

П. М. Турчик¹
В. Г. Петрук¹
Л. В. Гикавчук²

МОДЕЛІ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВІДХОДІВ

¹Вінницький національний технічний університет;

²Управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Вінницькій області

Розглянуто та проаналізовано поняття ризику перевезення небезпечних відходів; проведено порівняння, наведені переваги та недоліки існуючих моделей кількісної оцінки ризиків перевезення, наведено графічне відображення часткової ймовірності можливих наслідків під час перевезення.

Ключові слова: небезпечні відходи, транспортування, екологічний ризик, моделі ризику.

Постановка проблеми

Небезпечні відходи (НВ) — відходи, включені до розділу А Жовтого переліку відходів, що затверджується Кабінетом Міністрів України (КМУ), і мають одну чи більше небезпечних властивостей, наведених у переліку НВ, що затверджується Міністерством екології та природних ресурсів України, та до Зеленого переліку, що затверджується КМУ, у разі, коли вони містять матеріали (які належать до категорії відходів, що підлягають регулюванню) в таких кількостях, що можуть виявляти небезпечні властивості. Державний контроль за транспортуванням небезпечних відходів (ТНВ) здійснюється згідно з [1—3].

Транспортування НВ — важлива діяльність, особливо у промислово розвинутих країнах, внаслідок потреби переміщення великої кількості НВ від місць утворення до місць поховання та/чи утилізації. Оскільки, маршрут перевезення небезпечних відходів починається та завершується в багатьох пунктах мережі відвантажень у світі, їх транспортування становить загрозу для життя, здоров'я, майна, і навколишнього середовища внаслідок існування ймовірності випадкової емісії небезпечних компонентів відходів. У той час, як транспортування небезпечних відходів є необхідним процесом, вчених все більше цікавить питання оцінки ризиків, пов'язаних із транспортуванням і катастрофічними наслідками можливих надзвичайних ситуацій під час транспортування НВ [4].

Хоча ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій (НС) під час ТНВ, відносно низька (10^{-8} ... 10^{-6} на кожний кілометр руху) [4], катастрофічні наслідки разом із великими об'ємами НВ і великими відстанями, на які вони транспортуються, можуть становити підвищену загрозу для довкілля та селітебних територій вздовж маршруту перевезення. НС під час транспортування НВ відбуваються, насамперед, або в результаті аварійної ситуації, або через витікання та активацію небезпечних компонентів відходів, які перевозяться. Комбінація цих двох випадків, зазвичай, може мати навіть більш катастрофічні наслідки. Вищезгадані події можуть призвести до людських жертв, забруднення навколишнього середовища і великих економічних втрат [4, 5].

Транспортне планування для небезпечних речовин (НР) і, небезпечних відходів, зокрема, останнім часом привернуло увагу багатьох дослідників. Більшість моделей, описаних на сьогодні, і призначених для аналізу ризику ТНВ є функцією, що визначає величину ризику для соціального блоку, розташованого вздовж транспортного маршруту. Найпоширеніші моделі визначають кількість ризику по-різному та досить часто не мають між собою чіткого зв'язку [4].

Оцінювання ризику транспортування небезпечних відходів

Ризик характеризується двома аспектами: ймовірністю виникнення події та наслідками цієї події. У контексті транспортування НВ, небажані події — це аварійні ситуації, які можуть призвести до викиду (витоку) небезпечних компонентів відходів. Оцінка ризику базується на трьох складових компонентах [4—7]:

1. Ймовірність включає виникнення надзвичайної ситуації (наприклад, аварія транспортного засобу, що перевозить небезпечні відходи), а також умову, що ця подія призведе до викиду небез-

печних компонентів (з розрахунку для різних об'ємів та швидкостей вивільнення).

2. Наслідки залежать від площі потенційної зони ураження, від кількості людей, що в ній знаходяться, величини та виду пошкоджень (наприклад, зі смертельним результатом, травми, економічні збитки).

3. Обсяг перевезень можна представити у вигляді кількості поставок, які будуть зроблені, загальній відстані маршруту, загального часу поведження із небезпечним об'єктом, або кількістю небезпечних відходів, які будуть утилізовані.

