразливість у пункті  $(\xi_s, \eta_s) \in V_{Q(t) \rightarrow S}(i, k, \vartheta)$ , а координати  $S$  в  $\xi/\eta$  структурі залежать від  $\theta$ . У здійсненій числовій процедурі інтеграція (1) виконана із зафіксованим кроком правила Сімпсона, що приймає до уваги 360 можливих секторів вітру, кожен амплітуду тощо. Виконання обчислення для всіх метеорологічних умов і напрямків вітру становлять в середньому ймовірність нещасного випадку, отриману для єдиного кінцевого результату і для кожної сезонної ситуації. Тоді одиничний ризик  $UR_{Q(t) \rightarrow S}(j, v)$  у зв'язку з точковим джерелом ризику  $Q(t)$  у загальній точці  $S$  визначається за (2):

$$UR_{Q(t) \rightarrow S}(j, v) = \sum_{i=1}^{N_{out}(v)} p_{out}(t) \cdot \sum_{k=1}^{N_{met}} \int_0^{2\pi} p_{wind}(j, k, \vartheta) V_{Q(t) \rightarrow S}(i, k, \vartheta) d\vartheta \quad (2)$$

**Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля**

Внаслідок кінцевих вимірювань карти ураження, значення ризику відмінні від нуля. Вони знаходяться в центрі кола в  $Q(t)$  з радіусом  $r$ . Подання карти одиничного ризику наведено на рис. 2.

Як тільки карта одиничного ризику буде побудована, тоді можна оцінити значення одиничного ризику в загальній точці  $P(X_p, Y_p)$  пункту  $Q(X_Q, Y_Q)$  на зоні транспортної події.

Алгоритм оцінювання окремого (індивідуального) ризику. Дотепер апарат ТЗ, як передбачалося, знаходився в  $Q(t)$ , як зафіксований плавучий склад, від якого відбувся випуск (витікання) небезпечної речовини. У такий спосіб послідовний крок повинен описати рух апарата уздовж зв'язку  $l$ , тому що нещасний випадок може відбутися в кожному пункті зв'язку. Це може бути зроблено, переводячи карту ризику уздовж зв'язку, з лінійною інтеграцією уздовж маршруту  $Q(t)$  в  $P$  пункті області  $X/Y$ , що оцінює інтеграл, показаний в (3):

$$\int_{L_l} UR_{Q(t) \rightarrow P}(j, v) dt, \quad (3)$$

де  $L_l$  – маршрут зв'язку  $l$ . Величину інтеграла, оціненого в (4), представляє ймовірність  $P$ . Відстань  $d$  пункту  $P$  в радіусі  $r$  карти ризику процедура може ідентифікувати сегмент  $ab$  ділянки, що відповідає ризику в пункті  $P$ , як показано на рис. 2, і потім виконує лінійну інтеграцію (3), приймаючи до уваги  $ab$  сегмента, не зменшуючи при цьому точність. Розглядаючи частоту випуску небезпечної речовини на дослідженій ділянці й підбиваючи підсумок всіх можливих сценаріїв, окремий ризик  $P$ , створений ділянкою  $l$ , буде мати вигляд:

$$IR_p(l, v) = \sum_{j=1}^{N_{seas}} f_{rel}(l, v, j) \int_{L_l} UR_{Q(t) \rightarrow P}(j, v) dt \quad (4)$$

Оцінка ризику для всіх ділянок і апаратів ТЗ. Сума  $IR_p(l, v)$  відноситься до всіх ділянок, апаратів і зв'язків та дає повний окремий ризик, створений цілою транспортною мережею у пункті  $P$  зони ураження (5):

$$IR_p = \sum_{l=1}^{N_{links}} \sum_{v=1}^{N_{veh}(l)} \sum_{j=1}^{seas} f_{rel}(l, v, j) \int_{L_l} \sum_{i=1}^{N_{out}(v)} P_{out}(i) \sum_{k=1}^{N_{mat}} \int_0^{2\pi} P_{wind}(j, k, \theta) V_{Q(t) \rightarrow S}(i, k, j) d\theta. \quad (5)$$