Фактори, які впливають на ступінь і ймовірність аварії, що призводить до НС та забруднення навколишнього середовища, залежать головним чином від фізичних параметрів транспортного засобу (вид пакування, стійкість та захищеність контейнерів із небезпечними відходами тощо) і від швидкості транспортного засобу в момент аварії [6—9].

Відповідно до [4], «ризик — це міра ймовірності та серйозності небезпеки для рецептора через потенційні небажані події, що включають небезпечні компоненти, тоді як рецептором може бути людина, навколишнє середовище або матеріальні цінності».

В [5] ризик визначено на основі історичних даних, тобто, як:

$$Risk = \frac{Events}{Exposure}, \quad (1)$$

де *Events* — кількість надзвичайних ситуацій (подій); *Exposure* — масштаб впливу (експозиція).

Оскільки, дослідження зазвичай зосереджені на викидах (витоках), які відбуваються на автомагістралі чи, рідше, вздовж залізниць, вчені оцінюють ризик з урахуванням різних чинників, таких як щільність населення, тип управління (особливості логістики), властивості та компонентний склад відходів, які підлягають перевезенню [1—4].

Завдання полягає в тому, щоб перетворити ці чинники в кількісні показники, які дозволять виразити ймовірність надзвичайної ситуації із небезпечними відходами та міру відповідних наслідків (наприклад, очікуваний вплив на населення), щоб застосувати їх до ділянок дорожньої або залізничної мережі так, щоб визначити найкращі (найбезпечніші) маршрути.

Кількісний аналіз ризику передбачає такі ключові етапи:

- 1) ідентифікація небезпеки та рецептора (того, хто піддається небезпеці);
- 2) частотний аналіз подій;
- 3) моделювання наслідків.

Крім того, дослідження ризиків на різних типах рецепторів важливе для того, щоб охопити різні характеристики для оцінювання ризику.

На кожному етапі кількісного аналізу ризику наявні певні складнощі. Наприклад, етап моделювання наслідків, вимагає як вхідну величину територіальний розподіл населення, на яке впливають наслідки надзвичайної ситуації. З іншого боку, попередні дослідження, для спрощення розрахунків, припускають однорідну щільність населення вздовж транспортних ділянок [4—6].

Надзвичайні ситуації із залученням небезпечних відходів характеризуються низькою ймовірністю та серйозними наслідками. На сьогодні у світовій практиці є загальноприйнятою гіпотеза: ймовірність настання небажаної події (наприклад, аварійної ситуації), що відбувається на маршруті, в середньому 10^{-6} / км [5], а тому для аналітиків досить проблематично зібрати достатні й точні дані, або оцінити довгостроковий вплив на навколишнє середовище.

Моделі ризику ТНВ

Ризик транспортування небезпечних відходів, як правило, обчислюються за допомогою оціночної функції шляху [6—9]. Розглянемо шлях r , який складається із послідовного набору ділянок $\{1, 2, \dots, n\}$, і, припустимо, що в кожній ділянці є дві важливі та відомі ознаки: p_i — ймовірність виникнення аварійної ситуації на ділянці i , та C_i — величина, що характеризує наслідки на ділянці i . Наслідки можна визначити кількісно, наприклад, кількість людей, які живуть в межах 1 км від місця виникнення НС. Найпоширеніша оціночна функція шляху носить назву «традиційна модель ризику» [7—9]:

$$TR(r) = \sum_{i=1}^n p_i C_i. \quad (2)$$

Вираз для традиційного ризику можна інтерпретувати як математично очікувану величину наслідків руху вантажівки з небезпечними відходами вздовж шляху r . Використовуючи цей вираз, можна зробити припущення, що вантажівка буде їхати по кожній ділянці шляху, незалежно від того, що відбулося на попередніх ділянках. Це не відповідає дійсності, оскільки НС, як правило, перериває (завершує) маршрут. Щоб врахувати можливість передчасного завершення перевезення, можна замінити ймовірність p_i аварії на ділянці (припускаючи, що вантажівка їде по ділянці i) на вираз $(1-p_1)(1-p_2)\dots(1-p_{i-1})p_i$, який включає ймовірність того, що вантажівка буде рухатись по ділянках від i до $i-1$ без аварії. Це дозволить отримати складнішу оціночну функцію шляху [9, 10], яка дозволить мінімізувати математичне очікування наслідків аварії транспортного засобу, що їде уздовж шляху l :