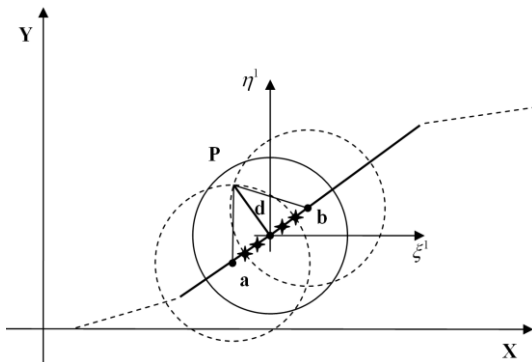


Рисунок 3 – Інтеграція карти ризику уздовж маршруту

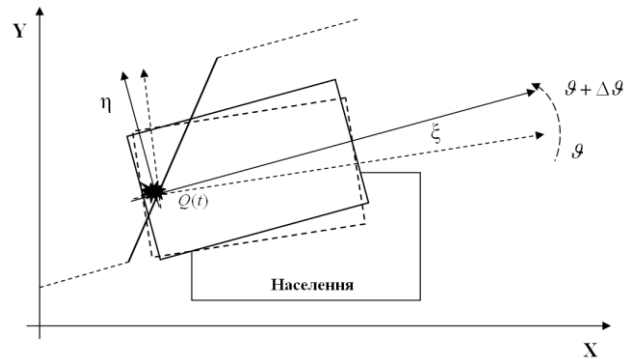


Рисунок 4 – Схема перекривання ураження з картою населення

Обчислення соціального ризику. Як відзначено в попередньому підрозділі, альтернативним способом описати соціальний ризик (СЕР) є використання так званих  $F(N)$ -кривих, або індексу ризику, створеного транспортною мережею в зоні ураження. Така  $F(N)$ -крива показує ймовірність, що група більше ніж  $N$  осіб була б уражена внаслідок нещасного випадку НВ. При цьому  $F$  – сукупна частота нещасного випадку, здатного до спричинення смерті  $N$  або більшої кількості осіб, у тому числі, і евакуйованих. Щоб обчислити  $F(N)$ -криві, потрібно точний опис внутрішнього й зовнішнього населення, що живе в зоні ураження. Як з  $IR$ , СЕР також є сукупним щодо джерела ризику.

Отже, в зоні ураження, створеного мережею автостради,  $SR$  дає сума ризиків, створених на ній кожним зв'язком мережі. Це призводить до процедури, що обчислює спочатку ризик, створений кожною типологією апарата на кожному зв'язку, а потім підсумовує всі ці значення. При цьому, оскільки  $SR$  відповідає  $F(N)$ -крива, то значення соціального

ризик та суми значень  $F$  відповідають абсциси  $N$ .

Сценарії і частота надзвичайних ситуацій. Процедура обчислення ризику заснована на понятті "сценарію". В точці ризику  $Q(t)$  на ділянці  $l$  сценарій даний комбінацією:  $Q(t)$  – точка ризику;  $i$  – кінцевий результат;  $k$  – метеорологічної умови;  $j$  – сезонна ситуація;  $\theta$  – напрям вітру. Звертаючись до результату метеоумов, представленого вище, сценарій може бути розглянутий також як комбінація  $Q(t)$  та  $(i, k)$ , сезонна ситуація  $j$  та напрям вітру  $\theta$ .

При цьому, щоб оцінити число людей, залучених в сценарій,  $\xi/n$  відповідної карти ураження повинна бути поміщена на зону ураження.  $Q(t)$  і вісь  $\xi$  повинні бути розташовані таким чином, щоб утворити з осями  $X$  точний кут  $\theta$  сценарію. При цьому ГІС є ефективною основою для оцінки цих параметрів ризику [2].

**Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля**

У такий спосіб карта ураження представляє точно зону сценарію впливу, і люди, залучені в цей процес, є елементами карти населення, що належать цій зоні. Обертаючи місце ураження навколо

$$N_{Q(t),v}^{scen}(i, j, k, \theta) = \sum_{m=1}^{N_L} \rho_{L_m}(j) \left[ X_{L_m}(j) \int_{L_m} V_{Q(t),v}^{in}(i, k, \theta) dL_m + (1 - x_{L_m}(j)) \int_{L_m} V_{Q(t),v}^{out}(i, k, \theta) dL_m \right] + \sum_{n=1}^{N_A} p_{\Lambda_n}(j) \left[ X_{\Lambda_n}(j) \int_{\Lambda_n} V_{Q(t),v}^{in}(i, k, \theta) d\Lambda_n + (1 - x_{\Lambda_n}(j)) \int_{\Lambda_n} V_{Q(t),v}^{out}(i, k, \theta) d\Lambda_n \right] + \sum_{o=1}^{N_c} p_{C_o}(j) \left[ X_{C_o}(j) V_{Q(t),v}^{in}(i, k, \theta) + (1 - x_{C_o}(j)) u V_{Q(t),v}^{out}(i, k, \theta) \right]. \quad (6)$$

де  $V_{Q(t),v}^{in}$  і  $V_{Q(t),v}^{out}$  представляють, відповідно, внутрішні й зовнішні слабкі місця; значення інших символів було вже пояснене вище.

У числовій процедурі виконання цього поверхневого інтегралу представляє самий повільний крок в оцінці (6). Але, щоб прискорити цю оцінку, не зменшуючи точність, процедура звертається до математичної теореми, що дозволяє швидко обчислення поверхневих інтегралів, виконуючи спочатку інтеграцію лінії в  $\xi$  напрямку, а потім лінійно поєднувати в напрямку  $\gamma$  отриманий інтеграл. Лінійна інтеграція в  $\xi$  напрямку може бути виконана один раз для кожної карти ураження з адаптивним правилом трапеції розміру кроку. Фактичне використання параболічної інтерполяції, а не лінійної, уникає збільшення помилок внаслідок уже виконаної лінійної інтерполяції значення ураження у вузлах комірок. Щоб гарантувати точність, оцінка нещасних випадків сценарію повинна бути виконана для всіх 360 напрямків вітру і для кожної комбінації  $Q(t)$  за умов  $k$  сезонної ситуації  $j$ . При цьому частота сценарію є частотою наявності багатьох випадків, що дорівнюють нещасним випадкам сценарію  $N_{Q(t),v}^{scen}(i, j, k, \theta)$ , саме:

$$f_{Q(t),v}^{scen}(i, j, k, \theta) = f_{rel}(l, v, j) \cdot p_{out}(i) \cdot p_{wind}(j, k, \theta). \quad (7)$$

*Напрямок вітру в частоті сценарію.* Значення  $f_{Q(t),v}^{scen}(i, j, k, \theta)$  і  $N_{Q(t),v}^{scen}(i, j, k, \theta)$  для всіх відомих сценаріїв враховують всі метеоумови і, у першу чергу, напрям вітру. Це позначається частотою  $F_{Q(t),v}(N(i, j, k))$ :

$$F_{Q(t),v}(N(i, j, k)) = \int_0^{2\pi} \delta_{scen}^N(i, j, k, \theta) d\theta, \quad (8)$$

де  $\delta_{scen}^N(i, j, k, \theta) = f_{Q(t),v}^{scen}(i, j, k, \theta)$  для  $N_{Q(t),v}^{scen}(i, j, k, \theta) \geq N^*$

При цьому  $\delta_{scen}^N(i, j, k, \theta) = 0$  для  $N_{Q(t),v}^{scen}(i, j, k, \theta) < N^*$  усіх напрямів вітру.

*Моделювання руху джерела ризику.* Оцінка лінійного інтеграла  $F_{Q(t),v}(N(i, j, k))$  для кожного постійного числа нещасних випадків  $N^*$  уздовж

$Q(t)$ , можна отримати всі можливі сценарії. Схематичне подання цієї процедури показано на рис. 4. Тоді кількість нещасних випадків  $N_{Q(t),v}^{scen}(i, j, k, \theta)$  в  $Q(t)$ , оцінюється відповідно такому виразу:

$$F(N(i, j, k))_{l,v} = \int_{L_l} F_{Q(t),v}(N(i, j, k)) dt. \quad (9)$$

**Соціальні процедури визначення ризику.** Щоб одержати ділянку  $F(N)_{l,v}$  для певної типології апарата, що проходить на дослідженому зв'язку  $l$ , необхідно оцінити (10) для всіх комбінацій і метеорологічних умов  $k$  сезонної ситуації  $j$ , і потім підсумувати їх для усіх  $N$ , щоб одержати  $F(N)$  криву для всієї мережі.