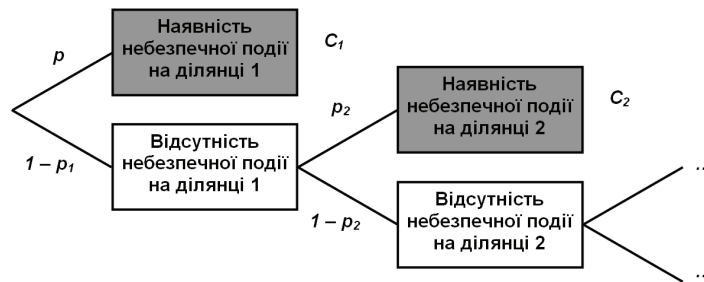
$$TR'(r) = \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^{i-1} (1-p_j) p_i C_i. \quad (3)$$

Ця функція спростовує припущення, що вантажівка буде рухатись уздовж усього шляху, але вона все одно передбачає гіпотезу — якщо вантажівка в'їжджає на ділянку, то вона буде рухатись по всій довжині цієї ділянки.

Якщо припустити, що аварійна ситуація на ділянці i довжиною l_i , по якій рухається вантажівка з НВ, відбувається відповідно до просторового розподілу Пуасона зі швидкістю λ_i за одиницю відстані, і якщо $p_i = l_i \lambda_i$, тоді отримаємо ймовірність зупинки руху в будь-якому місці ділянки [9]:

$$TR''(r) = \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^{i-1} \exp(-p_j) (1 - \exp(-p_i)) C_i. \quad (4)$$

Якщо визначити атрибути ділянки як: $q_i = 1 - \exp(-p_i)$ для всіх ділянок, то (3) спрощується до тієї ж форми що і (2). Отже, (2) і (3) мають схожі математичні властивості.



Відображення часткової ймовірності можливих наслідків під час транспортування НВ:

p — ймовірність інциденту на певній ділянці; C — кількість населення, що піддається впливу у випадку інциденту [8]

Рівняння (1) — це оціночна функція шляху, що описує найкоротший шлях, у той час як за (2) і (3) отримуються складні нелінійні вирази. Останні дані по НС із залученням НВ вказують на те, що ймовірність таких випадків, надзвичайно мала. Тому, значення ймовірності того, що на досліджуваній ділянці не відбудеться жодної НС, прямує до одиниці, тобто $(1-p_i) \rightarrow 1$. Це означає, що вираз (1) наближається до виразів (2) і (3). У той час, як деякі автори починають із (2) і змінюють його до (1), то інші використовують (1), без апроксимації.

Хоча, середня ймовірність виникнення НС під час перевезення НВ є невисокою, але її значення може варіюватись в різних регіонах, залежно від якості дорожньої інфраструктури, навиків водія тощо. Крім того, ймовірність виникнення НС є вищою в різний час доби [5] або за складних погодних умов, і апроксимація, яка ґрунтується на низьких ймовірностях НС, може привести до обмеженого вибору маршруту. В підсумку, якість апроксимації залежить від величини ймовірності виникнення НС, і немає жодного теоретичного підґрунтя використання (1) замість (2) або (3) [10].

Окрім моделі традиційного ризику, в літературі є багато оціночних функцій шляху транспортування НВ. В таблиці наведено 8 оціночних функцій основних моделей шляху [10—28]. В таблиці D_i використовується для позначення загальної чисельності населення в регіоні впливу уздовж ділянки i (прямокутника, який розтягується уздовж ділянки i) на відміну від C_i , яке можна вважати як кількість людей у межах кола, з центром в будь-якій точці ділянки i [9].