Отже, щоб врахувати усі можливі сценарії в зоні ураження, треба застосувати такий вираз:

$$F(N) = \sum_{l=1}^{N_{lnk}} \sum_{v=1}^{N_{veh}(l)} \sum_{i=1}^{N_{out}(v)} \sum_{j=1}^{N_{seas}} \sum_{k=1}^{N_{met}} \int_{L_l} \int_0^{2\pi} \delta_{scen}^N(i, j, k, \theta) d\theta \quad (10)$$

При цьому  $\delta_{scen}^N(i, j, k, \theta)$  береться, як у виразі (8).

**ВИСНОВКИ.** В результаті, здійснено попередню оцінку даних та параметрів, які впливають на ефективність оцінювання зони ураження, що може виникнути внаслідок аварії під час транспортування небезпечних вантажів, якими можуть бути, зокрема, пестициди та інші хімічні засоби захисту рослин, радіоактивні речовини, вибухові засоби тощо. Запропонований також алгоритм побудови карт ураження з врахуванням розподілу населення, яке може перебувати в момент транспортної аварії саме в зоні ураження. Крім того, удосконалені відомі та розроблено нові моделі розрахунку індивідуального та соціального ризиків, які враховують всі можливі сценарії і частоту надзвичайних ситуацій. Все це дає можливість передбачити можливі загрози і негативні наслідки як для окремих людей, так і значних соціальних груп населення, що опиняться в зоні ураження, усунути ці загрози і управляти відповідними ризиками, зокрема, при необхідності змінивши маршрути, технічні засоби, види транспорту тощо.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Петрук В.Г. Оцінка ступеня екологічної безпеки за допомогою байєсівських методів / Петрук В.Г., Турчик П.М., Турчик М.М., Трач І.А.,

## Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

Дубчак О.В. *Матеріали IV Регіональної наукової конференції студентів, магістрантів, аспірантів та молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»* : зб. наук. стат. (м. Харків, 8-9 грудня 2011 р.) Харків: Вид-во ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2011. С. 31-33.

2. Турчик П.М., Петрук В.Г., Зігерт Д.М. Екологічна безпека та ризики для урбоєкосистем під час перевезення небезпечних відходів. *Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: збірник матеріалів МНПК / Національний університет цивільного захисту України*. Харків: НУЦЗУ, 2015. С. 216-219.

3. Качинський А.Б. Антропогенні навантаження та екологічна безпека в системі «Пестициди – навколишнє середовище – здоров'я населення на основі аналізу ризику». Київ, 1994. 30 с. (Препринт / Національний Інститут стратегічних досліджень; № 26).

4. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. Київ : НІСД, 2001. 312 с.

5. Петрук В.Г., Ранський А.П., Петрук Р.В та ін. Управління та поведження з відходами. Технології знезараження непридатних пестицидів: навч. посіб. Вінниця: ФОП Рогальська, Ч.1., 2012. 265 с.

6. Лисиченко Г. В., Забулонов Ю. Л., Хміль Г. А. Природний техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління: монографія / Ін-т геохімії навколиш. середовища НАН України. Київ: Наук. думка, 2008. 543 с.

7. Постанова Кабінету Міністрів України від 13 липня 2000 р. № 1120 “Про затвердження Положення про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх утилізацією/видаленням і Жовтого та Зеленого переліків відходів” [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1120-2000-%D0%BF>. (дата звернення 15.11.2018).

8. Закон України “Про приєднання України до Базельської конвенції про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх видаленням” [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/803-14>. (дата звернення 15.11.2018).