Моделі ризику транспортування небезпечних відходів (доповнено з [9])

№ п/п	Вид ризику або його складова частина	Модель	Автор (и)
1	Ймовірність аварії	$IP(r) = \sum_{i \in r} p_i$	Ф. Саккоманно, А. Чан (1985)
2	Прийнятний ризик	$PR(r) = \sum_{i \in r} p_i (C_i)^q$	М. Абковіч та ін. (1992)
3	Умовний ризик	$CR(r) = \sum_{i \in r} p_i C_i / \sum_{i \in r} p_i$	Р. Сівакумар та ін. (1993)
4	Традиційний ризик	$TR(r) = \sum_{i \in r} p_i C_i$	Е. Альп (1995)
5	Вплив на населення вздовж маршруту	$PE(r) = \sum_{i \in r} T_i$	К. Ревелль та ін. (1991)
6		$R_{ij}(v_{ij}, u_{ij}) = s_{ij}(v_{ij})p_{ij}u_{ij}$	Я. Ван та ін. (2011)
7	Середнє відхилення	$MV(r) = \sum_{i \in r} (p_i C_i + k p_i C_i^2)$	Е. Еркут, А. Інголфссон (2000)
8	Небезпека впливу	$DU(r) = \sum_{i \in r} p_i (\exp(k C_i) - 1)$	
9	Мінімум-максимум	$MM(r) = \max_{i \in r} C_i$	

Примітки: p_i — ймовірність виникнення НС; T_i — загальна кількість населення в зоні впливу ($T_i = 2l_i \cdot d_i / \pi \cdot r$, де l_i — довжина ділянки i , r — радіус зони впливу); C_i — наслідок i -ї НС; p_{ij} — рівень незахищеності населення; v_{ij} , u_{ij} — коефіцієнти, що враховують геометричні параметри ділянки шляху; s_{ij} — вартісна функція шляху; k — коефіцієнт, що враховує ступінь небезпеки шкідливої речовини.

Більшість із моделей, наведених у таблиці, в яких використовуються ймовірності, оснований на апроксимації з рівняння (1). Нескладно створити альтернативні вирази подібні до (2) і (3) для кожної з цих моделей. Використання апроксимованих виразів у таблиці для $TR(r)$, $IP(r)$ і $PR(r)$, так само як і для $PE(r)$ (який не включає ймовірностей), веде до проблем найкоротшого шляху із додатковими властивостями ділянки. В [10] показано, що $MV(r)$ й $DU(r)$ також зводяться до проблем найкоротшого шляху й демонструють, що $MM(r)$ можна зменшити, використовуючи множину алгоритмів, схожу до алгоритмів найкоротшого шляху складності.

Модель імовірності інциденту (IP) [12] та модель незахищеності населення [15] можна розглядати як два крайніх випадки традиційної моделі ризику. Перша, спрямована на зменшення ймовірності НС, а друга — визначає загальні наслідки в області впливу та кількість людей, які можуть потрапити до зони ризиків під час транспортної події. Подібною є модель передбачуваного (прогнозованого) ризику [4], в якій використані альтернативні критерії та критерії зважування для вибору маршруту, щоб збалансувати безпеку процесу перевезення.

Помітним недоліком моделі TR є її нейтральне ставлення до ризику, яке не може належним чином врахувати (відобразити) громадську думку по відношенню до ТНВ. Модель передбачуваного (прогнозованого) ризику враховує цю проблему і додає параметр «ваги наслідків» для соціального блоку.

В свою чергу, модель умовного ризику (CR) є мультиплікативною моделлю з двома атрибутами: очікуваним ризиком та ймовірністю аварії [13]. Ця модель оцінює очікуваний умовний наслідок від виникнення першої аварії, і передбачає у разі необхідності тимчасове закінчення маршруту після НС.

В [9] розглянуто три методи моделювання шляхів уникнення катастрофи під час ТНВ. Перший: використання моделі максимального ризику (ММ), за допомогою якої можна створити умови з мінімальною ймовірністю виникнення аварійної ситуації шляхом заміни в моделі традиційного ризику функції ММ на функцію MS (тобто, ця модель намагається мінімізувати кількість населення, що перебуває в небезпеці на будь-якій ділянці уздовж шляху, але не всього маршруту). Модель (MV) широко використовується фінансовими аналітиками та передбачає, що атрибути ділянки шляху є стохастичними та намагається знайти маршрути з мінімальним ризиком і дисперсією.

Висновки

Отже слід зазначити, що на сьогодні в літературі, в якій аналізується питання оцінки ризику транспортування небезпечних відходів, наявна значна неоднорідність підходів до визначення ри-

зику, що пояснюється специфічністю проблеми та складністю врахування всіх впливових факторів. Кількісна оцінка та розробка критеріїв важливості кожної зі складових — питання, що вимагають значної уваги у розробці нових моделей ризику.

Більшість із описаних в статті моделей припускають, що параметри ризику (ймовірність виникнення НС та її наслідки), уже відомі. Модель «середнього відхилення» (MV) включає відхилення цих параметрів для імітації атрибуту стохастичного ризику, але припускає, що дисперсії вже відомі. Однак, можуть виникати ситуації, у яких дані про НС не є легкодоступними (наприклад, нові дороги та маршрути, оперативні дані про НС тощо).

Для вирішення подібних ситуацій у [23] запропоновано модель змішаного маршруту, в якому неможливо визначити ймовірність НС. Модель спрямована на зниження максимального ризику шляхом динамічної заміни маршрутів для ТНВ. Як один із можливих варіантів розв'язання цієї задачі, запропоновано генерувати потенційні ділянки з використанням відомих ймовірностей, за допомогою теорії ігор.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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]. — Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1120-2000-%D0%BF>.
2. Закон України «Про приєднання України до Базельської конвенції про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх видаленням» [Електронний ресурс] / Верховна Рада України. — Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/803-14>.
3. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс]. — Режим доступу : www.ukrstat.gov.ua.
4. Abkowitz M. D. Transportation risk management: a new paradigm // Security Papers, Southeastern Transportation Center, University of Tennessee, 2002. — P. 93—103.
5. Harwood D. W. Procedure for developing truck accident and release rates for hazmat routing / D. W. Harwood, J. G. Viner, E. R. Russell // Journal of transportation engineering. — 1993. — № 119. — P. 189—199.
6. Коноваленко Ю. В. Моделювання ризиків при перевезенні небезпечних вантажів / Ю. В. Коноваленко // Вісник Київського національного торговельно-економічного університету. — 2011. — № 5. — С. 82—97.
7. Alp E. Risk-based transportation planning practice : overall methodology and a case example / E. Alp // INFOR. — 1995. — № 33. — P. 4—19.
8. Erkut E. Modeling of transport risk for hazardous materials / E. Erkut, V. Verter // Operations Research. — 1998. — № 46. — P. 625—642.
9. Erkut E. Transport risk models for hazardous materials: revisited / E. Erkut, A. Ingolfsson // Operations Research Letters. — 2005. — № 33 (1). — P. 81—89.
10. Erkut E. Catastrophe avoidance models for hazardous materials route planning / E. Erkut, A. Ingolfsson // Transportation Science. — 2000. — № 34. — P. 165—179.
11. Gopalan R. Modeling equity of risk in the transportation of hazardous materials / R. Gopalan, K. Kolluri, R. Batta, M. Karwan // Operations Research. — 1990. — Vol. 38, № 6. — P. 961—973.
12. Saccomanno F. F. Economic Evaluation of Routing Strategies for Hazardous Road Shipments / F. F. Saccomanno, A. Chan // Transportation Research. — 1985. — № 1020. — P. 12—18.
13. Sivakumar R. A. A Multiple route conditional risk model for transporting hazardous materials / R. A. Sivakumar, R. Batta, M. H. Karwan // Operations research, Management science: OR MS; the international literature digest. — Davenport, Iowa : Executive Sciences Institute. — 1995. — Vol. 35, № 4. — P. 373—376.
14. Boffey B. Linear versus nonlinear models for hazardous materials routing / B. Boffey, J. Karkazis // INFOR. — 1995. — № 33. — P. 114—117.
15. ReVelle C. Simultaneous siting and routing in the disposal of hazardous wastes / C. ReVelle, J. Cohon, D. Shobrys // Transportation Science. — 1991. — Vol. 25, № 2. — P. 138—145.
16. Batta R. Optimal Obnoxious paths on a network: transportation of hazardous materials / R. Batta, S. S. Chiu // Operations Research. — 1988. — Vol. 36. — P. 84—92.
17. Barkan C. P. L. Optimizing the design of railway tank cars to minimize accident-caused releases / C. P. L. Barkan, S. V. Ukkusuri, S. T. Waller // Computers & Operations Research. — 2007. — № 34. — P. 1266—1286.
18. Beroggi G. E. G. Closing the gap-transit control for hazardous material flow / G. E. G. Beroggi, W. A. Wallace // Journal of Hazardous Materials. — № 27 (1). — 1991. — P. 61—75.
19. Glaze M. New security requirements for hazmat transportation / M. Glaze // Occupational Health & Safety. — № 72 (9). — 2003. — P. 182—185.
20. Glickman T. S. An expeditious risk assessment of the highway transportation of flammable liquids in bulk / T. S. Glickman // Transportation Science. — № 25 (2). — 1991. — P. 115—123.
21. Huang B. Gis and genetic algorithms for hazmat route planning with security considerations / B. Huang, R. L. Cheu // International Journal Geographical Information Science. — № 18 (00). — 2004. — P. 1—19.
22. Zografos K. G. Assessing impacts from introduction of advanced transport telematics technologies in hazardous materials fleet management / K. G. Zografos, K. N. Androutopoulos // Proceedings of the 80-th Annual meeting of transportation research board. — Washington DC. — 2001. — P. 1—27.
23. Bell M. G. H. Mixed Route Strategies for the Risk-Averse Shipment of Hazardous / M. G. H. Bell // Materials, Networks and Spatial Economics. — 2006. — Vol. 6 (3). — P. 253—265.