9. Турчик П. М., Сушинська М. М., Нагорна К. В. Екологічна безпека та розрахунок ризиків транспортування пестицидних препаратів на основі теорії нечітких множин. *III-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2011)*: збір. наук. стат. (м. Вінниця, 21-24 вересня 2011 р.). Вінниця: ВНТУ, 2011. Т.1. С. 108-111.

10. Турчик П. М., Турчик М. М., Дубчак О. В., Трач І. А. Оцінка техногенних ризиків зберігання, знешкодження та перевезення небезпечних речовин. *VI МНПК «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів»*: збір. наук. стат. (м. Харків, 19-21 жовтня 2011 р.). Харків: ХНАДУ, 2011. С. 39-42.

11. Петрук В. Г., Турчик П. М., Турчик М. М., Дубчак О. В., Трач І. А. Оцінка техногенних ризиків перевезення небезпечних речовин через урбоєкосис-

темы. *3-й Міжнародний Екологічний Форум «ЧИСТЕ МІСТО. ЧИСТА РІКА. ЧИСТА ПЛАНЕТА»*: збір. наук. стат. (м. Херсон, 17 – 18 листопада 2011 р.). Херсон: ХТПП, 2011. С. 91-93.

12. Ранський А.П., Петрук Р.В., Турчик П.М. Розрахунок екологічного ризику під час утилізації фосфоровмісних пестицидних препаратів. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження»*. 2012. №2 (10). С. 65-68.

13. Турчик П.М., Петрук В.Г. Методи оцінювання екологічних ризиків при транспортуванні небезпечних речовин. *IV-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : зб. наук. стат. (м. Вінниця, 25–27 вересня 2013 р.). Вінниця, 2013. С. 149-151.

14. Турчик П.М., Петрук В.Г. Кількісний аналіз ризиків при транспортуванні небезпечних вантажів. *Матеріали Міжнародної НПК в рамках I Всеукраїнського молодіжного з'їзду екологів з міжнародною участю «Наука. Молодь. Екологія»* : зб. наук. стат. ( м. Житомир, 21–23 травня 2014 р.). Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. С. 231-234.

15. Турчик П.М., Петрук В. Г., Петрук Р. В., Мельник В. П., Гикавчук Л. В., Василяшко В. В. Оцінювання ризиків для соціоекосистем під час перевезення небезпечних відходів. *Збірник наукових Праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Спеціальний випуск до IX НПК «Сучасні проблеми збалансованого природокористування»*. 2014. С. 144-146.

16. Турчик П.М., Петрук В. Г., Гикавчук Л. В. Моделі кількісної оцінки ризиків перевезення небезпечних відходів. *Вісник ВПІ*, 2014. Т. 6. С. 46-51.

17. Турчик П.М., Петрук В.Г., Бабенко І.В., Сторожа І.В. Екологічна безпека під час транспортування небезпечних відходів. *Актуальні проблеми дослідження довкілля*: зб. наук. стат. (м. Суми, 20-23 травня 2015 р.). Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2015. Т. 1. С. 145-147.

18. Турчик П.М., Петрук В. Г., Бабенко І. В. Количественный расчет экологических рисков транспортировки опасных отходов. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист. Матеріали Всеукраїнської НПК з міжнародною участю*: зб. наук. стат. (м. Черкаси, 9-10 жовтня 2015 р.). Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015. С. 557-560.

19. Турчик П.М., Гурба Д.П. Розрахунок транспортного ризику процесу перевезення небезпечних відходів. *I МНПК студентів, магістрантів та аспірантів «Галузеві проблеми екологічної безпеки»*: зб. наук. стат. (м. Харків, 22 жовтня 2015р.). Харків, 2015. С. 20-22.

20. Турчик П.М., Сушинська М.М., Нагорна К.В. Екологічна безпека та розрахунок ризиків транспортування пестицидних препаратів на основі теорії нечітких множин. *III-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : зб. наук. ст. (м. Вінниця, 21–24 вересня 2011 р.). Вінниця, 2011. Том 1. С. 108-111.

THE METHODOLOGY OF EVALUATION OF THE EXPOSURE ZONE AND THE CONSEQUENCES OF THE EMERGENCY DURING TRANSPORTATION OF DANGEROUS WASTE

R. Petruk

Vinnitsa National Technical University

vul. Khmelnytsky highway, 95, 21021, Vinnitsa, e-mail: prroma07@gmail.com

**Purpose.** The purpose of this work is to improve the existing methods of evaluation, taking into account and attributing from the accident during the transportation of hazardous waste. **Methodology.** Methods of mathematical modeling, methods of statistics, methods of forecasting of risks and remote consequences on the environment are used in this work. **Results.** In the work the methodology of estimation of areas of damage from accidents during transportation of hazardous wastes is proposed, the algorithm for constructing damage maps taking into account the distribution of the population, which may appear in the area of the accident. Also, models for assessing both individual and social risks, as well as the risks of possible scenarios and emergencies, have been developed. The parameters influencing the efficiency of the assessment of the zone of damage, which include the effects of the release of hazardous substances into the environment, are proposed. The distribution of population for different sections of highways is taken into account taking into account time factors. A preliminary input estimation of the data used for the calculation of risks during the transportation is carried out. The mechanism of constructing damage maps is proposed. The approaches to the transport of hazardous substances by the freeway are proposed, in particular, the calculation of the individual risk and the creation of the algorithm of rotation and individual risk maps are taken into account. The algorithm for estimating the individual (individual) risk, as well as the risk assessment for all sections and vehicles TK, an algorithm for calculating social risk is proposed. The mathematical model of calculation of possible scenarios and the frequency of emergencies are presented. In mathematical models of risk calculation, models that include the direction of the wind in the scenario frequency, simulation of the source of risk movement, social risk determination procedures are taken into account. **Originality.** Original and improved existing mathematical models of risk calculations for transportation of hazardous substances are proposed. **Practical value.** The obtained research results can be used by transport companies, state authorities during transportation of hazardous substances and designing hazardous industries. *References 20, figures 4.*

**Key words:** ecological safety, risks, zones of defeat, damage maps, individual and social risks

REFERENCES

1. Petruk V.G. Assessment of the degree of environmental safety by Bayesian methods / Petruk V.G., Turchyk P.M., Turchyk M.M., Trach I.A., Dubchak O.V. Materials of the IVth Regional Scientific Conference of students, masters, postgraduates and young scientists "Ecology, neoecology, environmental protection and sustainable use of natural resources": Kharkiv: Publishing House of KhNU V.N. Karazin, 2011. pp. 31-33.
2. Turchyk P.M., Petruk V.G., Siegert D.M. Ecological safety and risks for urboecosystems during transportation of hazardous wastes. Applied aspects of technogenic and ecological safety: a collection of materials of MNPk / National University of Civil Protection of Ukraine. Kharkiv: NUTZU, 2015. p. 216-219.
3. Kachinsky A.B. Anthropogenic loads and ecological safety in the system "Pesticides - the environment - health of the population on the basis of risk analysis". Kyiv, 1994. 30 p. (Preprint / National Institute for Strategic Studies, No. 26).
4. Kachinsky A.B. Ecological safety of Ukraine: system analysis of prospects for improvement. Kyiv: NISS, 2001. 312 p.
5. Petruk V.G., Ransky A.P., Petruk R.V. Management and waste management. Technologies of disinfection of unsuitable pesticides: training. manual Vinnitsya: FOP Rogalskaya, Ch.1., 2012. 265 p.
6. Lisichenko G.V., Zabolonov Yu.L., Khmil G.A. Natural Man-made and Ecological Risks: Analysis, Evaluation, Management: Monograph / Institute of Geochemistry of the Environment of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kiev: Scientific Opinion, 2008. 543 p.
7. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of July 13, 2000 No. 1120 "On Approval of the Regulation on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Utilization / Disposal and the Yellow and Green Listings of Wastes" [Electronic resource]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1120-2000-%D0%BF>. (reference date dated 15/11/2018).
8. Law of Ukraine "On Ukraine's Accession to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal" [Electronic Resource]. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/803-14>. (reference date dated 15/11/2018).
9. Turchyk P.N., Sushinskaya M.M., Nagornaya K.V. Ecological safety and calculation of risks of transportation of pesticide preparations on the basis of the theory of fuzzy sets. III All-Ukrainian Congress of Ecologists with International Participation (Ecology / Ecology-2011): Research Assistant (Vinnitsya, September 21-24, 2011). Vinnitsa: VNTU, 2011. T.1. pp. 108-111.
10. Turchyk P.M., Turchyk M.M., Dubchak O.V., Trach I.A. Estimation of technogenic risks of storage, disposal and transportation of hazardous substances. VI MNPk "Ecological and economic aspects of ecological safety of the regions": the assistant professor of scientific articles (Kharkiv, October 19-21, 2011). Kharkiv: KhNADU, 2011. p. 39-42.
11. Petruk V.G., Turchyk P. M., Turchyk M. M., Dubchak O. V., Trach I. A. Estimation of technogenic risks of transportation of hazardous substances through urboecosystems. 3rd International Ecological Forum "CLEAR CITY. CLEAN YEAR PURE PLANET ": a

**Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля**

collection of scientific articles (Kherson, November 17 - 18, 2011). Kherson: KhTPP, 2011. P. 91-93.

12. Ransky AP, Petruk RV, Turchyk P.M. Calculation of ecological risk during disposal of phosphorus-containing pesticide preparations. Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Series "Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving". 2012. №2 (10). Pp. 65-68.

13. Turchyk P.M., Petruk V.G. Methods of assessing environmental risks when transporting hazardous substances. IV-th All-Ukrainian Congress of Ecologists with International Participation: a collection of scientific articles (Vinnytsya, September 25-27, 2013). Vinnytsa, 2013. pp. 149-151.

14. Turchyk P.M., Petruk V.G. Quantitative analysis of risks in the transport of dangerous goods. Materials of the International NPC within the framework of the First All-Ukrainian Youth Congress of Ecologists with International Participation "Science. Young. Ecology »: a collection of scientific articles (Zhytomyr, May 21-23, 2014). Zhytomyr: ZHDU Publishing House. I. Franco, 2014. P. 231-234.

15. Turchyk PM, Petruk V.G., Petruk R.V., Melnik V.P., Gikavchuk L.V., Vasylashko V.V. Evaluation of risks for socioecosystems during transportation of hazardous wastes. Collection of scientific works of the Podilsky state agricultural and technical university. Special issue to IX NPK "Modern problems of balanced nature management". 2014. pp. 144-146.

16. Turchyk P.M., Petruk V.G., Gikavchuk L.V. Models of Quantitative Assessment of the Risks of

Transportation of Hazardous Wastes. Newsletter HPI, 2014. T. 6. S. 46-51.

17. Turchyk P.M., Petruk V.G., Babenko I.V., Storozha I.V. Environmental safety during transportation of hazardous waste. Actual problems of environmental research: a collection of scientific articles (Sumy, May 20-23, 2015). Sumy: Sumy MPU named after AS Makarenko, 2015. T. 1. S. 145-147.

18. Turchik P.M., Petruk V.G., Babenko I.V. Quantitative calculation of environmental risks of transportation of hazardous wastes. Emergencies: security and protection. Materials of the All-Ukrainian NPC with international participation: a collection of scientific articles (Cherkasy, October 9-10, 2015). Cherkasy: CHIPB named after the Heroes of Chernobyl NUTZ of Ukraine, 2015. p. 557-560.

19. Turchyk P.M., Gurba D.P. Calculation of transport risk of the process of transportation of hazardous waste. I MNPK students, masters and postgraduates "Sectoral issues of environmental safety": a collection of scientific articles (Kharkiv, October 22, 2015). Kharkiv, 2015. pp. 20-22.

20. Turchyk P.M., Sushinskaya M.M., Nagornaya K.V. Ecological safety and calculation of risks of transportation of pesticide preparations on the basis of the theory of fuzzy sets. Third All-Ukrainian Congress of Ecologists with International Participation: A Collection of Scientific Articles (Vinnytsya, September 21-24, 2011). Vinnytsya, 2011. Volume 1. P. 108-111.