24. Zografos K. G. A methodological framework for developing a dss for hazardous material emergency response operations / K. G. Zografos, G. M. Vasilakis, I. M. Giannouli // *Journal of Hazardous Materials*.— 2000. — № 71. — P. 503—521.
25. Berglund P. G. Robust Facility Location Problem for Hazardous Waste Transportation / P. G. Berglund, C. Kwon // *Networks and Spatial Economics*. — 2014. — Vol. 14, Issue 1. — P. 91—116.
26. Das A. Pareto frontier analyses based decision making tool for transportation of hazardous waste / A. Das, T. N. Mazumder, A. K. Gupta // *Journal of Hazardous Materials*.— 2012. — Vol. 227—228. — P. 341—352.
27. Dual Toll Pricing for Hazardous Materials Transport with Linear Delay / J. Wang, Y. Kang, C. Kwon, R. Batta // *Networks and Spatial Economics*.— 2012. — Vol. 12, Issue 1. — P. 147—165.
28. Aboutahoun A. W. Combined distance-reliability model for hazardous waste transportation and disposal / A. W. Aboutahoun // *Life Science Journal*.— 2012. — Vol. 9, Issue 2. — P. 1286—1295.

Рекомендована кафедрою екології та екологічної безпеки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 1.09.2014

Турчик Павло Миколайович — аспірант кафедри екології та екологічної безпеки, e-mail: tpm1983@ukr.net;
Петрук Василь Григорович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри екології та екологічної безпеки.
Вінницький національний технічний університет; Вінниця.

Гыкавчук Людмила Василівна — фахівець відділу.

Управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Вінницькій області, Вінниця

P. M. Turchyk¹
V. G. Petruk¹
L. V. Gykavchuk²

Models of quantitative risk assessment of hazardous waste transportation

¹Vinnytsia National Technical University;

²The department of State Emergency Service of Ukraine in Vinnytsia region

The risk of hazardous waste transportation is considered and analyzed; the comparison, advantages and disadvantages of existing models of quantitative risk assessment of transportation are shown, a graphical representation of partial probability of possible consequences during transportation are presented.

Keywords: hazardous waste, transportation, environmental risk, risk models.

Turchyk Pavlo M. — Post-Graduate Student of the Chair of Ecology and Environmental Safety, e-mail: tpm1983@ukr.net;

Petruk Vasyl G. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Ecology and Ecological Safety;

Gykavchuk Liudmyla V. — Specialist of the Department

П. М. Турчик¹
В. Г. Петрук¹
Л. В. Гыкавчук²

Модели количественной оценки рисков перевозки опасных отходов

¹Вінницький національний технічний університет;

²Управление Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям в Винницкой области

Рассмотрено и проанализировано понятие риска перевозки опасных отходов; проведено сравнение, приведены преимущества и недостатки существующих моделей количественной оценки рисков перевозки, приведено графическое отображение частичной вероятности возможных последствий во время перевозки.

Ключевые слова: опасные отходы, транспортировка, экологический риск, модели риска.

Турчик Павел Николаевич — аспірант кафедри екології та екологічної безпеки, e-mail: tpm1983@ukr.net;

Петрук Василь Григорович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри екології та екологічної безпеки;

Гыкавчук Людмила Васильевна — спеціаліст відділу